

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**ESTUDIO PETROGRAFICO, GEOQUIMICO Y ESTIMACION DE
RECURSOS MINERALES DEL YACIMIENTO DE YESO YOQUERAY,
DISTRITO DE CCAPACMARCA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS,
REGION CUSCO-2025**

PRESENTADO POR:

Br. YHONATAN MARTINEZ HUAMAN

Br. NOLBERTO JORGE CHAVEZ HUAMANI

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEOLOGO**

ASESOR:

Mgt. IVAN CACERES ANGULO

**CUSCO-PERU
2025**



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNAAC)

El que suscribe, el Asesor Mgt. IVAN CACERES ANGULO quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: ESTUDIO PETROGRÁFICO, GEOQUÍMICO Y ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINERALES DEL YACIMIENTO DE YESO YODQUERAY, DISTRITO DE CHAPACHAMACHA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS, REGIÓN CUSCO - 2025

Presentado por: JHONATAN MARTINEZ HUAMAN DNI N° 73994651; presentado por: NOLBERTO JORGE CHAUZ HUAMANI DNI N° 71194269 Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO GEÓLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6º del *Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 7%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 17 de enero de 2026

Firma

Post firma IVAN CACERES ANGULO

Nro. de DNI 23948756

ORCID del Asesor 0000-0003-1959-3275

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:546699006

Yhonatan y Jorge Martinez y Chavez

TESIS_FINAL_YHONATAN_MARTINEZ__Y_JORGE_CHAVEZ[1] Copy.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:546699006

173 páginas

Fecha de entrega

16 ene 2026, 7:02 a.m. GMT-5

29.146 palabras

Fecha de descarga

16 ene 2026, 7:13 a.m. GMT-5

177.817 caracteres

Nombre del archivo

TESIS_FINAL_YHONATAN_MARTINEZ__Y_JORGE_CHAVEZ[1] Copy.pdf

Tamaño del archivo

10.0 MB

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Coincidencias menores (menos de 30 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

7%	 Fuentes de Internet
1%	 Publicaciones
1%	 Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

 **Texto oculto**

28 caracteres sospechosos en N.º de páginas

El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis queridos padres Julian Martinez Condori y Pascuala Huaman Quispe, quienes con su ejemplo de trabajo, sacrificio y amor incondicional me adoctrinaron a nunca rendirme y luchar siempre con valentía por mis objetivos. A mis hermanos, en especial para Guidver y Carin por ser mi fuente constante de ánimo y fortaleza en los momentos más complejos, siendo un pilar fundamental en este camino.

A mi querida familia de parte de mi papá y mamá, en especial para mi prima Elena Flores Huaman y esposo, por ser la base y la fuerza que me sostuvo en este camino y de manera muy cordial para mi madrina Francisca Butron Quispe. Finalmente, dedico este proyecto de tesis a mi propio esfuerzo y perseverancia, porque detrás de cada página laten incontables noches de sacrificio, disciplina, compromiso y entrega absoluta que hoy se ven reflejados en un testimonio de un sueño que, con trabajo y convicción finalmente se hace realidad.

Yhonatan Martinez Huaman

De manera muy espacial a mis padres Jorge Chavez Aguilar y Lucia Huamani Salva, que estuvieron siempre brindándome su apoyo, por enseñarme a seguir y no rendirme nunca y por su amor incondicional.

Con mucho cariño a mis hermanos Odilón Abraham, Elvis Renzo y Lisbeth, por su cariño, apoyo y compañía. Como olvidar a mis primos y tíos que siempre me motivaron a seguir adelante.

Por último, agradecer a todos mis amigos que estuvieron motivándome moralmente y supieron aportar un granito de arena para poder concluir esta meta propuesta y seguir escalando en la vida.

Nolberto Jorge Chavez Huamani

AGRADECIMIENTO

Expresamos, en primer lugar, nuestra profunda gratitud a Dios Todopoderoso, fuente de sabiduría, fortaleza y esperanza, por guiarnos a lo largo de este camino académico y por las innumerables bendiciones derramadas, que hicieron posible la culminación de este trabajo de investigación. Asimismo, extendemos nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, alma mater que nos acogió y formó, por brindarnos una sólida formación académica, valores profesionales y un entorno propicio para el desarrollo científico, intelectual y humano. Esta casa superior de estudios nos proporcionó las herramientas necesarias para crecer como profesionales comprometidos con el conocimiento, la investigación y el servicio a la sociedad.

Agradecemos profundamente a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica por habernos brindado, durante los cinco años, un espacio de formación, crecimiento y acogida. Nuestra gratitud a cada uno de los docentes, quienes, con su dedicación, exigencia y vocación, contribuyeron nuestro desarrollo académico y profesional.

A nuestro asesor de tesis, Mgt. Iván Cáceres Angulo, por su valioso tiempo, orientación y compromiso durante la realización de este trabajo de investigación. Su experiencia, conocimientos y consejos fueron determinantes para concluir con éxito este proyecto.

Al Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET por su valioso respaldo científico y técnico fue esencial para el desarrollo de este estudio, fortaleciendo la investigación geológica en beneficio del país.

Extendemos nuestra gratitud a todas las personas que hicieron posible para sacar adelante este trabajo de investigación.

RESUMEN

El yacimiento de yeso Yoqueray, ubicado en el distrito de Ccapacmarca (Chumbivilcas, Cusco), ha sido explotado artesanalmente sin estudios técnicos previos; la presente investigación tuvo como finalidad de caracterizar petrográficamente y geoquímicamente el depósito, así como estimar sus recursos minerales.

Se aplicó una metodología de enfoque mixto geológica, geoquímica, petrográfica y geofísica, desarrollada en tres etapas: precampo, campo y postcampo. Durante trabajos geológicos se realizaron mapeos, muestreos representativos en canales, trincheras y selectivo. Para caracterizar el yeso se emplearon microscopía petrográfica, análisis químico, difracción de rayos X (DRX) y fluorescencia rayos X (FRX). La estimación de recursos se efectuó mediante tomografía resistividad eléctrica (TRE) y modelamiento 2D.

Los resultados petrográficos revelan texturas sacaroideas, fibrosas, tabulares y bandeadas, con presencia de anhidrita relicta y pequeñas proporciones de cuarzo, carbonatos, óxidos y arcillas. Estos rasgos evidencian origen evaporítico sinégeno asociado a ambientes marinos o lagunares someros, con procesos de diagénesis y posterior alteración supergénica.

Los análisis geoquímicos indican una pureza de yeso superior al 90%, con valores hasta 99%, clasificando el depósito como yeso industrial de alta calidad. La baja concentración de impurezas confirma un ambiente deposicional con limitada influencia detrítica. La TRE delimitó el cuerpo yesífero, estimando un volumen aproximado de 1,248,000 m³. Con densidad 2.3 t/m³ y ley 96%, se estimó un recurso de 2,755,584 toneladas de yeso de alta calidad.

Los resultados confirman que el yacimiento Yoqueray es un depósito de yeso de alta pureza, con elevado potencial económico y técnico para explotación mecanizada sostenible.

Palabras claves: Petrografía, Geoquímica, Recursos, Yeso, Chumbivilcas-Cusco.

ABSTRACT

The Yoqueray gypsum deposit, located in the district of Ccapacmarca (Chumbivilcas, Cusco), has been exploited artisanally without prior technical studies. Therefore, the objective of this research was to petrographically and geochemically characterize the deposit, as well as to estimate its mineral resources.

A mixed methodological approach was applied, integrating geological, geochemical, petrographic, and geophysical methods, developed in three stages: pre-field, field, and post-field. Geological work included mapping and representative sampling from channels, trenches, and selective sampling. Gypsum characterization was carried out using petrographic microscopy, chemical analysis, X-ray diffraction (XRD), and X-ray fluorescence (XRF). Resource estimation was performed using electrical resistivity tomography (ERT) and 2D modeling.

Petrographic results reveal saccharoidal, fibrous, tabular, and banded textures, with the presence of relic anhydrite and minor proportions of quartz, carbonates, oxides, and clays. These features indicate a syngenetic evaporitic origin associated with shallow marine or lagoonal environments, followed by diagenetic processes and subsequent supergene alteration.

Geochemical analyses indicate a gypsum purity exceeding 90%, with values reaching up to 99%, classifying the deposit as high-quality industrial gypsum. The low concentration of impurities confirms a depositional environment with limited detrital influence. (ERT) delineated the gypsum body, estimating an approximate volume of 1,248,000 m³. Using a bulk density of 2.3 t/m³ and an average grade of 96%, a total resource of 2,755,584 tonnes of high-quality gypsum was estimated. The results confirm that the Yoqueray deposit is a high-purity gypsum deposit with significant economic and technical potential for sustainable mechanized exploitation.

Keywords: *Petrography, Geochemistry, Resources, Gypsum, Chumbivilcas–Cusco.*

ÍNDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
INDICE DE TABLAS.....	XI
INDICE DE FIGURAS.....	XIII
LISTA DE ACRONIMOS	XV
1. CAPITULO I: INTRODUCCION.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	2
1.2.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS	3
1.3. JUSTIFICACION.....	3
1.3.1. CONVENIENCIA.....	4
1.1.1. RELEVANCIA SOCIAL	4
1.3.2. IMPLICANCIAS PRÁCTICAS	5
1.3.3. VALOR TEÓRICO	5
1.3.4. UTILIDAD METODOLÓGICA	6
1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.....	7
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	7
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1.5. DELIMITACION DEL ESTUDIO	7
1.5.1. DELIMITACION ESPACIAL	7
1.5.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL	8

2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	10
2.1. ANTECEDENTES.....	10
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	10
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	15
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	17
2.2. BASES TEÓRICAS.....	19
2.2.1. PETROGRAFÍA	23
2.2.1.1. IMPORTANCIA DE LA PETROGRAFIA	24
2.2.1.2. PROPIEDADES OPTICAS CON LUZ ORTOSCOPICA Y NICOLES PARALELOS (PPL)	24
2.2.1.3. PROPIEDADES OPTICAS CON LUZ ORTOSCOPICA Y NICOLES CRUZADOS (XPL).....	26
2.2.1.4. METODO DE ESTUDIO PETROGRAFICO	28
2.2.1.4.1. PREPARACION DE MUESTRAS.....	28
2.2.1.4.2. ANÁLISIS MICROSCOPICO DE LAS MUESTRAS DE YESO.....	28
2.2.2. GEOQUIMICA	29
2.2.2.1. MUESTREO	31
2.2.2.2. PROSPECCION GEOQUIMICA DEL YACIMIENTO YOQUERAY	32
2.2.2.2.1. MUESTREO SELECTIVO.....	32
2.2.2.3. PREPARACION DE MUESTRAS, ANALISIS Y SEGURIDAD	35
2.2.2.4. ENSAYO DE ÓXIDOS MAYORES POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X PARA EL YESO.....	36
2.2.2.4.1. CONTROL DE CALIDAD DE PREPARACION DE MUESTRAS	38
2.2.2.5. QA/QC DE YESO.....	41
2.2.2.6. DIFRACCION DE RAYOS X.....	43
2.2.2.6.1. ANÁLISIS MINERALOGICOS POR DIFRACION DE RAYOS X	48
2.2.3. ESTIMACION DE RECURSOS MINERALES CON PROSPECCION GEOFISICA.....	49
2.2.3.1.1. RETOS EN LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS DE YESO	50

2.2.3.1.2.	RETOS GENERALES EN LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS DE MINERALES	50
2.2.3.1.3.	RETOS ESPECÍFICOS EN LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS	51
2.2.3.1.4.	RECOMENDACIONES PARA ABORDAR LOS RETOS	51
2.2.3.1.5.	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA COMO HERRAMIENTA DE EXPLORACIÓN.....	52
2.2.3.1.6.	PROSPECCIÓN GEOFÍSICA APLICADO A LA ESTIMACIÓN DE RECURSO MINERAL	53
2.2.3.1.7.	TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA.....	53
2.2.3.1.8.	TOMA DE DATOS GEOFÍSICOS EN CAMPO.....	54
2.2.3.1.9.	ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO UTILIZADO	55
2.2.3.1.10.	UBICACIÓN DE LAS LÍNEAS PROPUESTAS DE TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (TRE)	57
2.3.	HIPOTESIS	60
2.3.1.	HIPOTESIS GENERAL.....	60
2.3.2.	HIPOTESIS ESPECIFICOS	60
2.4.	VARIABLES	61
2.4.1.	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	61
2.4.2.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	61
3.	CAPITULO III: MÉTODOLOGIA DE INVESTIGACION	62
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	62
3.2.	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	63
3.2.1.	LIMITACIONES DEL ALCANCE	63
3.3.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	64
3.4.	POBLACIÓN.....	64
3.5.	MUESTRA.....	65
3.6.	UNIDAD DE ANÁLISIS.....	65
3.7.	METODO DE TRABAJO	65
3.7.1.	ETAPA DE PRE-CAMPO.....	65

3.7.2.	ETAPA DE CAMPO	66
3.7.3.	ETAPA DE POST-CAMPO.....	66
3.8.	PLAN DE ANALISIS DE DATOS.....	67
3.9.	VALIDES Y CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTOS	67
3.10.	ASPECTOS ÉTICOS	68
4.	CAPITULO IV: CONTEXTO GEOLOGICO	70
4.1.1.	GEOLOGIA.....	70
4.1.1.1.	GEOLOGIA REGIONAL.....	70
4.1.1.1.1.	FORMACION ARCURQUINA (Kis-a).....	70
4.1.1.1.2.	FORMACIÓN MURCO (Ki-mu).....	71
4.1.1.1.3.	GRUPO TACAZA (Po-t).....	72
4.1.1.1.4.	PLUTON COLQUEMARCA (PN-COL/col-tn).....	72
4.1.1.1.5.	DEPOSITO ALUVIAL (Qh-al).....	73
4.1.1.1.6.	DEPOSITO GLACIAR (Qp-gl)	73
4.1.1.2.	GEOLOGIA LOCAL.....	75
4.1.1.2.1.	DEPOSITOS CUATERNARIOS	75
4.1.1.3.	GEOMORFOLOGIA REGIONAL.....	81
4.1.1.4.	GEOMORFOLOGIA LOCAL.....	83
4.1.1.4.1.	LOMADA EN ROCA SEDIMENTARIA (Rl_rs).....	83
4.1.1.4.2.	CARCAVAS (Ca).....	83
4.1.1.4.3.	VERTIENTE O PIE DE MONTE COLUVIO DELUVIAL (V_cd).....	83
4.1.1.4.4.	CIRCOS GLACIARS (Cr_gl).....	83
4.1.1.4.5.	MONTAÑA DE ROCA SEDIMENTARIA (RM_rs).....	84
4.1.1.4.6.	AVANICOS DELUVIALES (Qh_De).....	85
4.1.1.4.7.	TERRAZAS AGRICOLAS (T_Ag).....	86
4.1.1.1.	PENDIENTES	88
4.1.1.2.	GEOLOGIA ESTRUCTURAL	91

4.1.1.2.1.	SECCION GEOLOGICA - ESTRUCTURAL	93
5.	CAPITULO V: ANALISIS DE DATOS PETROGRAFICOS, GEOQUIMICOS Y DE ESTIMACION DEL YACIMIENTO DE YESO YOQUERAY.....	96
5.1.	ANALISIS PARA EL OBJETIVO ESPECIFICO 1: CARACTERIZAR PETROGRAFICAMENTE DEL YESO DEL YACIMIENTO DE YOQUERAY MEDIANTE EL ANALISIS MICROSCOPICO DE SECCIONES DELGADAS PARA IDENTIFICAR SU TEXTURA, MINERALES ASOCIADOS Y POSIBLES IMPUREZAS	96
5.1.1.	DESCRIPCIÓN TEXTURAL DE MUESTRAS TOMADAS EN CAMPO.....	96
5.1.2.	RESULTADOS PETROGRAFICOS DE SECCIONES DELGADAS.....	104
5.1.2.1.	IDENTIFICACIÓN DE MINERALES Y TEXTURAS	105
5.2.	ANALISIS PARA EL OBJETIVO ESPECIFICO 2: DETERMINAR LA COMPOSICIÓN GEOQUIMICA DEL YESO DEL YACIMIENTO YOQUERAY Y ESTABLECER SU GRADO DE PUREZA EN COMPARACION DE LOS ESTANDARES DE LA NORMA ASTM C22/C22-00... 	113
5.2.1.	ANALISIS QUIMICO DE LAS MUESTRAS	113
5.2.2.	RESULTADOS DE DIFRACCION DE RAYOS X	117
5.2.3.	RESULTADO DE ENSAYO DE METALES BASE POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X2.....	118
5.2.1.	RESULTADOS DE LA SECTORIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	119
5.3.	CUANTIFICAR LOS RECURSOS MINERALES DE YESO DEL YACIMIENTO YOQUERAY MEDIANTE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y DE MODELAMIENTO PARA ESTIMAR SU VOLUMEN Y TONELAJE APROVECHABLE.	123
5.3.1.	PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE PERFILES.....	123
5.3.1.1.	INTERPRETACION DE SECCIONES GEOFISICAS EN 2D.....	123
5.3.2.	RESULTADO DE ESTIMACIÓN DEL RECURSO MINERAL DE YESO	132
6.	CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	133
	DISCUSIONES.....	133

CONCLUSIONES	138
RECOMENDACIONES.....	140
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	141
ANEXOS	143

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Delimitación espacial.....	8
Tabla 1.2 Delimitación temporal.....	8
Tabla 2.1 Proceso de chancado y pulverización.....	37
Tabla 2.2 Características de preparación y especificaciones del equipo	37
Tabla 2.3 Proceso de secado y chancado de las muestras	38
Tabla 2.4 Análisis de duplicados	40
Tabla 2.5 Controles de blancos	41
Tabla 2.6 Controles de duplicados.....	42
Tabla 2.7 Controles de material de referencia.....	43
Tabla 2.8 Condiciones de medición.....	45
Tabla 2.9 Valores de posiciones de picos de estándar de referencia.....	47
Tabla 2.10 Cantidad y datos de la muestra.....	48
Tabla 2.11 Condiciones de equipamiento.....	48
Tabla 2.12 Condición de irradiación del equipo.....	48
Tabla 2.13 Ubicación de líneas geofísicas.....	60
Tabla 2.14 Operacionalización de variables.....	61
Tabla 5.1 Descripción macroscópica de la Muestra M-02-YAC-Y.....	96
Tabla 5.2 Descripción macroscópica de la Muestra M-05-YAC-Y.....	97
Tabla 5.3 Descripción macroscópica de la Muestra M-06-YAC-Y.....	98
Tabla 5.4 Descripción macroscópica de la Muestra M-07-YAC-Y.....	99
Tabla 5.5 Descripción macroscópica de la Muestra M-08-YAC-Y.....	100
Tabla 5.6 Descripción macroscópica de la Muestra M-09-YAC-Y.....	101
Tabla 5.7 Descripción macroscópica de la Muestra M-10-YAC-Y.....	102
Tabla 5.8 Descripción macroscópica de la Muestra M-09-YAC-Y.....	103
Tabla 5.9 Resumen de los resultados petrográficos	104
Tabla 5.10 Descripción microscópica de la Muestra M-02-YAC-Y.....	105
Tabla 5.11 Descripción microscópica de la Muestra M-05-YAC-Y.....	106
Tabla 5.12 Descripción microscópica de la Muestra M-06-YAC-Y.....	107
Tabla 5.13 Descripción microscópica de la Muestra M-07-YAC-Y.....	108
Tabla 5.14 Descripción microscópica de la Muestra M-08-YAC-Y.....	109

Tabla 5.15 Descripción microscópica de la Muestra M-09-YAC-Y.....	110
Tabla 5.16 Descripción microscópica de la Muestra M-10-YAC-Y.....	111
Tabla 5.17 Descripción microscópica de la Muestra M-12-YAC-Y.....	112
Tabla 5.18 Resultados fisicoquímicos de la Muestra M-02-YAC-Y.....	113
Tabla 5.19 Resultados fisicoquímicos de la Muestra M-05-YAC-Y.....	114
Tabla 5.20 Resultados fisicoquímicos de la Muestra M-06-YAC-Y.....	115
Tabla 5.21 Resultados fisicoquímicos de la Muestra M-12-YAC-Y.....	116
Tabla 5.22 Resultados de difracción de rayos X de la Muestra M-05-YAC-Y.....	117
Tabla 5.23 Resultados de difracción de rayos X de la Muestra M-09-YAC-Y.....	117
Tabla 5.24 Resultados de difracción de rayos X de la Muestra M-10-YAC-Y.....	118
Tabla 5.25 Resultados ensayo de metales base por fluorescencia de rayos X de las Muestras M-05-YAC-Y, M-09-YAC- y YM-10-YAC-Y.....	119
Tabla 5.26 Resumen de la pureza de yeso por sectores.....	122
Tabla 5.27 Resistividad del yeso.....	124
Tabla 5.28 Tomografía electica N°1 interpretación de resistividad de yeso.....	126
Tabla 5.29 Tomografía electica N°2 interpretación de resistividad de yeso.....	126
Tabla 5.30 Tomografía electica N°3 interpretación de resistividad de yeso.....	128
Tabla 5.31 Tomografía electica N°4 interpretación de resistividad de yeso.....	130

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de ubicación.....	9
Figura 2.1 Muestreo por canal.....	33
Figura 2.2 Muestreo en chip y selectivo.....	34
Figura 2.3 Muestreo por trincheras.....	35
Figura 2.4 Recolección de muestras.....	36
Figura 2.5 Ley de Bragg.....	44
Figura 2.6 Equipo geofísico en la zona de estudio.....	55
Figura 2.7 Tendido de cables Geofísicos N° 1: de 300 metros.....	58
Figura 2.8 Tendido de cables Geofísicos N° 2: de 300 metros.....	58
Figura 2.9 Tendido de cables Geofísicos N° 3: de 200 metros.....	59
Figura 2.10 Tendido de cables Geofísicos N° 4: de 200 metros.....	59
Figura 4.1 Mapa geológico regional.....	74
Figura 4.2 Deposito coluvio deluvial.....	76
Figura 4.3 Deposito coluvial.....	77
Figura 4.4 Deposito fluvial.....	78
Figura 4.5 Deposito aluvial.....	79
Figura 4.6 Mapa geológico local.....	80
Figura 4.7 Mapa geomorfológico regional.....	82
Figura 4.8 Circos glaciares.....	84
Figura 4.9 Montañas en rocas sedimentarias.....	85
Figura 4.10 Terrazas agrícolas.....	86
Figura 4.11 Mapa geomorfológico local.....	87

Figura 4.12 Mapa de pendientes.....	90
Figura 4.13 Mapa estructural regional.....	92
Figura 4.14 Sección geológica.....	95
Figura 5.1 Mapa de sectorización de la zona de estudio.....	120
Figura 5.2 Grafica de pureza de yeso por sector.....	122
Figura 5.3 Datos de la tomografía eléctrica N:1 en 2D.....	125
Figura 5.4 Datos de la tomografía eléctrica N:2 en 2D.....	127
Figura 5.5 Datos de la tomografía eléctrica N:3 en 2D.....	129
Figura 5.6 Datos de la tomografía eléctrica N:4 en 2D.....	131

LISTA DE ACRONIMOS

Anh: anhidrita

ARCs: Arcillas

CBs: Carbonatos

Car: Cárcavas

Cr_gl: Circos glaciares

Cz: Cuarzo

DRX: Difracción de rayos X

Dlm: Dolomita

GPS: Sistema de posicionamiento global

Ki-mu: Formación Murco

Kis-a: Formación Arcurquina

LCM: Límite de cuantificación del método

LDI: Límite de detección instrumental

LDM: Límite de detección del método

NC: Nicoles cruzados

NP: Nicoles paralelos

OPCs: Minerales opacos

PPL: Luz polarizada plana

Po-t – Grupo Tacaza

PN-COL: Plutón Colquemarca

Qh-al: Depósito Aluvial

Qh-Co: Depósito coluvial

Qh-f: Depósito fluvial

Qp-gl: Depósito glacial

RSD: Desviación estándar relativa

R.S.D.: Desviación estándar relativa

RMS: Error cuadrático medio

S.E.V.: Sondeo eléctrico vertical

TRE: Tomografía de resistividad eléctrica

UTM: Universal Transverse Mercator

XRL: Fluorescencia de rayos X

XPL: Luz polarizada cruzada

Ys: Yeso

1. CAPITULO I: INTRODUCCION

El yacimiento de yeso de Yoqueray se encuentra ubicado en el distrito de Ccapacmarca, provincia de Chumbivilcas, region Cusco, aproximadamente a 165 km de la ciudad del Cusco. Geográficamente, se localiza al este de la comunidad de Ccapacmarca, al oeste de la Comunidad de Huascabamba, al sureste de la comunidad de Cruz Pampa y limita, por el norte, con el anexo Moccojahua. Geologicamente, se caracteriza por la presencia de secuencias sedimentarias pertenecientes principalmente a la Formación Arcurquina, compuesta por tres miembros (M1 y M2), así como por la Unidad Colquemarca (Plutón Pisuropata) y unidades sedimentarias asociadas a la Formación Murco. En estos estratos se observa una interestratificación cíclica de niveles arcillosos y horizontes estratiformes de yeso de hasta 5 metros de espesor, los cuales conforman un depósito de significativa magnitud. Estableciendo un rasgo distintivo de la unidad geológica evaluada. Debido a su magnitud, continuidad y volumen, el yacimiento de Yoqueray se clasifica como uno de los depósitos más significativos dentro del distrito de Ccapacmarca.

Actualmente, el yacimiento es explotado artesanalmente debido a la ausencia de estudios petrográficos, geoquímicos y de estimación de recursos minerales que permitan conocer la calidad del yeso y el volumen real disponible. La industria del yeso en América Latina se caracteriza por presentar minerales con altos niveles de pureza (hasta 94%), mientras que en Perú destacan depósitos ubicados en Piura, Lambayeque y La Libertad. En este contexto, el yacimiento Yoqueray representa un recurso subvalorado cuya caracterización científica es esencial para una explotación sostenible.

Este proyecto se desarrolla aplicando estudios petrográficos, análisis geoquímicos, mapeo geológico y tomografía eléctrica (TRE) para la estimación de recursos minerales. El objetivo

principal es conocer la calidad, pureza y volumen del yeso para determinar su potencial económico y su viabilidad de explotación a mediano y largo plazo.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En yacimiento de yeso Yoqueray, ubicado en el distrito de Ccapacmarca, su explotación se ha desarrollado de manera artesanal y su uso solo es en obras civiles, debido a la ausencia de un estudio petrográfico, geoquímico y de estimación de recursos minerales que permita conocer con precisión su calidad, origen, continuidad y volumen explotable. Esta falta de caracterización limita la posibilidad de implementar una explotación eficiente, mecanizada y sostenible del depósito.

A nivel nacional, la demanda de yeso muestra una tendencia creciente y actualmente se proyecta un consumo aproximado de 0,4 millones de toneladas por año, impulsado por el dinamismo del sector construcción y por la diversificación de sus aplicaciones industriales. Este escenario evidencia la necesidad urgente de evaluar técnica y científicamente los yacimientos que aún no cuentan con estudios especializados, con el fin de asegurar el abastecimiento hacia el futuro y promover un aprovechamiento responsable del recurso, en la industria química, agricultura, industria médica, arte, escultura y conservación patrimonial.

En este contexto, el yacimiento Yoqueray requiere una investigación integral que incluya análisis petrográfico, geoquímico y la estimación de recursos mediante métodos geofísicos como la tomografía de resistividad eléctrica (TRE), a fin de determinar su calidad y potencial real. La ausencia de esta información constituye el problema central que motiva el presente estudio.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera las características petrográficas, geoquímicas y la estimación cuantitativa de los recursos minerales influyen en la determinación de la calidad, volumen y potencial de

explotación del yacimiento de yeso Yoqueray, ubicado en el distrito de Ccapacmarca, provincia de Chumbivilcas, región Cusco-2025?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS

- 1) ¿Cuáles son las características petrográficas del yeso presente en el yacimiento Yoqueray y qué texturas y minerales asociados determinan su calidad?
- 2) ¿Cuál es la composición geoquímica del yeso del yacimiento Yoqueray y cómo esta determina su grado de pureza según los estándares internacionales?
- 3) ¿Cuál es la cantidad estimada de recursos minerales de yeso presentes en el yacimiento Yoqueray?

1.3.JUSTIFICACION

En el yacimiento de yeso Yoqueray, su explotación artesanal y la ausencia de estudios especializados han limitado el conocimiento real de sus propiedades físicas y químicas, así como del volumen explotable del recurso. Esta falta de información científica impide establecer estrategias adecuadas de aprovechamiento, optimización de la producción y evaluación de su sostenibilidad a largo plazo.

Esta tendencia evidencia la importancia de identificar y evaluar nuevos depósitos con potencial económico, especialmente en regiones donde los recursos aún no han sido caracterizados formalmente. Una evaluación científica rigurosa permite reducir la incertidumbre geológica, mejorar la planificación minera y garantizar el abastecimiento futuro frente al incremento proyectado de consumo.

Desde una perspectiva metodológica, la integración de estudios petrográficos, geoquímicos y geofísicos (como la tomografía eléctrica) constituye un enfoque robusto para la estimación de recursos minerales. Estos métodos permiten determinar la mineralogía dominante, el grado de

pureza del sulfato de calcio dihidratado, las asociaciones litológicas, la presencia de impurezas y la geometría tridimensional del depósito. Dichos parámetros son esenciales para establecer la viabilidad técnica de una explotación mecanizada y para diseñar estrategias de manejo sostenible del yacimiento.

Por lo tanto, el presente estudio permitirá llenar el vacío de información existente sobre el yacimiento Yoqueray, aportando datos confiables que contribuirán al conocimiento geológico regional, a la evaluación precisa de sus recursos y a la planificación responsable de su futura explotación. Además, brindará información relevante para la industria nacional del yeso, fortaleciendo la toma de decisiones y promoviendo el desarrollo minero sostenible en la región del Cusco-Ccapacmarca.

1.3.1. CONVENIENCIA

La investigación es conveniente debido al alto volumen de yeso estimado en el yacimiento Yoqueray, calculado en **1,248 000 m³**, equivalente a aproximadamente **2,755,584 toneladas** de recurso mineral de yeso de alta calidad. Esta cifra supera ampliamente el promedio de reservas de operaciones artesanales de yeso en el sur del Perú, que varían entre **50 000 y 150 000 toneladas**,

Además, la pureza promedio de 96% obtenida mediante análisis mineralógicos (DRX) demuestra que el depósito posee un mineral competitivo respecto al estándar latinoamericano (94%). Esta cercanía estadística justifica la necesidad de profundizar en su caracterización.

1.1.1. RELEVANCIA SOCIAL

En términos regionales, el distrito de Ccapacmarca registra una tasa de empleo informal del **69%** (INEI, Chumbivilcas, 2023). Un proyecto minero formalizado basado en resultados científicos como el presente podría reducir esta cifra entre **5% y 8%** en los primeros 5 años.

La investigación puede enfatizar su utilización en diversas aplicaciones, creando nuevas fuentes de ingresos, no únicamente como material constructivo, sino que también tiene un impacto considerable en la economía local, la sostenibilidad ambiental, la educación y el bienestar social de la zona creando puestos de trabajo ya sea de forma directa o indirecta.

1.3.2. IMPLICANCIAS PRÁCTICAS

El yeso es un recurso mineral con múltiples aplicaciones industriales. Gracias a la identificación petrográfica (texturas masivas, sacaroideas y fibrosas) y a los análisis geoquímicos que indican una pureza superior al 90% de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, el depósito puede clasificarse como yeso industrial de alta calidad. Esta clasificación incrementa su valor comercial entre un 10 y un 15% en comparación con yesos de menor pureza.

El yeso de alta calidad tiene usos importantes en la construcción (como componente en revestimientos de paredes y techos), en la agricultura (como enmienda para suelos) y en la industria del cemento. La identificación de un depósito de estas características contribuye directamente al desarrollo económico local y regional, ya que puede generar empleo, dinamizar actividades productivas y mejorar la infraestructura.

En este sentido, el depósito de yeso Yoqueray presenta un potencial de explotación significativo, lo que resalta la importancia de este estudio para valorar adecuadamente el recurso y comprender su posible contribución a la economía de la zona.

1.3.3. VALOR TEÓRICO

El estudio petrográfico y geoquímico del yacimiento Yoqueray es fundamental por lo que aporta una información relevante al campo de la geología económica y a la mineralogía evaporítica:

- incrementa la base de datos de depósitos evaporíticos del sur del Perú, región que posee **menos del 12%** de estudios formales sobre yeso en comparación con la costa norte.
- Confirma la existencia de yacimientos de yeso de alta pureza (>90%) en zonas altoandinas a 3600 msnm, algo poco documentado en literatura geológica peruana.
- El análisis petrográfico identifica asociaciones minerales (yeso–anhidrita–dolomita) coherentes con ambientes evaporíticos restringidos, contribuyendo a modelos sedimentológicos regionales.
- Aporta datos geoquímicos útiles para comparar con estándares ASTM, reforzando la validez de métodos analíticos aplicados a yesos peruanos.

Este valor teórico contribuye al fortalecimiento del conocimiento académico sobre depósitos evaporíticos andinos en Perú.

1.3.4. UTILIDAD METODOLÓGICA

La metodología aplicada (mapeo geológico, DRX, análisis petrográfico, estimación volumétrica por TRE.) se convierte en un modelo reproducible para futuros estudios de yeso u otros minerales no metálicos.

- La identificación textural y mineralógica mediante microscopía aumenta la precisión de clasificación mineral en 90–95%, frente a métodos visuales de campo que solo alcanzan 40–60%.
- La integración DRX–geoquímica permite determinar la pureza del yeso con un margen de error inferior al 1.5%, lo que garantiza la confiabilidad del estudio.

- Reducción del error en la estimación de recursos minerales:
El uso del TRE y secciones geológicas reduce la incertidumbre en el cálculo volumétrico a $\pm 5\%$, frente al $\pm 20\%$ de métodos empíricos artesanales.

1.4.OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las características petrográficas, la composición geoquímica y la cantidad de recursos minerales del yacimiento de yeso Yoqueray, con el propósito de evaluar su calidad y su potencial de explotación en el distrito de Ccapacmarca, provincia de Chumbivilcas, región Cusco.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Caracterizar petrográficamente el yeso del yacimiento Yoqueray mediante el análisis microscópico de secciones delgadas para identificar sus texturas, minerales asociados y posibles impurezas.
- 2) Determinar la composición geoquímica del yeso del yacimiento Yoqueray y establecer su grado de pureza en comparación con los estándares de la norma ASTM C22/C22-00.
- 3) Cuantificar los recursos minerales de yeso del yacimiento Yoqueray mediante métodos geofísicos y de modelamiento para estimar su volumen y tonelaje aprovechable.

1.5.DELIMITACION DEL ESTUDIO

1.5.1. DELIMITACION ESPACIAL

La zona de estudio se encuentra en la extensión de la comunidad campesina de Ccapacmarca, distrito de Ccapacmarca, provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco, a

una altitud promedio de 3220 m.s.n.m. y es en la zona 18L, con Datum WGS_1984 y presentan coordenadas UTM que se detallan a continuación: ESTE: 821113.25 Y NORTE: 8448526.97.

Tabla 1.1
Delimitación espacial

TRAYECTO	DISTANCIA (km)	TIEMPO (h)	CONDICION
Cusco-Ccapacmarca	160	4:30	Carretera afirmada
Ccapacmarca-Yacimiento Yoqueray	5	0:30	Carretera afirmada

Nota. En la tabla se presenta el tiempo de recorrido desde la ciudad del Cusco hasta la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

1.5.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL

La presente investigación se realizó en un periodo de tiempo desde diciembre del año 2024 hasta octubre del año 2025.

Tabla 1.2

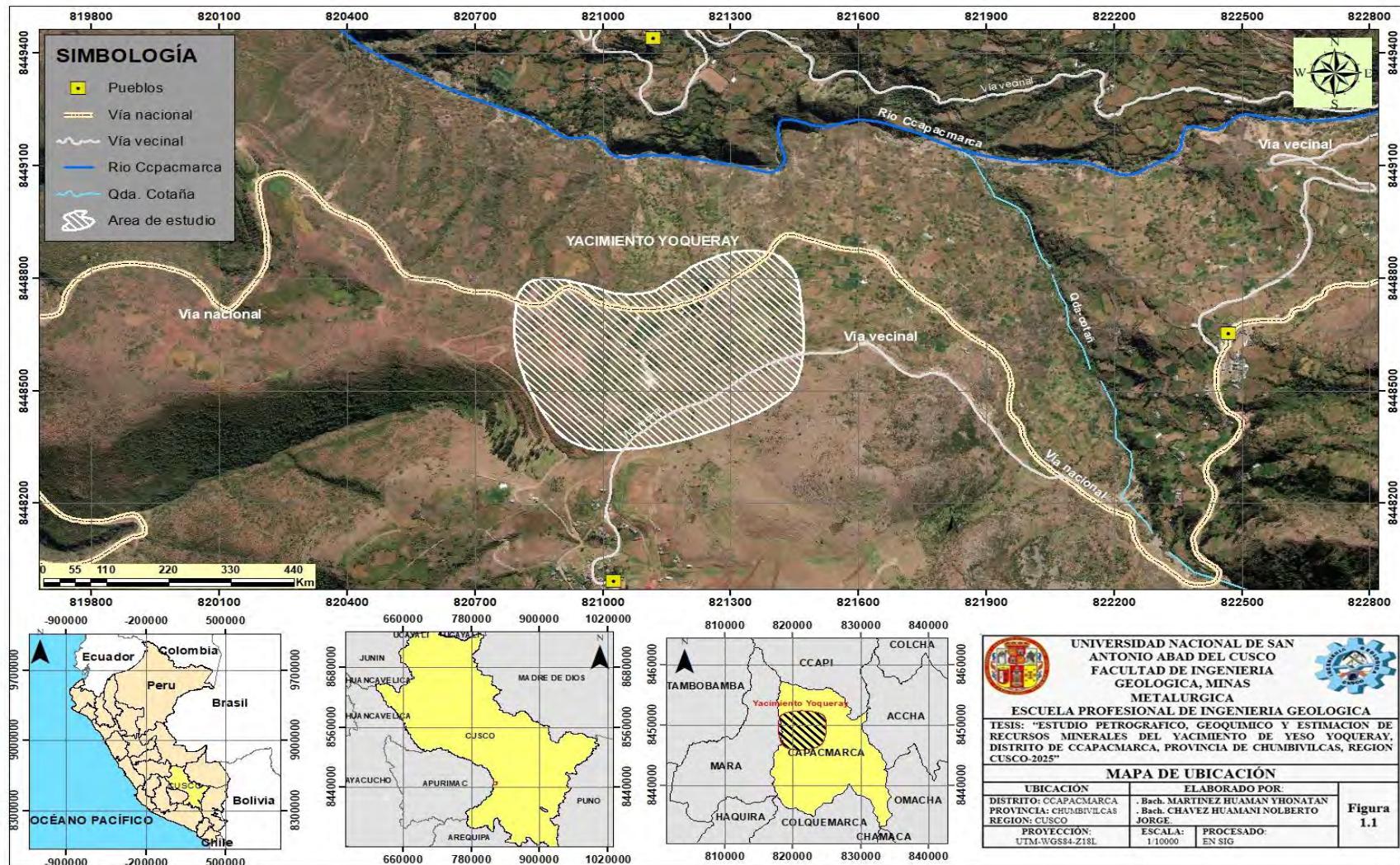
Delimitación temporal

Recopilación de información	Visita a la zona de estudio	Exploración de la zona la de estudio	Trabajos de laboratorio	Desarrollo del proyecto de investigación
1 mes	2 meses	7 semanas	3 meses	5 meses

Nota. Se muestra el cronograma que sintetiza el proceso de concepción, desarrollo y consolidación del proyecto de tesis. . Fuente: elaboración propia.

Figura 1.1

Mapa de ubicación



Nota. Mapa de ubicación del yacimiento de Yoqueray. Fuente: elaboración propia.

2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Para el desarrollo de la presente tesis se han considerado investigaciones previas relacionadas con el tema de estudio, incluyendo trabajos orientados a la estimación de recursos minerales de yeso mediante tomografía de resistividad eléctrica. Estas investigaciones constituyen una base teórica y metodológica sólida, permitiendo abordar de manera fundamentada los desafíos asociados a la evaluación del yacimiento y enriqueciendo el análisis de la calidad de yeso.

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Gungor P., Helvaci C., et al. (2016) “Petrographic study and geochemical investigation of the evaporites associated with the Germik Formation (Siirt Basin, Turkey)” en este estudio se observaron las distintas litofacies yesíferas, estructuras sedimentarias y minerales (texturas alabastrinas y porfiroblásticas de yeso, veteado satinado, laminado-bandas, nodular, masivo, ondulado-plegado, bituminoso, granulado, materiales orgánicos, celestita, calcita, dolomita, etc.) mostraron el efecto de la diagénesis, el clima y la actividad tectónica y sus ocurrencias. Seguidamente se realizaron varios análisis en las diferentes muestras para elementos principales y traza, las muestras de yeso-anhidrita se analizaron para composiciones isotópicas, y dedujeron que las evaporitas son de sedimentación marina poco profundas y obtuvieron estos resultados, los estudios petrográficos-mineralógicos y geoquímicos sugieren que las evaporitas de Germik y Lice son de origen marino con presencia de minerales (cuarzos detríticos, feldespato, etc.) y una contribución significativa de aguas continental al ambiente deposicional. Además, los valores de los isótopos de oxígeno y azufre representan la composición isotópica de sulfato del agua marina y las evaporitas de las formaciones Germik y Lice precipitaron en el Terciario.

La comprensión de este estudio nos indica que las litofacies yesíferas en las formaciones Germik y Lice no solo es fundamental para la caracterización del entorno deposicional, pero afecta la reconstrucción paleoclimática y la evaluación de los recursos minerales. La presencia de texturas alabastrinas y porfiroblásticas de yeso sugiere un ambiente de evaporación que puede estar asociado con condiciones climáticas cálidas y áridas, lo que es coherente con el contexto del Terciario.

Zaheri M., Rafiei B., et al. (2019) “Facies analysis, petrography and geochemistry of the Neogene gypsum deposits in the Eshtehard area, Alborz Province, Iran” Los depósitos de evaporita examinados en este estudio están situados en la zona de Eshtehard (SO de la provincia de Alborz). se seleccionaron un total de cuarenta y cinco muestras de yeso, también se realizaron 14 secciones delgadas representativas para el estudio petrográfico, se realizó un análisis químico utilizando un difractómetro y treinta muestras de yeso para el análisis de facies. Entre sus resultados obtuvo que las evaporitas neógenas están compuestas por litofacies de yeso masivo, selenítico, nodular y satinad, en el microscopio identificaron tres texturas diferentes: porfiroblástica, alabastrina y yeso fibroso. Las investigaciones petrográficas y los análisis de difracción de rayos X mostraron que los lechos evaporíticos están compuestos principalmente por yeso, sin relictos de anhidrita. Las características de estas litofacies y microfacies indican que el yeso se depositó en los entornos lacustre y sabkha. El análisis ICP-OES muestra diferencias significativas en los contenidos de elementos principales y traza de los cuatro tipos de yesos. Las concentraciones de Sr, Fe, Al, Mg y Na aumentaron en los yesos masivos, mientras que los cristales representan una disminución de tamaño. Los contenidos de estos elementos también disminuyeron en los yesos nodulares, fibrosos y seleníticos. Esto indica probablemente un aumento y una disminución de la concentración de salmuera, respectivamente. Llego a concluir que los depósitos neógenos de la zona de Eshtehard

se superponen de forma inconforme a las rocas del basamento eoceno y se subdividen en cinco unidades (M1 a M5). Las sucesiones evaporíticas (M1 a M3) consisten en varios tipos de yeso.

Nuestro conocimiento de los procesos sedimentarios y las condiciones paleoambientales de la región durante el Neógeno se puede ampliar en gran medida estudiando los depósitos de evaporita en el área de Eshtehard y examinando de cerca las diversas litofacies y microfacies.

Condori H., et al. (2017) “Estudio Geológico y Calculo de Reservas de los Depósitos de Yeso de la Región de Achiri Provincia de Pacajes Departamento de la Paz”, Su objetivo se llevó a cabo un análisis geológico de la zona y se establecieron y cuantificaron las reservas y recursos de los depósitos de yeso en la cordillera Jank'o Qhollu en la región de Achiri. Se llegó a la siguiente conclusión: Se realizó una búsqueda general de cuerpos mineralizados de yeso mediante trabajo topográfico con reconocimiento geológico superficial, donde se delimitaron los yacimientos mineralizados. Asegura que las manifestaciones en las rocas de yeso se correlacionan con las eras Paleógena y Neógena basándose tanto en el mapeo geológico de los afloramientos como en los mapas geológicos mismos. Para evaluar la aplicación de este sistema en el análisis de viabilidad de la extracción de yeso, se toman en cuenta factores que se adecuan a la inclinación de los estratos, la longitud, el ancho, el espesor y la forma del depósito. Dichos parámetros también establecen las capas estratigráficas de resistencia real del subsuelo, facilitando la definición de la morfología de la cantera para una nueva explotación de los recursos existentes en la zona delimitada y, de este modo, mantener la extracción de materia prima a largo plazo.

Carrera J., et al. (2014) “Estudio Geológico-Minero y Calculo de Reservas de los Yesos del Área de Ventas Blancas (La Rioja)” Su meta es ejecutar un estudio geológico en Lagunilla del Jubera para calcular las reservas de yeso. Asimismo, se analiza la estructura singular del material para evaluar si su extracción podría ser rentable. Se determina que: Al valorar las reservas

minerales, que se computan usando la fórmula siguiente: $T = A * h * p$, donde T representa la cantidad total de reservas, A es la superficie de la cuadrícula minera en una sección de planta, indicada en m^2 , h es el grosor de los depósitos actuales, indicado en m , y p es la densidad del material, indicada en t/m^2 . Esto da como resultado 37 millones de Tm en la unidad Triásica y cerca de 7 millones de Tm en la unidad Terciaria. Es importante señalar que el yacimiento de yeso tiene 45 millones de toneladas con características óptimas para su venta y uso.

El método de triangulación utilizado por el autor Javier Carrera Ruiz se considera un factor clave que influye en la rentabilidad económica del proyecto minero, y se incluye en la parte del estudio dedicada a la estimación de reservas minerales. Es importante señalar que el uso de fórmulas matemáticas es fundamental para calcular las reservas geológicas de yeso.

Muños A., et al. (2020) “Caracterización e identificación de alabastro y yeso de calidad estatuaria: Aplicación en la determinación de procedencia para proyectos artísticos de alabastro realizados en Aragón entre la Edad Media y la Edad Moderna”, Asimismo, además de analizar la ubicación y propiedades del alabastro de canteras históricas en Aragón y regiones adyacentes como La Rioja, Navarra, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana y Cataluña, se buscó estudiar las obras artísticas en alabastro desde la Edad Media hasta la Edad Moderna, principalmente en Aragón. Los autores del trabajo recopilaron mármoles de 15 fuentes y 39 litotipos, así como muestras de alabastro de 13 fuentes y 30 litotipos, todos ellos medidos en sus respectivas canteras de origen. Todos los tipos de yeso se determinaron como alabastro, con predominio de las texturas microcristalinas y C.E.N.U. (Centro Nacional de Estadísticas). Dependiendo de la cantera de origen, sus porcentajes pueden variar. Para clasificar y distinguir las litologías del yeso en estudio y determinar su origen, se desarrolló un proceso geológico-petrológico. Las características macroscópicas, las diversas texturas petrográficas, la composición geoquímica y el

comportamiento lumínico sientan las bases para su posterior aplicación en la investigación de los orígenes de las creaciones. La información recopilada ofrece nuevas perspectivas sobre las cualidades especiales y únicas de cada litofacia. Según los hallazgos de la investigación, ahora comprendemos mejor cómo se utilizaban el alabastro y sus canteras desde la Edad Media hasta la Edad Moderna. Se examinaron visualmente 200 de las 350 obras creativas, incluyendo 57 muestras, dos de las cuales eran de origen desconocido.

Esta tesis doctoral representa un ejemplo excelente de investigación interdisciplinaria que aporta valiosos conocimientos sobre la historia del arte, la geología y la química del alabastro. Sus resultados tienen el potencial de contribuir significativamente a la preservación del patrimonio cultural y al avance del conocimiento científico.

Mujica L., et al. (2011) “Estudio geoquímico de los cuerpos evaporíticos de la costa norte-central del estado Falcón”. El objetivo principal de su tesis fue determinar las propiedades químicas y mineralógicas de los cuerpos evaporíticos presentes en la llanura costera del río Mitare, al norte del estado Falcón, así como en los salares de Las Cumaráguas y Bajarigua. Se recolectaron once muestras de sedimentos superficiales, siete muestras de costra salina y trece muestras de salmuera. Según sus hallazgos, la evaporación limitada de las aguas del Mar Caribe y del Golfo de Coro, respectivamente, es el principal factor que influye en la configuración de las características químicas y mineralógicas del salar de Las Cumáraguas y la llanura costera del delta del río Mitare. La naturaleza mineralógica de estas sabkhas costeras se compone principalmente de yeso y halita, y sus salmueras se clasifican químicamente como Na-(Mg)-Cl-(SO₄), con un componente de Na-(Mg)-Cl presente en la llanura costera. Las salinas de Las Cumáraguas y la llanura costera exhiben paralelismos en la evolución de sus salmueras debido a su origen marino compartido, y en última instancia, sus hallazgos son: Las sabkhas costeras, que son cuerpos de

evaporita que se encuentran en la porción centro-norte del estado Falcón, se distinguen por la evaporación del agua de mar y están fuertemente impactadas por los procesos costeros. Con salmueras supersalinas que se clasifican químicamente como Na-(Mg)-Cl-(SO₄), un subproducto de la evaporación del agua del Mar Caribe, las salinas de Las Cumaraguas son una sabkha costera. Su mineralogía está compuesta mayoritariamente de yeso y halita, y sugiere que la evolución de las salmueras de la mina de sal de Bajarigua sigue el proceso número II de Eugster y Hardie (1979), agua baja en HCO₃ y alta en Ca y Mg. Una salmuera de Ca-Na-MgCl se produce cuando Ca >> Mg y el producto de la precipitación de yeso.

El análisis geoquímico de los cuerpos evaporíticos en la costa centro-norte del estado Falcón, además de abrir nuevas posibilidades de investigación sobre los procesos geoquímicos y geológicos en ambientes evaporíticos, proporciona valiosas perspectivas sobre los factores geológicos y geoquímicos que impactan la formación de estos entornos. Para una comprensión completa de estos fenómenos, son cruciales los enfoques multifacéticos que consideran aspectos geológicos, climáticos e hidrológicos.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Son escasos los estudios de alcance regional que comprenden el área de estudio; sin embargo, destaca el trabajo de cartografía del cuadrángulo de Santo Tomás 29-r (Jenks et al., 1948)

Gómez M., et al. (2018) “variabilidad textural y mineralógica de un yacimiento de yeso en Cajatambo (Peru)”, el propósito de esta investigación fue mostrar la mineralogía, variedad textural y la estratigrafía del yacimiento de yeso de Cajatambo. La mineralogía del depósito está compuesta por yeso, anhidrita, basanita, calcita, cuarzo y estroncianita, lo cual evidencia un ambiente de depósito evaporítico con fases de transformación diagenética.

Estratigráficamente, el yacimiento muestra tres afloramientos principales. En la base se observan limolitas y arcillitas, que representan un ambiente de sedimentación de baja energía. Hacia la parte media ocurre una intercalación de niveles de yeso con estas rocas finas, mientras que la parte superior está compuesta casi íntegramente por minerales de la familia del yeso, indicando un incremento en las condiciones evaporíticas durante la deposición.

El yacimiento presenta una notable variedad de texturas, entre las que destacan: laminar fina, bandeada, masiva, acicular fina, sacaroidea, estratiforme, cavernosa, plegada, cristalizada, plumosa y pulverulenta. Esta diversidad textural refleja variaciones en las condiciones químicas y físicas del ambiente evaporítico, así como procesos posteriores de recristalización y deformación.

El siguiente proyecto de investigación del yacimiento de Cajatambo constituye un ejemplo representativo de depósitos evaporíticos andinos, con importante variabilidad mineralógica y textural que aporta información relevante para la interpretación de su evolución geológica.

López D., Sandoval E. et al. (2021) "Determinación del Potencial Exploratorio en la Cantera de Yeso para la Estimación de Reservas de la Comunidad Campesina San Pedro de Mórrope". El propósito de esta investigación fue establecer el potencial de exploración de la cantera de yeso para calcular las reservas en el CCSPM. Para el recojo de información se utilizaron métodos como es el método analítico, sistemático y técnicas de investigación documental, de campo y de observación directa, junto a instrumentos utilizados como las guías de observación, fichas técnicas y guías documentales aplicados en el campo de estudio para la obtención de datos correspondiente a la geología y potencia del material.

Todo este trabajo permitió concluir que al haberse ejecutado la exploración por medio de calicatas se determinó potencias de yeso de 0.31 m a 0.38 m y la capa de arena con profundidades de 27 cm – 35 cm de acuerdo a los datos obtenidos, con este potencial de la cantera se pudo estimar

las reservas, obteniendo como resultado 4, 081,842.98 toneladas de Yeso en toda la extensión de la zona de estudio.

En el trabajo de investigación de López y Sandoval demuestran una metodología de exploración aplicada de manera sistemática para evaluar el potencial de una cantera de yeso manejada previamente con métodos artesanales. El uso de técnicas documentales, de campo y de observación directa permitió obtener una caracterización básica pero confiable del depósito. La apertura de calicatas resultó efectiva para determinar la potencia del yeso.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Bolulanger E., Chong L M., Sipión Ch., et al. (2019) “Estudio de recursos de rocas y minerales industriales para la inclusión económica social y desarrollo en la región Cusco: sector meridional” En su tesis, cuyo objetivo principal fue determinar el estado y el potencial de crecimiento de rocas y minerales industriales en la región sur del Cusco, se obtuvo la siguiente información sobre los yacimientos económicamente viables de rocas y minerales industriales encontrados en la región del Cusco: yeso (19), agregados (18), caliza (10), toba volcánica (sillar) (4), sal (3), travertino (2), laja volcánica (1) y arcilla común (1). Llego a la conclusión que la región Cusco produce exclusivamente agregados y yeso mediante la minería no metálica, según las estadísticas mineras del Ministerio de Energía y Minas, las concesiones o derechos mineros no metálicos suman actualmente 190.

La evaluación del potencial de los recursos minerales y rocosos industriales (RMI) de la región del Cusco y su capacidad para sustentar el avance social y económico de la población local son los principales objetivos de este estudio. A través de un enfoque multidisciplinario que incluye geología, economía y sociología, se busca establecer un marco teórico y práctico que respalde la explotación sostenible de estos recursos.

Leon E., Edmundo H., et al. (2024) “Estudio experimental de la mezcla de yeso – cemento y el tiempo de fraguado para enlucidos interiores en la ciudad del cusco 2023” Su objetivo principal fue identificar experimentalmente la mezcla óptima de yeso y cemento comparando la proporción de 100% de yeso y 0% de cemento (yeso patrón) para enlucido interior con la relación agua/polvo, los períodos de fraguado, la resistencia a la compresión y el estudio del costo unitario por cada 100% de pared y techo. Con un total de 18 muestras de mortero de yeso con cemento para analizar la relación agua/polvo por medio del método de fluidez de la pasta, 108 especímenes para la evaluación de compresión básica y 18 para revisar el tiempo de fraguado, el análisis es cuantitativo y de diseño experimental. Para el enlucido interior en Cusco, concluyo que la mejor mezcla de yeso y cemento debe determinarse experimentalmente. Asimismo, analizo la relación entre agua y polvo, los tiempos de fraguado, la resistencia a compresión y el estudio del costo unitario por cada 100 % de pared y techo, en contraste con la proporción 100 % de yeso y 0 % de cemento (enlucido estándar).

Este estudio de investigación presenta un enfoque práctico y relevante para la construcción en la ciudad del Cusco, también teniendo presente la combinación de un enfoque metodológico riguroso, la consideración del contexto local y la evaluación del costo unitario proporciona resultados relevantes para la práctica. Por lo tanto, esta investigación abre nuevas posibilidades para la innovación en la construcción, mejorando la calidad, la eficiencia y la sostenibilidad de las estructuras.

Mamani D., et al. (2016) “evaluación comparativa de las propiedades mecánicas entre el yeso y el yeso adicionado con materiales reciclados según la norma une-en 13279-2 para su uso en la fabricación de placas de yeso.” El objetivo central de su tesis fue contrastar las características mecánicas (dureza, resistencia a la flexión y compresión) del yeso y del yeso mezclado con

materiales reciclados (celulosa, corcho, caucho y polímero), siguiendo la norma UNE-EN 13279-2, para su aplicación en la fabricación de placas de yeso. Se elaboraron 75 muestras de yeso (población) a través de un diseño de estudio experimental, con o sin la incorporación de material reciclado. Se recolectaron 15 muestras de yeso, 15 muestras de yeso con celulosa, 15 muestras de yeso con corcho, 15 muestras de yeso con caucho y 15 muestras de yeso con polímero. De sus descubrimientos, llegó a la conclusión de que todas las muestras satisfacían los criterios de resistencia a la flexión de la norma UNE-EN 13279-1, que son mayores a 1 N/mm^2 . Se llegó a la conclusión de que las características mecánicas del yeso y del yeso combinado con materiales reciclados (celulosa, corcho, caucho y polímero) varían notablemente. Las propiedades mecánicas del yeso mejoraron al añadir cada material reciclado, de acuerdo con los resultados de los ensayos de flexión, dureza y compresión.

Esta investigación nos da información valiosa para comprender el comportamiento de este material de construcción y optimizar su uso y la aplicación de una metodología rigurosa, la evaluación de diferentes propiedades del yeso y el análisis del comportamiento sísmico del tabique de yeso proporcionan información relevante para la selección y el uso adecuado de este material.

2.2.BASES TEÓRICAS

YACIMIENTO

Es donde se encuentran abundantes recursos naturales como minerales, petróleo y gas natural. Así, tiene un potencial para su explotación comercial (Westreicher G, 2020).

RESERVAS GEOLOGICAS

Las reservas geológicas son consideradas la cantidad de recurso en el lugar de estudio, reporte de los estudios geológicos realizados en el lugar. Para Bustillo y López (1997), "El material

calculado aproximadamente a partir del yacimiento, todo el material presente en determinadas condiciones", así lo definen. (ley mínima de explotación, etc.)" (p.159).

ESTIMACIÓN

Es el proceso de obtener un valor aproximado de un parámetro desconocido a partir de datos observados. De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), estimar implica aplicar procedimientos inferenciales que permiten derivar valores representativos con un grado de precisión. De manera similar, Kerlinger y Lee (2002) señalan que la estimación consiste en inferir características o magnitudes no observadas directamente a partir de evidencia empírica.

ESTIMACION DE RECURSO MINERAL

Para Vázquez (2012), "Un evento de interés económico, ya sea dentro o fuera de la corteza terrestre, en una forma y cantidad que demuestre que existen cantidades razonables para futuras inversiones mineras" es la definición de un recurso mineral (p.48). Si bien el valor de mercado del recurso lo hace de interés económico, esto no significa que su explotación sea económicamente ventajosa, por lo que se deben realizar estudios económicos antes de invertir en él.

CALIDAD

Para Juran la calidad es una "adecuación para el uso" (Juran, 1990, p.4), Utiliza el término en el contexto de la retroalimentación del usuario, es decir, la capacidad de satisfacer las demandas al usar el producto o servicio, lo que sugiere que es de alta calidad. Sin embargo, incorpora su concepto de la Espiral de Calidad a las acciones internas que la empresa realiza para garantizar el cumplimiento de los estándares asociados al producto o servicio en cuestión. Juran utilizó dos definiciones de calidad: el rendimiento del producto y la ausencia de defectos. Para gestionar eficazmente este tipo de calidad, es necesario recurrir a lo que ahora parece ser un concepto muy antiguo de su trilogía de la calidad (Juran, 1986 en James, 1997, p. 46).

EVAPORITA

Según (Scott A. Elias, 2021) se pueden formarse en cualquier lugar de la Tierra donde la evaporación exceda la precipitación. Su conservación está controlada por la naturaleza del clima postdeposicional, la entrada de aguas subterráneas y la historia de enterramiento posterior. Las evaporitas costeras modernas se acumulan entre 15° y 35° de latitud, pero las evaporitas intracontinentales pueden aparecer más allá de los 50°, a veces estando congeladas durante varios meses del año. Por lo tanto, las sales no implican necesariamente calor permanente. La formación y conservación de las sales más solubles de potasio requieren una humedad atmosférica baja (menos del 50%).

YESO

Según (Novo de Miguel, 1968) El yeso es un mineral constituido por sulfato de calcio dihidratado, que se encuentra en muchos lugares de la superficie terrestre, formando unas veces masas compactas o rocas blandas, otras veces masas terrosas y en algunos casos disueltos en determinadas aguas, llamadas seleníticas.

En Perú, el yeso se encuentra en formaciones geológicas que datan del Pérmico (Grupo Mitú) al Cuaternario. Estas incluyen las formaciones Simbal y Socos, así como los grupos Mitú, Pucará y Goyllarisquizga. También se encuentran en las Formaciones Celendín, Casapalca, Jumasha, Chúlec, Pariatambo, Santa, Moquegua, Chilcane, Arcurquina, Ayavacas y otras (Díaz y Ramírez, 2009).

VARIEDADES DEL YESO

➤ Gipsita

Se presenta generalmente como un mineral sedimentario evaporítico formado por la precipitación química en ambientes marinos o continentales donde ocurre la evaporación intensa

del agua. Es un tipo de yeso blando (escala de Mohs dureza de 2), incoloro blanco a blanco, aunque puede presentar tonalidades grises o rojizas por impurezas (Klein & Dutrow, 2012).

➤ **Espato satinado**

El espato satinado corresponde a una forma fibrosa de la gipsita, diferenciándose de selenita (variedad transparente y laminar) y del alabastro (masiva y compacta) (Klein & Dutrow, 2012).

➤ **Selenita**

Tiene un brillo perlado y es transparente e incoloro. La palabra griega "luna", que significa roca lunar, es de donde proviene el término selenita. La fórmula del yeso, también conocido como selenita, es $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, que es una forma dihidratada de sulfato de calcio. Constituye la piedra de yeso o selenita y se encuentra ampliamente en la naturaleza en forma de punta de lanza.

La selenita es una variedad transparente y bien cristalizada del yeso, básicamente se forma en cristales tabulares o prismáticos en entornos evaporíticos (Klein y Dutrow, 2012 Manual de ciencias minerales).

➤ **Yeso sacaroideo**

Es una variedad textural del yeso, identificado por su aspecto macizo, granulado y con brillo semejante al de azúcar cristalizada, su nombre proviene de latín *saccharum* que es igual decir azúcar. Esta textura se desarrolla por agregados de cristales de yeso de tamaño fino a medio que presentan intercrecimientos equigranulares y fractura granulosa. El yeso sacaroideo se interpreta como el resultado de la recristalización diagenética del yeso primario precipitado en un ambiente evaporítico. Los procesos de disolución parcial y reprecipitación, asociados al enterramiento somero y a la circulación de fluidos intersticiales, dieron lugar a un agregado policristalino de cristales equidimensionales a subhexagonales, responsable de la textura sacaroidea observada.

➤ Alabastro

El término alabastro es un grecismo que el español tomó a través del étimo latino ALABASTRUM: vocablo con el que en latín se refería tanto al citado material como a un cierto tipo de vaso fabricado con esta piedra que servía para llevar perfume (Corominas y Pascual, 1980 - 1991). Por lo tanto, el ALABASTRUM designó tanto la materia como el objeto producido, acepciones que el español adoptó de su lengua originaria (Ortiz-Cruz, 2018).

Desde el punto de vista geológico, el alabastro es una de las formas que pueden adoptar las rocas compuestas de yeso. El término "alabastro" hace referencia a los yesos que exhiben esta textura, que se genera al hidratar una roca que era anhidrítica previamente. La composición de esta textura está formada por cristales muy variados con formas irregulares, la mayoría de los cuales tienen un tamaño inferior a 100 µm.

El yeso, o $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, es el componente mineralógico básico del alabastro de yeso. Es una sal de sulfato de calcio con dos moléculas de agua en su composición. Este mineral, que se caracteriza por su escasa dureza, representa del 95 al 99 % de la mayoría de los alabastros yesosos y el resto está constituido por impurezas de anhidrita, arcillas, carbonatos, etc, que son los responsables de las variaciones naturales de color del alabastro (Mandado, 2018).

2.2.1. PETROGRAFÍA

Según (Jesús Arturo, 2017) es una rama de la geología que se encarga de la descripción y clasificación sistemática de las rocas a través del examen microscópico detallado en sección delgada. Una sección delgada es una porción de roca cortada y pulida hasta un espesor de 30 micras y adherida a un portaobjetos de vidrio. La capacidad de identificar con precisión los componentes minerales de la roca a este espesor nos permite identificar las diversas asociaciones minerales, lo que a su vez nos permite clasificar las rocas.

Establecer el nivel de modificación de los minerales útiles para investigaciones geocronológicas, isotópicas y geoquímicas es otra aplicación fundamental de la petrografía. Conocer este parámetro ayuda a establecer si la roca es adecuada para este tipo de análisis; cuanta más alteración presente, menos idónea será para la investigación.

2.2.1.1. IMPORTANCIA DE LA PETROGRAFIA

La petrografía es una disciplina fundamental en las ciencias de la Tierra, con aplicaciones en diversos campos, como la geología, la minería, la ingeniería, la construcción y la investigación científica. Su importancia radica en su capacidad para comprender la historia geológica, explorar y explotar recursos minerales, evaluar riesgos geológicos y avanzar en el conocimiento de la Tierra.

La petrografía nos permite estudiar la composición mineralógica, la textura y la estructura de las rocas, lo que proporciona información valiosa sobre su origen, formación y evolución. Es esencial para identificar y caracterizar yacimientos minerales, como depósitos de yeso, cobre, oro, plata, hierro, carbón y otros recursos.

2.2.1.2. PROPIEDADES OPTICAS CON LUZ ORTOSCOPICA Y NICOLES PARALELOS (PPL)

HABITO

El yeso puede presentarse en una variedad de hábitos, que describen la forma general en que crecen los cristales. Algunos de los hábitos más comunes del yeso son:

Tabular: El hábito tabular se refiere a cristales aplazados y delgados, con forma de placa o lámina. Estos cristales suelen tener una cara dominante que es más grande que las otras.

Prismático: El hábito prismático se refiere a cristales alargados y columnares, con forma de prisma. Estos cristales suelen tener dos caras paralelas que son más largas que las otras.

Fibroso: El hábito fibroso se refiere a cristales que se presentan en forma de fibras o filamentos delgados y alargados. Las fibras pueden estar dispuestas en forma paralela, radial o entrelazada.

Masivo: El hábito masivo se refiere a agregados de cristales que no tienen una forma definida. Estos agregados pueden ser compactos, granulares o terrosos.

Lenticular: El hábito lenticular se refiere a cristales con forma de lenteja. Estos cristales suelen ser planos y delgados, con forma ovalada o elíptica.

Dendrítico: El hábito dendrítico se refiere a cristales que se ramifican en forma de árbol o arbusto. Las ramas de estos cristales suelen ser finas y delgadas, y se entrelazan formando un patrón ramificado.

Rosa del desierto: Las rosas del desierto son agregados de cristales de yeso que se forman en forma de rosa. Los cristales se agrupan en forma radial, creando un patrón circular con pétalos.

FORMA

La forma del yeso se refiere a la forma geométrica que adoptan sus cristales individuales. El yeso se solidifica en el sistema cristalino monoclínico, lo que implica que sus cristales presentan tres ejes de simetría diferentes, con un ángulo oblicuo entre dos de ellos.

CLIVAJE

El yeso presenta una exfoliación ideal en una única dirección, lo que implica que se fragmenta con facilidad en hojas delgadas y flexibles a lo largo de un plano determinado.

COLOR

PPL (Luz polarizada plana): El yeso en PPL, sin la presencia de luz polarizada cruzada, se ve incoloro blanquecino a veces pardos.

XPL (Luz polarizada cruzada): En XPL, el yeso muestra un color de interferencia que varía en función del espesor de la lámina y la orientación de los cristales. Generalmente, el yeso en XPL se ve incoloro a ligeramente grisáceo, debido a su bajo índice de refracción.

PLEOCROISMO

El yeso no presenta pleocroísmo porque su estructura cristalina no absorbe la luz de manera diferencial en diferentes direcciones. Es decir, el yeso absorbe la luz de manera uniforme en todas las direcciones, por lo que no muestra cambios de color cuando se observa bajo luz polarizada.

RELIEVE

El yeso tiene bajo relieve porque su índice de refracción es relativamente bajo (1.52 - 1.53). El índice de refracción es una medida de la velocidad a la que la luz viaja a través de un material. Los minerales con índices de refracción bajos tienen menos diferencia de altura con el medio de montaje, lo que da como resultado un relieve bajo.

2.2.1.3. PROPIEDADES OPTICAS CON LUZ ORTOSCOPICA Y NICOLES

CRUZADOS (XPL)

EXTINCION

El yeso tiene extinción recta porque sus cristales tienen una estructura cristalina que es simétrica en dos direcciones. La simetría de la estructura cristalina hace que la luz polarizada se apague completamente cuando el mineral está alineado con los ejes de polarización del microscopio.

COLORES DE INTERFERENCIA

Los colores de interferencia del yeso en luz polarizada cruzada (XPL) varían en función del espesor de la lámina y la orientación de los cristales.

Descripción:

Bajo orden: El yeso generalmente muestra colores de interferencia de bajo orden, es decir, tonos grises y blancos, debido a su bajo índice de refracción.

Variación con el espesor: Los colores de interferencia cambian con el espesor de la lámina. Láminas delgadas muestran colores de interferencia más bajos, mientras que láminas gruesas muestran colores de interferencia más altos.

BIRREFRINGENCIA

La birrefringencia es la propiedad de algunos materiales, incluyendo los minerales, de refractar (doblar) la luz en dos direcciones diferentes. Esta propiedad se debe a la estructura cristalina del material, que hace que la luz se propague a diferentes velocidades en diferentes direcciones. La birrefringencia del yeso es relativamente baja, con un valor aproximado de 0.015.

SIGNOS DE ELONGACION

Es una propiedad óptica observada en microscopía petrográfica con luz polarizada, que determina la relación entre la dirección de alargamiento de un cristal y la orientación del rayo lento o rápido de la birrefringencia. Este signo indica si la dirección del mineral coincide o se opone a la dirección del eje óptico lento.

El yeso es mineral biaxial negativo, los cristales generalmente presentan signos de elongación negativo, lo que significa que la dirección de elongación del cristal coincide con la dirección del rayo.

ALTERACION

Son un conjunto de cambios texturales, ópticos y mineralógicos que resiste un mineral debido a procesos físicos, químicos o ambientales a su Formación. El yeso principalmente por la deshidratación progresiva, se transforma en basanita y anhidrita.

ZONAMIENTO

Se define como la variación interna y concéntrica de la composición química, color, textura y otra orientación óptica dentro de un mismo cristal, producto de fluctuaciones físicas y químicas durante su crecimiento.

Dichas variaciones generan blandas o zonas ‘ópticamente diferenciables. El zonamiento evidencia microtexturas de crecimiento episódico del mineral y su análisis permite interpretar las condiciones paleoambientales y procesos de formación del yacimiento de yeso.

2.2.1.4. METODO DE ESTUDIO PETROGRAFICO

2.2.1.4.1. *PREPARACION DE MUESTRAS*

Para este estudio se elaboró un total de 8 secciones delgadas de las 25 muestras que se recolectó en el campo seguidamente se hizo un Corte delgado con un grosor de aproximadamente 30 micrómetros, para permitir que la luz pase a través de ella.

Montaje: La muestra delgada se monta en un portaobjetos de vidrio con un medio de montaje transparente.

2.2.1.4.2. *ANÁLISIS MICROSCOPICO DE LAS MUESTRAS DE YESO*

El análisis microscópico de los recursos minerales del yacimiento de yeso Yoqueray, en el distrito de Ccapacmarca, se llevó a cabo a nivel macroscópico (muestra de mano) y microscópico (sección delgada) en muestras frescas (sin alteraciones), que se presentan como diversos tipos de depósitos, logrando identificar distintas texturas y minerales que facilitaron la caracterización de los procesos de formación del yeso.

Las muestras estudiadas fueron tomadas en los diferentes puntos de la zona de estudio teniendo en cuenta una distribución que posibilite una representación de los productos generados durante su proceso evolutivo.

El análisis petrográfico incluye la caracterización macroscópica y microscópica de una muestra. La evaluación macroscópica se lleva a cabo mediante observación visual directa, apoyada por una lupa de mano o un estereomicroscopio, y consiste en la identificación de los minerales que componen la roca a partir de pruebas físicas como color, hábito, dureza, entre otras, así como pruebas químicas, principalmente la reacción con ácido clorhídrico al 10 %. Posteriormente, se realiza el análisis microscópico de secciones delgadas utilizando un microscopio de polarización, donde se identifican y describen los minerales presentes, sus asociaciones, características texturales, estimaciones cualitativas de abundancia, procesos de alteración, y se establece la clasificación de la roca según la composición mineralógica determinada. Finalmente, se obtienen fotomicrografías de áreas representativas de la muestra mediante una cámara Leica modelo DFC450 C, empleando el software LAS versión 5.0.

El servicio de fotomicrografías consiste en la toma las fotomicrografías de una zona representativa de la muestra con una cámara marca Leica modelo DFC450 C y el software LAS versión 5.0.

2.2.2. *GEOQUIMICA*

Es una rama fundamental de las ciencias geológicas que se ocupa del estudio de la composición química de la tierra, también de los procesos que controlan la movilidad, distribución y concentración de los elementos químicos en los diferentes medios geológicos como rocas, minerales, suelos, gases y aguas. Esta disciplina permite entender los mecanismos de transformación, formación y alteración de minerales.

Generalmente la geoquímica interpreta los procesos geoquímicos que intervienen en la génesis de yacimiento de minerales y en la evolución de estructuras terrestres. Según Krauskopf y

Bir (1995), la geoquímica estudia la composición química de la tierra y los procesos que determinan la distribución y el comportamiento de los elementos en los medios geológicos.

La geoquímica exploratoria es un método indirecto que implica el análisis sistemático y detallado de la composición química de los metales naturales (rocas, suelos, sedimentos, aguas superficiales y subterráneas, vegetación, etc.) con el propósito de identificar los valores que se apartan notablemente de la concentración habitual de los elementos en el entorno analizado “fondo geoquímico”, cuya distribución puede ayudar a ubicar el cuerpo mineral responsable.

Dado que cada depósito suele tener condiciones de formación únicas, la geoquímica del estroncio (Sr) y el bario (Ba) proporciona información sobre la génesis de los depósitos de sulfato. Varios autores han realizado estudios sobre este tema, entre ellos Steward²⁵, Dean²⁶ e Inglés²⁷. Estos datos también informan sobre la procedencia del material.

La importancia del estroncio (Sr) en la geoquímica de series evaporíticas, ha sido puesta de manifiesto por distintos autores por su carácter de indicador paleoambiental (Dean, 1978; Ingles et al, 1986), e indicador de la historia diagenética de los materiales yesíferos (Fort y Bustillo, 1986).

Con un valor promedio de 3490 ppm, el magnesio es otro oligoelemento que distingue a las dos unidades evaporíticas. Está presente en alta concentración en la unidad detrítica-yeso.

En el yacimiento Yoqueray se llevó a cabo un muestreo de manera aleatoria y sistemática en varios afloramientos, lo que nos permitió identificar los componentes de las rocas y estimar las concentraciones porcentuales; este enfoque se utilizó mediante técnicas de muestreo y bajo un criterio geológico. Luego, los resultados obtenidos en el laboratorio pasaron por un proceso de análisis y elaboración de cuadros descriptivos.

2.2.2.1. MUESTREO

Implica el procedimiento técnico de recolectar fragmentos de roca, suelos, sedimentos, aguas superficiales y subterráneas, vegetación, entre otros. Con la finalidad de esclarecer las características cualitativas y cuantitativas de esos materiales. La muestra recabada debe ser la más representativa del material del que procede.

Las labores de demostración y evaluación de los minerales se componen de las siguientes fases:

- Toma o recolección de las muestras
- Prospección de las muestras
- Estudio de las muestras en los laboratorios.
- Análisis de los datos obtenidos en los laboratorios.

Pasos para la toma y preparación de muestras

- ❖ La muestra tomada debe ser representativa, es decir la muestra debe contener los mismos componentes y en la proporción con las que se encuentran in – situ.
- ❖ Antes de realizar un muestreo se debe de hacer una limpieza, eliminando capas de intemperismo, meteorización, presencia de vegetación, etc.
- ❖ Evitar que la muestra sea contaminada
- ❖ Se sugiere que el muestreo se efectúe directamente en la bolsa de muestreo para evitar contaminaciones.
- ❖ Considerar el peso de la muestra, que variará según el tipo de análisis que se necesite realizar
- ❖ Es necesario localizar con un GPS el lugar preciso donde se ha obtenido la muestra.

- ❖ En la libreta de campo se deben registrar las descripciones geológicas, estructurales, etc., utilizando una lupa, un rayador, ácido clorhídrico, etc.
- ❖ Al enviar una muestra representativa de una actividad minera para análisis más detallados, es necesario llevar a cabo el cuarteo, el cual debe hacerse con gran cuidado.
- ❖ En la bolsa de muestreo se debe rotular con un marcador permanente el código de la muestra; igualmente, se debe incluir dentro de la bolsa una tarjeta con el mismo código y deben estar bien selladas para prevenir cualquier tipo de contaminación.
- ❖ Cada muestra deberá estar etiquetada y esta debe indicar: ubicación, coordenadas GPS, número de muestra, iniciales del geólogo, tipo de muestreo y el tipo de materia es opcional.

2.2.2.2. PROSPECCION GEOQUIMICA DEL YACIMIENTO YOQUERAY

El muestreo geoquímico se realizó siguiendo un riguroso procedimiento de control de calidad, establecido en los protocolos internos de muestreo geoquímico para lograr valores fidedignos, cercanos a la realidad. Las pruebas fueron remitidas al laboratorio.

2.2.2.2.1. MUESTREO SELECTIVO

A. MUESTREO POR CANAL

Tuvo como finalidad identificar las anomalías geoquímicas y establecer la concentración de elementos, especialmente de sulfato, a través del afloramiento de formaciones mineralizadas.

Se limpió el material que cubría la estructura hasta dejar la superficie despejada. A continuación, se procedió a la extracción del material; para ello, se abrió un canal de 5 - 15 cm de profundidad, 10 - 20 cm de ancho y una longitud equivalente a la potencia de la estructura mineralizada (Figura 2.1.), logrando un promedio de 2 - 3 kg. Cuando la cantidad extraída excede los 6 kg. Se llevó a cabo el cuarteo; que implica mezclar el material recolectado y dividirlo en 4 partes.

Se llevaron a cabo las descripciones de las propiedades del afloramiento, la mineralización, el tipo de estructura, la clase de alteración, la dirección de las estructuras y las unidades litológicas. Finalmente, se llevó a cabo la delimitación del canal con pintura en aerosol, etiquetado o codificación con el número de la muestra.

Figura 2.1

Muestreo por canal



Nota. Fotografía tomada del afloramiento de yeso en el yacimiento Yoqueray, en el sector “A”

Formación Murco. Fuente: Elaboración propia

B. MUESTREO EN CHIP (PUNTOS)

Este método de muestreo fue el que se utilizó principalmente en la zona de estudio, se llevó a cabo en un afloramiento de yeso. Las muestras fueron recolectadas a lo largo de la fuerza del cuerpo mineralizado (figura 2.2) también ver en el anexo pag. 155 y 156. Extrayendo específicamente trozos y escorias de yeso. Para conseguir estas muestras, se llevó a cabo primero la limpieza de la superficie a muestrear con las dimensiones previamente mencionadas. Se llevó a cabo la descripción de la mineralización, la alteración, la unidad litológica y la orientación de las estructuras (azimut y buzamiento), seguido del embolsado y etiquetado.

Figura 2.2

Muestreo en chip y selectivo



Nota. En la fotografía se observa el muestreo de tipo chip y selectivo en el sector “B” en el núcleo del afloramiento de yeso Yoqueray. Fuente: Elaboración propia

C. MUESTREO POR TRINCHERAS

Este tipo de muestreo se llevó a cabo en las laderas de los cuerpos mineralizados, con el propósito de identificar contactos litológicos, analizar su variación vertical del cuerpo mineralizado, examinar muestras de profundidad situadas por debajo de áreas de lixiviación (figura 2.3), y la cobertura de meteorización, entre otros. Se abrieron 2 trincheras en total, logrando así 2 muestras.

Su procedimiento se describe a continuación:

Se abrió una zanja o trinchera de 50 cm de ancho, alcanzando profundidades de 50 cm, logrando en ciertos casos estructuras recién descubiertas.

A continuación, se tomaron las muestras de cada trinchera, con un peso promedio de 3 kg, para lo cual se llevó a cabo el cuarteo.

Finalmente se procedió a la descripción y etiquetado de cada muestra, siguiendo un procedimiento de etiquetado igual al de muestreo por cuadrículas.

Figura 2.3

Muestreo por trincheras



Nota. La fotografía demuestra el corte del afloramiento de yeso en el sector “C” en la Formación Arcurquina miembro inferior. Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.3. PREPARACION DE MUESTRAS, ANALISIS Y SEGURIDAD

METODO DE PREPARACION DE MUESTRAS

Las muestras, una vez recolectadas, se pusieron en bolsas de polietileno estándar; cada muestra fue descrita de manera macroscópica y luego se etiquetó con un código que lo caracteriza la zona de estudio (figura 2.4).

Figura 2.4

Recolección de muestras



Nota. Recolección de muestras de yeso del yacimiento Yoqueray. Fuente: elaboración propia.

2.2.2.4. ENSAYO DE ÓXIDOS MAYORES POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X PARA EL YESO

El ensayo de óxidos mayores mediante fluorescencia de rayos X (XRF) aplicado al Yeso es una técnica analítica instrumental que permite identificar y cuantificar los óxidos principales presentes en este mineral (CaO , SO_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , entre otros). Se basa en la irradiación de la muestra con rayos X, lo que provoca la emisión de radiación característica de cada elemento químico; dicha radiación es proporcional a su concentración en la muestra. Este ensayo es ampliamente utilizado en el análisis de yeso, debido a su rapidez, sensibilidad y capacidad de trabajar con muestras sólidas mínimamente preparadas, lo que garantiza resultados reproducibles y representativos (Zhang et al., 2019).

Se realizaron análisis de fluorescencia de rayos x (XRF) A tres muestras en el laboratorio químico del Ingemmet. El procedimiento incluyó:

- Preparación mecánica por conminución
- Datos de la preparación
- Tipo de preparación y cantidad de muestras preparadas

Tabla 2.1

Proceso de chancado y pulverización

Pulverizado	chancado	Cuartead/homogenizado	Tamizado
Total 3	-	-	-

Nota. Fuente: INGEMMET

Tabla 2.2

Características de preparación y especificaciones del equipo.

Etapa	Equipo	Característica de la preparación
secado de muestra	Estufa eléctrica	JICA
chancado primario	Chancado primario	Quijadas (Mandíbulas)
chancado secundario	Chancado secundario	RHINO
cuartead/homogenizado	Hunger	Modelo (rifles)
pulverizado	Molino de ágata RM 200	La pulverización de las muestras se llevó a cabo en el pulverizador planetario en mortero y esferas de ágata

Nota. Fuente: IMGEMMET

Tabla 2.3

Proceso de secado y chancado de las muestras

N	Código de la muestra	Muestra (g)	Secado T (°C)	Chancado			Cuarte ado y homog enizad o	Pulveri zado Tamiza do	Producto final		
				Entrad a	Primario	Secun dario					
				(g)	Salida (g)	Salida (g)	Salida (g)	Salida (g)	total (g)	Nº de tami z	Abertu ra de tamiz (μm)
1	M-05-YAC-Y	276	5	1274	1271	1270	105.90	34.95	4.95	325	45μm
2	M-09-YAC-Y	316	5	1312	1310	1306	106.12	35.21	5.21	325	45μm
3	M-10-YAC-Y	000	5	995.02	993.11	989.1	105.98	35.33	5.33	325	45μm

Nota. Fuente: INGEMMET.

2.2.2.4.1. CONTROL DE CALIDAD DE PREPARACION DE MUESTRAS

PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD

Se realizo el control de calidad de la preparación mecánica de las muestras para análisis químicos, mediante los siguientes controles de análisis.

- Análisis de blancos.
- Análisis de duplicados

 Análisis granulométricos.

a) ANALISIS DE BLANCOS

Para la evaluación de blancos, se utiliza el grafico de comparación entre los valores obtenidos en el laboratorio interno y los valores certificados del blanco fino o grueso, según corresponda.

Los límites de error se determinan de acuerdo al criterio propuesto por Simón (2005), descrito en el acápite siguiente.

b) ANALISIS DE DUPLICADOS

Para la evaluación se utiliza el método hiperbólico (simón, 2005) que consiste en evaluar un gráfico con el auxilio de una función hiperbólica ($y_2=m_2x_2+b_2$).

Según este método, la pendiente m de la asymptota de la hipérbola se calcula en función del error relativo aceptable para el tipo de muestra de control y el termino independiente (b) se estima en una función del límite de detección, usualmente excluidas por otros métodos.

Para realizar el análisis, se agruparon los elementos según su L.D.I.

Seguidamente se presentan los análisis de blancos, según el L.D.I.

Tabla N°6. Resultados en muestra para blancos de elementos agrupados por su respectivo L.D.I. de 0.01%, 0.1 ppm, 0.2 ppm, 0.5 ppm, 1 ppm, 2 ppm, 5 pm y 10 ppm.

Tabla 2.4*Análisis de duplicados*

Elementos	BLANCO FINO CI2025-0162- 001	BLANCO GRUESO CI2025-0162- 001	VBF Actlabs	VBG Actlabs	LDI
Al_2O_3	0.05	0.05	0.79	0.63	0.01
CaO	0.016	0.016	0.05	0.01	0.01
Fe_2O_3	0.11	0.05	0.06	0.13	0.01
K_2O	<0.01	0.01	0.10	0.11	0.01
LOI	0.31	0.30	0.55	0.57	0.01
MgO	<0.05	<0.05	0.01	0.01	0.01
SiO_2	99.69	99.88	98.20	99.11	0.01

Nota. En la tabla se muestra, Análisis de duplicados. Fuente: INGEMMET.

GRAFICAS DE CONTROL DE CALIDAD

Resultados de blancos, con límites de detección de 0.01%, 0.1 ppm, 0.2 ppm, 0.5 ppm, 1 ppm, 2 ppm, 5 pm y 10 ppm, véase las gráficas en el anexo, página (148).

- En las figuras del 01 al 16, se evidenció que no existe contaminación, teniendo un control de calidad satisfactoria al igual que los resultados analíticos reportados.
- En las figuras 01 y 02, el Al_2O_3 , Al, LOI* y Na presentan una concentración inferior a la certificada. En consecuencia, dichas concentraciones guardan congruencia con los resultados obtenidos en el laboratorio institucional, por lo que el control de calidad y los resultados analíticos reportados son satisfactorios.

- En las figuras 03 y 04, el neodimio (Nd) presenta una concentración inferior a la certificada. En consecuencia, dichas concentraciones guardan congruencia con los resultados obtenidos en el laboratorio institucional, por lo que el control de calidad y los resultados analíticos reportados son satisfactorios.
- En la figura 07, el cerio (Ce) presenta una concentración inferior a la certificada. En consecuencia, dichas concentraciones guardan congruencia con los resultados obtenidos en el laboratorio institucional, por lo que el control de calidad y los resultados analíticos reportados son satisfactorios.
- En las figuras 13 y 14, el zirconio (Zr) presenta una concentración inferior a la certificada. En consecuencia, dichas concentraciones guardan congruencia con los resultados obtenidos en el laboratorio institucional, por lo que el control de calidad y los resultados analíticos reportados son satisfactorios.

2.2.2.5. QA/QC DE YESO

Tabla 2.5

Controles de blancos

Controles de blancos			
Analito	Unidad	L.D.M.	BCO-1
Al_2O_3	%	0.01	<0.01
CaO	%	0.001	<0.001
Fe_2O_3	%	0.01	<0.01
K_2O	%	0.01	<0.01
MgO	%	0.05	<0.05
SO_3	%	0.05	<0.05

Nota. Control de blandos. % R.S.D: Desviación estándar relativa. Este parámetro es aceptable siempre que se encuentre en el rango 0%-20%. Fuente: INGEMMET

LDM: Límite de detección del método

LCM: Límite de cuantificación del método

los blancos de procesos están por debajo del LDM/LCM, indicando que las posibles contaminaciones cruzados por procesos y reactivos están controladas. Por lo tanto, los resultados obtenidos son confiados.

Tabla 2.6.

Controles de duplicados

Controles de duplicados					
Analito	Unidad	L.D.M.	Muestra-1		% RSD
			M-10-YAC-Y	M-10-YAC-Y DUP	
Al_2O_3	%	0.01	1.50	1.52	1.0
CaO	%	0.01	28.872	28.903	0.1
Fe_2O_3	%	0.01	0.80	0.81	1.0
K_2O	%	0.01	0.60	0.60	0.2
MgO	%	0.05	9.62	9.64	0.2
SO_3	%	0.01	22.71	22.64	0.2
SiO_3	%	0.05	6.16	6.16	0.0

Nota. En la tabla se muestra los controles duplicados de tres muestras. Fuente: INGEMMET

El porcentaje de recuperación es considerado aceptable si se encuentra en el rango de 80% - 120%.

MRC: material de referencia certificado.

Tabla 2.7*Control de material de referencia*

Analito	Unidad	% limites	Control de material de referencia					
			MRC-1	MRC-2	MRC-3	MRC-4	MRC-5	MRC-6
<i>Al₂O₃</i>	%	80-120	98	101	95	*	101	101
<i>CaO</i>	%	80-120	101	100	100	*	97	100
<i>Fe₂O₃</i>	%	80-120	99	80	99	*	100	100
<i>K₂O</i>	%	80-120	99	96	98	*	99	102
<i>MgO</i>	%	80-120	102	105	85	*	100	100
<i>SO₃</i>	%	80-120	NA	100	*	99	84	95
<i>SiO₃</i>	%	80-120	102	104	103	*	102	103

Nota. *Se muestra el grado de concordancia entre el valor obtenido y el valor real de los estándares.

Fuente: INGEMMET

El porcentaje de recuperación es considerado aceptable si se encuentra en el rango de 80%-120%.

MRC: material de referencia certificado

En conclusión, debido a que el porcentaje de recuperación de cada analito está dentro del rango de 80-120% se puede concluir que el método presenta exactitud debido al grado de concordancia entre el valor obtenido y el valor real de los MRC utilizados.

2.2.2.6. DIFRACCION DE RAYOS X

DEFINICIÓN

La difracción de rayos x (DRX) es una técnica físico-química que se utiliza para caracterizar e identificar materiales cristalinos, como por ejemplo el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Esta técnica permite identificar la estructura cristalina, tamaño y la orientación de los cristales también

esta técnica sirve para diferenciar fases minerales como yeso, hemihidrita y anhidrita en función de sus patrones de difracción característicos. (Cullity, B. D., & Stock, S. R. 2014 Elements of X-ray diffraction 3dr ed. Pearson)

DIFRACCIÓN DE RAYOS X

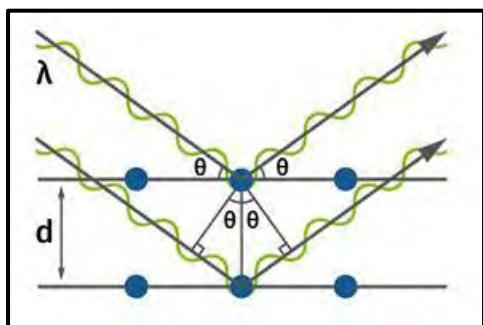
Esta técnica de Difracción de Rayos X por el método de polvo es utilizada para la identificación y cuantificación de fases cristalinas (minerales). Los compuestos sin estructuras definidas (amorfos) no pueden ser estudiados ni cuantificados por esta técnica.

Una forma de expresar la difracción de rayos X en materiales cristalinos es mediante la Ley de Bragg, condición para que una familia de planos paralelos, regularmente separados en un cristal, refleje un haz de rayos X incidente (Fig. 2.5). Cada material cristalino tiene una estructura atómica característica, por lo tanto, difractarán los rayos X en un patrón característico único, conocido como difractograma o patrón de difracción.

Esta ley es expresada por la relación:

Figura 2.5

Ley de Bragg



Nota. Difrarán los rayos X en un patrón característico. Fuente: INGEMMET

Donde

- λ : es la longitud de onda de la radiación incidente, 1.5406 Å ya que contamos con tubo de rayos X de Cu

- d_{hkl} : es el valor de los espaciados reticulares de las fases cristalinas presentes.
- $\sin\theta$: es el seno del ángulo de difracción.

Luego de la irradiación de la muestra en polvo con rayos X, en un rango angular de barrido determinado, se obtiene un gráfico llamado difractograma, en donde el eje X son los ángulos de incidencia de la radiación a la muestra (expresado en grados) y el eje Y es la intensidad de la radiación difractada (expresada en cuentas). En el difractograma se presentan picos de intensidad los cuales son producto de una interferencia constructiva producida por los planos reticulares de las fases cristalinas, donde se cumple la ley de Bragg.

Esta técnica como se mencionó anteriormente solo permite identificar y cuantificar estructuras cristalinas (ordenadas), es decir se podrá indicar la presencia de material no estructurado (amorfo). La cuantificación de los minerales presentes en cada muestra es calculada con respecto a la fracción cristalina de la muestra, sin considerar el componente amorfo presente.

Condiciones de medición

Se realizó en un difractómetro marca SHIMADZU, modelo XRD-7000, de ánodo de cobre, según las siguientes condiciones:

Tabla 2.8

Condiciones de medición

Tubo de rayos x	
Tipo de ánodo	Cu
Energía	40 kV, 30m A
Condiciones de medida	
Rango de barrido	3° - 70°
Paso	0.02°
Tiempo por paso	0.6s

Nota. Fuente: INGEMMET

PROCEDIMIENTO

1.- *Irradiación*

Se colocó las muestras pulverizadas a malla -400, en su respectivo portamuestras, para luego introducirlo en un equipo de irrádiales según las condiciones de medidas mencionadas, por un periodo aproximado de 34 min.

2.- *Identificación y Cuantificación.*

Para la identificación de fases cristalinas se utilizó la base de datos PDF-5+ versión 2024, y se aplicó el método RIR (Reference Intensity Ratio) para la cuantificación utilizando el software Sieve+ de la ICDD (International Center of Diffraction Data).

3.- *Exactitud y límite de detección.*

La exactitud y el límite de detección en el análisis cuantitativo son dependientes del método usado, la calidad de los datos experimentales, y otros factores. Usualmente es aceptado un bajo límite de detección como el doble de la desviación estándar del valor promedio de background dividido por la diferencia de las cuentas del pico más intenso del perfil de difracción entre el background, esto se expresa:

$$LD = \frac{2X\sqrt{B}}{(I_M - B)} \%$$

donde

LD: límite de detección

B: valor promedio del background

IM: cuentas del pico más intenso del perfil de difracción

4.- Estándar de Referencia Certificado.

Para el análisis de muestras por difracción de rayos X se utiliza el polvo de silicio de código 640e, el cual es un patrón de referencia certificado por National Institute of Standards & Technology (NIST), el cual nos permite verificar la posición y forma de los picos de difracción. Esto quiere decir, nos permite verificar si los goniómetros no están calibrados o si algún parámetro en el arreglo experimental no es óptimo.

Se verifico los siguientes valores de la posición de los picos:

$$\lambda=0.15405929 \text{ nm}$$

Tabla 2.9:

Valores de posiciones de picos de estándar de referencia

h	K	l	2θ
1	1	1	28.4
2	2	0	47.3
3	1	1	56.1
4	0	0	69.1
3	3	1	76.3
4	2	2	88.0
5	1	1	94.9
4	4	0	106.7
5	3	1	114.1
6	2	0	127.5

Nota. Fuente: INGEMMET

2.2.2.6.1. ANÁLISIS MINERALÓGICOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

DATOS DE LA MUESTRA

Tabla 2.10

Cantidad y datos de la muestra

Nº: de muestras	03	Tipo de muestra	Roca
Condiciones de ingreso de muestra a irradiar		Polvo	

Nota. Fuente: INGEMMET

DATOS Y CONDICIONES DE EQUIPAMIENTO

Tabla 2.11

Condiciones de equipamiento

Equipo	Difractómetro	Marca	Shimadzu	Modelo	XDR-7000
Tipo de ánodo	Cu	Corriente	30 mA	Voltaje	40 kv

Nota. Fuente: INGEMMET

CONDICIONES DEL IRRADIACIÓN

Tabla 2.12: *Condición de radiación del equipo*

RANGO DE BARRIDO (2θ)			
De	3	Hasta	70
Rotación de la muestra	-	Velocidad (RPM)	-

Nota. Fuente: elaboración propia.

2.2.3. ESTIMACION DE RECURSOS MINERALES CON PROSPECCION GEOFISICA

IMPORTANCIA DEL YESO

El yeso es un recurso mineral esencial para la economía y la sociedad, con aplicaciones en una amplia gama de industrias y sectores. Su abundancia, versatilidad y sostenibilidad lo posicionan como un material fundamental para el desarrollo económico y social.

Importancia económica:

Industria de la construcción: El yeso es el componente principal del yeso de construcción, utilizado en la fabricación de placas de yeso, morteros, estucos y otros materiales para la construcción de edificios y viviendas.

Industria química: El yeso se utiliza en la producción de ácido sulfúrico, un químico fundamental en la industria.

Agricultura: El yeso se utiliza como enmienda del suelo para mejorar su estructura y drenaje, especialmente en suelos alcalinos.

Otras industrias: El yeso se utiliza en la producción de cemento, fertilizantes, pinturas, papel, textiles, etc.

Importancia social:

Vivienda y construcción: El yeso es esencial para la construcción de viviendas y edificios, contribuyendo al desarrollo económico y social de las comunidades.

Salud y bienestar: El yeso se utiliza en la fabricación de yesos médicos para inmovilizar fracturas y otras lesiones, mejorando la calidad de vida de las personas.

Medio ambiente: El yeso se utiliza en la eliminación de contaminantes del agua y en la estabilización de suelos, contribuyendo a la protección del medio ambiente.

2.2.3.1.1. RETOS EN LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS DE YESO

La estimación de recursos de yeso presenta desafíos únicos que requieren un enfoque estratégico para obtener resultados precisos y confiables.

2.2.3.1.2. RETOS GENERALES EN LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS DE MINERALES

Acceso a información: La disponibilidad de datos geológicos, geofísicos y geoquímicos es crucial para una estimación precisa. La falta de información o la calidad deficiente de los datos pueden generar incertidumbre en la evaluación de recursos.

Variabilidad geológica: La naturaleza heterogénea de los depósitos minerales, incluyendo el yeso, presenta variaciones en la calidad, cantidad y distribución del recurso. La caracterización precisa de esta variabilidad es fundamental para una estimación confiable.

Métodos de muestreo: La selección del método de muestreo adecuado y la representatividad de las muestras son cruciales para obtener datos confiables. La elección del método de muestreo debe considerar la geología del depósito y las características del recurso.

Interpretación de datos: La interpretación de los datos de muestreo y la extrapolación de la información a áreas no muestreadas requieren un análisis cuidadoso y la aplicación de modelos geológicos y estadísticos.

Incertidumbre en la estimación: La estimación de recursos siempre implica un grado de incertidumbre debido a la naturaleza limitada de la información disponible y la variabilidad geológica. La comunicación transparente de la incertidumbre es esencial para la toma de decisiones informadas.

2.2.3.1.3. RETOS ESPECÍFICOS EN LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS

Variabilidad en la calidad del yeso: La calidad del yeso puede variar significativamente dentro de un mismo depósito, lo que afecta su valor comercial. La estimación de recursos debe considerar la calidad del yeso para determinar su potencial económico.

Identificación de zonas de yeso: La identificación precisa de las zonas de yeso dentro del depósito es crucial para la estimación de recursos. Los métodos geofísicos, como la tomografía eléctrica, son útiles para este propósito.

Estimación de reservas: La estimación de reservas de yeso, que son las partes del recurso que son económicamente extraíbles, requiere considerar los factores económicos, ambientales y técnicos.

2.2.3.1.4. RECOMENDACIONES PARA ABORDAR LOS RETOS

Planificación estratégica del muestreo: Se debe desarrollar un plan de muestreo que garantice la representatividad de las muestras y la cobertura adecuada del depósito.

Aplicación de métodos geofísicos: Los métodos geofísicos, como la tomografía eléctrica, son esencialmente útiles para la identificación y caracterización de las zonas de yeso.

Uso de modelos geológicos y geoestadísticos: La aplicación de modelos geológicos y geoestadísticos permite la extrapolación de la información a áreas no muestreadas y la estimación de la variabilidad del recurso.

Comunicación transparente de la incertidumbre: La comunicación clara de la incertidumbre en la estimación de recursos es esencial para la toma de decisiones informadas.

2.2.3.1.5. TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA COMO HERRAMIENTA DE EXPLORACIÓN

La tomografía eléctrica es una técnica geofísica no invasiva que se utiliza para investigar la estructura y propiedades del subsuelo. Esta técnica se basa en la medición de la resistividad eléctrica del suelo y la roca, que es la capacidad de un material para resistir el flujo de corriente eléctrica.

La tomografía eléctrica funciona inyectando corriente eléctrica en el suelo a través de electrodos colocados en la superficie. Se miden las diferencias de potencial entre otros electrodos, lo que permite calcular la resistividad eléctrica del subsuelo. Al realizar múltiples mediciones con diferentes configuraciones de electrodos, se puede obtener una imagen tridimensional de la distribución de resistividad en el subsuelo.

Aplicaciones:

La tomografía eléctrica se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo:
Exploración de Yacimientos Minerales: La técnica puede identificar zonas con diferentes resistividades, lo que puede indicar la presencia de minerales o recursos subterráneos.

Evaluación de la Contaminación del Suelo: La tomografía eléctrica puede detectar cambios en la resistividad del suelo causados por la presencia de contaminantes, como metales pesados o productos químicos.

Identificación de Acuíferos y Barreras de Agua Subterráneas: La técnica puede mapear la distribución de agua subterránea y determinar la presencia de capas impermeables que actúan como barreras al flujo de agua.

Ingeniería Civil: La tomografía eléctrica se utiliza para el diseño de cimientos, la evaluación de la estabilidad del terreno y la detección de cavidades subterráneas.

Arqueología: La técnica puede ayudar a identificar estructuras enterradas, como cimientos de edificios antiguos o tumbas.

2.2.3.1.6. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA APLICADO A LA ESTIMACIÓN DE RECURSO MINERAL

La prospección geofísica es una herramienta esencial en la estimación de recursos minerales, ya que proporciona información crucial sobre la estructura y composición del subsuelo. La aplicación de diferentes métodos geofísicos permite identificar zonas prometedoras, definir la geometría del yacimiento, estimar el tonelaje y ley del mineral, y planificar la explotación de manera eficiente y segura. La investigación y desarrollo de nuevas técnicas geofísicas continúa avanzando, mejorando la precisión y eficiencia de la exploración minera.

Según José Cantos Figuerola, en su "Tratado de Geofísica Aplicada", la prospección geofísica busca relacionar la estructura geológica del subsuelo con la distribución de alguna propiedad física. Esta técnica se basa en la comparación de modelos teóricos con datos reales a través de iteraciones sucesivas.

2.2.3.1.7. TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

La tomografía de resistividad eléctrica (ERT) es una técnica geofísica que utiliza la inyección de corriente eléctrica en el subsuelo para medir la resistividad eléctrica de los materiales subterráneos. Esta técnica se basa en el principio de que diferentes materiales tienen diferentes resistividades eléctricas. Por ejemplo, el agua subterránea tiene una baja resistividad, mientras que las rocas y minerales densos suelen tener resistividades más altas.

Según GEO-X, la tomografía eléctrica es "una técnica geofísica utilizada para medir la resistividad eléctrica en el subsuelo, específicamente se basa en la inyección de una corriente eléctrica en el subsuelo a través de electrodos dispuestos a lo largo de la línea de investigación,

esta corriente se propaga a través del subsuelo, y se mide el voltaje en una serie de electrodos, también dispuestos sobre la misma línea de investigación."

2.2.3.1.8. TOMA DE DATOS GEOFISICOS EN CAMPO

Se realizaron 4 líneas de Tomografía de Resistividad Eléctrica con longitudes diferentes: dos líneas de 300 metros y dos líneas de 200 metros. Estas líneas se ubican en el yacimiento de Yoqueray, los electrodos se colocaron equidistantes cada 10 metros,

procurando que formarán una línea recta y buscando una topografía plana para evitar anomalías en las mediciones de resistividad.

Los electrodos se clavaron con una comba en el terreno para garantizar un buen contacto y se conectan al cable mediante conectores. Antes de iniciar, se verificó que todas las conexiones funcionaran correctamente y que la resistividad entre el electrodo y el suelo fuera baja. Si era necesario, se ajustaron los electrodos o se humedece el terreno para mejorar la conductividad.

Los datos adquiridos en campo se almacenaron en la memoria del receptor, donde se registraron la ubicación de cada línea, los electrodos de medida y los de emisión de corriente, así como los valores de la intensidad de corriente emitida, el voltaje primario, el número de repeticiones de intervalos de lecturas y el tiempo de dominio de las lecturas (2000 ms). Además, se registraron los valores de resistividad aparente. Con esta información, se generaron los primeros resultados como Pseudosecciones, lo que permitió realizar un control de calidad de los datos observando los errores de la desviación estándar del potencial primario en cada dipolo. Se aceptaron valores menores al 4% para el procesamiento de estos datos. Finalmente, los datos se descargaron en el portátil para su procesamiento e interpretación con el software correspondiente. La profundidad de investigación alcanzada es variable debido a la longitud desarrollada en las tomografías eléctricas.

2.2.3.1.9. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO UTILIZADO

Se ha utilizado el equipo de GEOMATIVE modelo GD10 SUPREME (Figura 2.6), tiene una potencia máxima de salida de 7500w, lo que garantiza la máxima eficiencia en las lecturas. Cuenta con una capacidad de alcance de hasta 500 metros de profundidad, dependiendo de la anisotropía y el efecto de la capa superficial. Es un equipo fácil de usar y su manejo es funcional para la lectura precisa de los parámetros, ya que está equipado con dos instrumentos digitales de última generación. Por lo tanto, el perfil del terreno estudiado refleja los resultados esperados.

Figura 2.6

Equipo geofísico en la zona de estudio.



Nota. En la imagen se muestra el equipo resistivímetro GEOMATIVE modelo GD10 SUPREME utilizado en la zona de estudio para la adquisición de datos geofísicos, esencial en la caracterización eléctrica del subsuelo.

Equipo geofísico GEOMATIVE modelo GD10 SUPREME: características operativas y especificaciones técnicas

a. TRANSMISOR

- ❖ Tipo de pulso: onda cuadrada
- ❖ Potencia máxima de Tx: 7200W
- ❖ Pantalla de visualización: pantalla LCD a todo color de 5,7 pulgadas, 640 * 480
- ❖ Energía externa: DC24 ~ 60V
- ❖ Voltaje máximo de Tx: 1200V
- ❖ Precisión actual: mejor que 0,3%
- ❖ Protección: IP65, sobrecorriente, sobretensión, cortocircuito
- ❖ Ancho de pulso: 1 s , 2 s , 4 s , 8 s , 16 s , 32 s , 64 s
- ❖ Impedancia de entrada: $\geq 200\text{M}\Omega$
- ❖ Corriente máxima de Tx: 6A
- ❖ Voltaje de carga: 120 ~ 250VAC (50HZ / 60HZ)
- ❖ Batería: batería incorporada de litio de 16,8 V / Compatible con batería externa de 24V
- ❖ Puerto de E / S: USB, RS485Modo Recepción de voltaje digital, retorno en los terminales M – N.

b. RECEPTOR

- ❖ Promedio dinámico: conversión A / D de 24 bits
- ❖ Precisión: $0,3\% \pm 1\text{uV}$
- ❖ Precisión: 0,1%

- ❖ Iteración manual: 1 ~ 255 veces
- ❖ Iteración automática: 1-10 veces
- ❖ Rango de voltaje: ± 24 V
- ❖ Compensación de SP: $\pm 10V$
- ❖ Rechazo de ruido: ≥ 120 dB

c. OTROS

- ❖ Temperatura de trabajo: -10 °C ~ 50 °C
- ❖ Humedad de funcionamiento: $\leq 95\%$
- ❖ Capacidad de memoria: 15 GB
- ❖ Peso: 8KG
- ❖ Tamaño: 39 cm * 20 cm * 29 cm
- ❖ Temperatura de almacenamiento: -20 °C ~ + 60 °C

2.2.3.1.10. UBICACIÓN DE LAS LÍNEAS PROPUESTAS DE TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (TRE)

En esta investigación se llevaron a cabo cuatro líneas de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) con el propósito principal de identificar y describir los distintos tipos de rocas y suelos que se encuentran en el área de análisis (Tabla 2.13), en el marco de una campaña enfocada en la evaluación de potenciales depósitos de yeso. La elección y organización de las líneas se diseñó de manera estratégica considerando tanto la geología regional y local conocida como las anomalías superficiales detectadas en el terreno, como afloramientos, estructuras sedimentarias perceptibles y patrones geomorfológicos vinculados a la formación de evaporitas (figura 2.7, 2.8, 2.9, y 2.10).

Figura 2.7

Tendido de cables geofísicos N°1: de 300 metros



Nota. Se realizó con el tendido de cable del W_E, seguidamente se anclo los electrodos en el terreno cada 10m. Fuente Elaboración propia

Figura 2.8

Tendido de cables geofísicos N°2: de 300 metros



Nota. En la imagen se observa el tendido de cable del E_W. Fuente Elaboración propia

Figura 2.9

Tendido de cables geofísicos N°3: de 200 metros



Nota. En la figura se muestra el tendido de cable S_N. Fuente Elaboración propia

Figura 2.10

Tendido de cables geofísicos N°4: de 200 metros



Nota. Finalmente se realizó el tendido cable de S_N, paralela a la tercera línea y así se logró de formar un polígono. Fuente Elaboración propia.

Tabla 2.13

Ubicación de las líneas geofísicas

línea geofísica	Profundid ad (m)	Coordenadas UTM						Longitud (m)	
		Inicio			Final				
		Este	Norte	Altitud	Este	Norte	Altitud		
Nº 1	60	821072	8448584	3314.383	821303	8448764	3299.687	300	
Nº 2	70	821316	8448627	3368.395	821064	8448483	3376.335	300	
Nº 3	100	821167	8448457	3399.539	821144	8448628	3306.06	200	
Nº 4	100	821317	8448604	3375.995	821279	8448775	3290.346	200	

Nota. Resumen de las líneas geofísicas realizadas en la zona de estudio Fuente: Elaboración propia.

2.3.HIPOTESIS

2.3.1. **HIPOTESIS GENERAL**

Las características petrográficas y geoquímicas muestran que el yeso del yacimiento Yoqueray presenta una textura masiva con pocas contaminantes que le hace que son de gran pureza y se presenta en grandes cantidades de volumen.

2.3.2. **HIPOTESIS ESPECIFICOS**

- 1) Las características petrográficas presentan texturas que varían desde la sacaroidea, fibrosa y hojosa, mineralógicamente presenta yeso, anhidrita, dolomita con presencia de pocos contaminantes como la arcilla, óxidos de hierro y cuarzo.
- 2) Las características geoquímicas del yacimiento Yoqueray muestran una pureza, con alto contenido del mineral de yeso, mayor al 90% según ASTM C22/ C22 – 00 (Reapproved 2016).

3) La estimación de recursos de mineral de yeso que hay en el yacimiento de Yoqueray es un aproximado de 700000 toneladas y es suficiente como para permitir su explotación mecanizada.

2.4. VARIABLES

2.4.1. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Variables independientes

- Petrografía
- Geoquímica

Variable dependiente

- Estimación de los recursos minerales (TRE)

2.4.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2.14

Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLES	DENOMINACION DE VARIABLES	DIMENSION	INDICADOR	TECNICAS DE RECOLECCION DE INFORMACION	INSTRUMENTO METODOLOGICO
Variables Independientes	Petrografía	Caracterización petrográfica	Geología Geomorfología Petrografía	Observación y descripción	Ensayos y descripción petrográfica
	Geoquímica	Caracterización geoquímica Extensión	Análisis químico Área y volumen	Observación y descripción	Ensayos químicos y fisicoquímicos
Variable Dependiente	Estimación de recursos minerales (TRE)	Profundidad Modelo del yacimiento	Potencia	Observación y descripción	TRE. software secciones transversales.

Nota. Tabla de operacionalización de variables de estudio, indicadores y procedimientos metodológicos. Fuente elaboración propia.

3. CAPITULO III: MÉTODOLOGIA DE INVESTIGACION

3.1.TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de enfoque mixto pues integra componentes de las investigaciones cualitativas y cuantitativas con el propósito de aprovechar las ventajas que ofrece cada una, facilitando así un entendimiento más amplio y detallado del fenómeno investigado. Este enfoque puede organizarse bajo esquemas secuenciales, simultáneos o integrados. La metodología mixta consiste en la combinación de ambas estrategias tanto la cuantitativa y cualitativa dentro de un mismo estudio, lo cual favorece una apreciación más completa y profunda del objeto de estudio. De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2010), este planteamiento metodológico logra amalgamar la precisión y objetividad de la información cuantitativa con la dimensión interpretativa y descriptiva propia de los datos cualitativos, enriqueciendo la investigación de manera significativa.

Propósito: aplicada - Descriptiva - correlacional, puesto que resuelve problemas específicos o aplica los conocimientos en situaciones prácticas, busca además describir características de fenómenos o poblaciones al establecer asociaciones entre variables sin determinar causalidad y examina la relación entre dos o más variables determina si están asociadas o no, sin implicar una relación causal del yeso del yacimiento Yoqueray.

Según Muñoz Razo C. (2011), la investigación es de carácter explicativo son aquellas que analizan un fenómeno particular y lo explica en el ambiente donde se presentan, para interpretarlo y mencionarlo a través de un reporte.

Hernández R., Fernández C., Baptista M. (2010), este nivel de investigación considera al fenómeno estudiado y sus componentes, miden conceptos y definen variables.

Según Hernández R., Fernández C., Baptista M. (2010), este nivel de investigación asocia conceptos o variables, permiten predicciones y cuantifican relaciones entre conceptos o variables.

Método: Experimental, por la cual se manipula una o más variables independientes de manera controlada y observar el efecto sobre las variables dependientes, lo que permite establecer relaciones causales.

Se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador. (Hernández y Mendoza, 2018, p.129)

3.2.ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Estudio Geológico Detallado: La investigación se centrará en el análisis geológico del depósito de yeso Yoqueray, incluyendo la identificación de las características geológicas, la composición mineralógica y la configuración estructural del depósito.

Análisis Geométrico y Geomorfológico: La investigación incluirá el estudio de la configuración geométrica del depósito, así como el cartografiado geológico y geomorfológico, que proporcionará una visión integral de la distribución del yeso en el área de estudio.

Evaluación de la Calidad del Yeso: Se realizará un análisis de la calidad de los niveles yesíferos, incluyendo su pureza y características fisicoquímicas, lo que permitirá determinar su idoneidad para diversas aplicaciones industriales.

3.2.1. *LIMITACIONES DEL ALCANCE*

La investigación se limitará al área geográfica del yacimiento de yeso Yoqueray y no abarca otros depósitos minerales de la región.

La disponibilidad de datos y recursos puede afectar la profundidad del análisis y la precisión de la estimación de reservas.

El estudio dependerá de la realización de campañas de campo y ensayos petrográficos y geoquímicos que pueden verse influenciadas por factores climáticos y logísticos.

3.3.DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Diseño: Transversal, la investigación se basa en observar los fenómenos como se realizan en su contexto natural y en el momento dado.

El método científico adoptado en la presente investigación, es el explicativo el cual determina la causal de los fenómenos estudiados y las condiciones en las que hayan sido producidos dando respuesta a las razones que los causaron y la relación que presenten con otros fenómenos parecidos, debido a esto, este tipo de estudios es considerado el más completo pues incluye la exploración, descripción y correlación de los datos.

La presentación de los datos descriptivos, así como los cuadros de análisis e interpretación, se organizaron de forma que permitieron una consulta sencilla y comparaciones con otros datos, con el propósito de abordar adecuadamente los problemas identificados en el área de estudio. El análisis petrográfico y geoquímico del lugar, junto con la evaluación de la calidad del yeso, se desarrolló en tres fases principales: la primera incluye las actividades preliminares de gabinete e investigación; la segunda abarca las tareas de trabajo de campo; y la tercera consiste en el procesamiento y análisis de toda la información geológica recolectada.

3.4.POBLACIÓN

Está constituido por muestras de yeso en una extensión de 9 hectáreas, perteneciente a la Comunidad Campesina de Ccapacmarca, provincia de Chumbivilcas, región Cusco.

3.5.MUESTRA

La elección de la muestra se efectuó mediante el tipo de muestreo no probabilístico por conveniencia siendo un total de 10 hectáreas de yeso, donde se realizaron todos los estudios de exploración minera que ayudaron a determinar las reservas existentes en dicho yacimiento.

Para la elección de la muestra se recurrirá al empleo de criterios de selección como:

- ❖ Área de trabajo y de producción
- ❖ Factibilidad para la recopilación de datos.
- ❖ Áreas explotadas dentro del cuadrángulo de investigación.

3.6.UNIDAD DE ANÁLISIS

yacimiento de yeso Yoqueray: Enfocado en aspectos petrográficos y geoquímicos.

Comunidad local de Ccapacmarca: Enfocado en la determinación de la calidad del yeso y su posible explotación.

3.7.METODO DE TRABAJO

La metodología utilizada para la realización de la presente investigación se divide en tres fases o etapas que desencadenaron y ayudaron a alcanzar los objetivos del trabajo de manera efectiva:

3.7.1. ETAPA DE PRE-CAMPO

- a) Ubicación y delimitación del área de estudio.
- b) Recopilación de información bibliográfica existente referida al área de estudio e investigaciones de ámbito local y regional.
- c) Obtención de archivos vectoriales con información geológica, estructural y geomorfológica (GEOCATMIN, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - INGEMMET)

Obtención e interpretación de imágenes satelitales Sentinel 2A de la USGS Earth Explorer del área de estudio.

- e) Delimitación de vías de acceso principales y secundarios en el área de estudio.
- f) Procesamiento e interpretación del material geológico utilizando los softwares Google Earth, Saga GIS y ArcGIS para realizar mapas: geológico, geomorfológico y estructural.
- g) Elaboración de un mapa preliminar de ubicación de columnas sedimentológicas.
- h) Validación de información

3.7.2. ETAPA DE CAMPO

- a) Reconocimiento del área de estudio.
- b) Cartografiado geológico y comprobación de la fotointerpretación realizada en la etapa de pre-campo del área de estudio.
- c) Levantamiento de columnas sedimentológicas de las formaciones existentes en el área de estudio.
- d) Recolección de datos (fracturas, fallas y pliegues) realizando estaciones estructurales en las áreas definidas en la etapa de pre-campo.
- e) recolección de muestras representativas para el estudio geoquímico.

3.7.3. ETAPA DE POST-CAMPO

- a) Interpretación y validación de la información geológica, sedimentológica y estructural obtenida durante los trabajos de campo.
- b) Generación de mapas geológicos - estructurales y geomorfológicos a detalle y actualizados.
- c) Elaboración de Columnas sedimentológicas de la formación donde presente ocurrencia de yeso.

- d) preparación de secciones delgadas
- e) Análisis e interpretación de ensayos geoquímicos.
- f) Evaluación de la información.
- i) Redacción de la tesis.

3.8. PLAN DE ANALISIS DE DATOS

Se utilizaron dos métodos indispensables para analizar los datos:

Método analítico: Esta labor se realiza como respaldo a la identificación y descripción de los elementos involucrados en la investigación (específicamente, la determinación de la zona de influencia directa en la búsqueda de recursos no metálicos, con el fin de evaluar la calidad de las reservas en la cantera de yeso), llevando a cabo un análisis detallado de las áreas que la conforman y de las condiciones en que se presentan en su entorno natural.

Método sistemático: Permite establecer una secuencia basada en el uso de lineamientos proporcionados por la misma investigación, lo cual facilita alcanzar una comprensión integral y estructurada de un determinado fenómeno.

En cuanto a la observación de información o datos, se tomará como sujeto el método de análisis, pruebas de hipótesis, ensayos de laboratorio.

Los datos procesados fueron de soporte para la investigación efectuada debido a que ayudaron a organizar e interpretar la información recopilada conjunto a la obtención de gráficos y considerando los diversos tipos de investigaciones y exposiciones teóricas previas.

3.9. VALIDES Y CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTOS

La validez y la confiabilidad son criterios esenciales para garantizar la calidad metodológica de instrumentos utilizados en el proyecto de investigación.

La validez se refiere a la medida en que un instrumento refleja de manera precisa el fenómeno o variables que busca medir, garantizando que haya conexión y consistencia entre los indicadores y las metas del estudio. Por esta razón, un instrumento es considerado válido cuando sus elementos representan adecuadamente el contenido teórico y empírico del concepto que se está investigando (Hernández, Fernández y Batista 2014).

En este proyecto de tesis se estableció la validez a través de la opinión de expertos, quienes analizaron la relevancia, claridad y consistencia de los indicadores vinculados a las variables petrográficas geoquímicas y estimación de recursos minerales de yeso del yacimiento de Yoqueray.

En cuanto a la confiabilidad se refiere al nivel de consistencia, estabilidad y exactitud de resultados proporcionados por el instrumento en aplicaciones repetidas en condiciones similares. Un instrumento confiable genera resultados congruentes y que puedan ser replicados en diferentes momentos (Kerlinger y Lee, 2002).

Para el presente proyecto de tesis se evaluó la confiabilidad utilizando el coeficiente alfa de Cronbach, que permitió calcular la consistencia interna de los elementos relacionados con las variables examinadas en el estudio geológico.

3.10. ASPECTOS ÉTICOS

Los aspectos éticos a conceptualizar en el trabajo de investigación son.

Gestión de Fuentes de Información: Se emplearán fichas bibliográficas, registrando de forma completa los datos de libros y otras referencias utilizadas. Es fundamental redactar dichas fichas respetando fielmente la forma en que aparece la información en las fuentes consultadas, aplicando tanto citas textuales como parafraseadas. Esto permitirá destacar adecuadamente las contribuciones de diversos autores en sus respectivas investigaciones.

Precisión en los Objetivos del Estudio: A partir del objetivo establecido desde el inicio del proceso investigativo, se definirá con claridad la finalidad del presente trabajo.

Veracidad de los Datos Recopilados: El estudio debe reflejar de manera fiel el problema analizado y sus causas, tal como se manifiestan en la realidad, sin modificar ni distorsionar las observaciones realizadas. Esto garantiza una interpretación precisa y transparente de las definiciones vinculadas al problema en cuestión

Reserva y Confidencialidad: Es esencial respetar los derechos de los autores cuando así lo requieran y proteger adecuadamente la información científica obtenida durante la elaboración del presente trabajo.

Rigor en el Desarrollo Temático: Desde una perspectiva ética, se valorará el aporte de diversas teorías y conceptos propuestos por distintos autores en relación con el tema estudiado. Asimismo, se buscará nueva información que contribuya al fortalecimiento del trabajo investigativo y a una comprensión profunda del objeto de estudio.

4. CAPITULO IV: CONTEXTO GEOLOGICO

4.1.1. GEOLOGIA

4.1.1.1. GEOLOGIA REGIONAL

La Geología regional está basada a partir de la información obtenida de los mapas geológicos realizados por el Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET), en una escala de 1:100,000. Correspondiente a los cuadrángulos Santo Tomás y Cusco - Livitaca del boletín 29 r y 29 s, como mostrarnos una visión general de comportamiento geológico hacia la zona de trabajo.

En la zona de trabajo se observa una variada secuencia de rocas de diversa naturaleza, principalmente rocas intrusivas, rocas metamórficas y rocas sedimentarias. Cuyas apariciones, sucesiones y sucesos que dieron origen a esta disposición de afloramientos, están datados entre el Cretácico y el Neógeno. Siendo mayormente cubiertos por depósitos recientemente cuaternarios.

Desde el punto de vista geográfico el yacimiento Yoqueray está situado en un cinturón elongado de rocas sedimentarias mesozoicas que se extienden por más de 300 Km desde Andahuaylas en el NE hasta Yauri en el SE; el área de estudio comprende afloramientos de rocas sedimentarias en contacto con rocas intrusivas que van desde el cretáceo inferior hasta el cuaternario.

4.1.1.1.1. FORMACION ARCURQUINA (Kis-a).

Esta denominación fue establecida por JENK, W. (1948) y ratificada por Benavides V. (1962) para la secuencia calcárea que sobreyace a la Formación Murco al noroeste de Arequipa, pero por Abancay Marroco, R (1975) y Pecho, V. (1981) emplean el término Ferrobamba y para los cuadrángulos de Cusco y Livitaca, Formación Arcurquina.

De la Cruz Bustamante, N. S. (1995) indica en el cuadrángulo de Velille, las relaciones estratigráficas de la Formación Arcurquina con las secuencias subyacentes Formación Huallhuani se presentan en concordancia angular y el techo erosionado.

Formación Arcurquina (Kis-a/i)

El miembro inferior está constituido principalmente por calizas de estratificación media a gruesa, con depósitos marinos relativamente uniformes, y representa la base de la formación.

Formación Arcurquina (Kis-a/m)

El miembro medio corresponde a una secuencia de calizas más finamente estratificadas, a veces con intercalaciones margosas, que reflejan cambios en las condiciones de sedimentación.

4.1.1.1.2. FORMACIÓN MURCO (Ki-mu).

Esta formación fue descrita por primera vez por Jenks, W. F. y Benavides, V. (1962) en el valle de Siguas, también ha sido cartografiada por Dávila, D. (1994) en los cuadrángulos de Caylloma y Lilitaca.

Litológicamente está constituida en su parte superior por una intercalación de limo arcillitas en estratos delgados centímetros a sub- centimetros con un espesor promedio de 80 m a 200m. En la parte media se observan intercalaciones de areniscas blanquecinas a rojizas en estratos delgados centimetricos con limo-areniscas y limoarcillitas.

Las exposiciones de la Formación Murco se manifiestan al límite NE del cuadrángulo de Velille, donde afloran al sur de la hacienda Chilloroya. Su edad se infiere teniendo en cuenta su posición estratigráfica (Galdos, J., Segundo, H., 2012). al descansar sobre la Formacion Soraya (Neocomiano inferior) e infrayace a la Formación Ferrobamba y se le asigna una edad del Aptiano (PECHO, V., 1980). Infrayace concordantemente a la Formación Arcurquina y su grosor aproximado es de 350 m.

Litológicamente la Formación Murco, está constituida por sedimentos clásticos abigarrados, pero mayormente rojizos, según su posición estratigráfica está sobre el grupo Yura y debajo de la Formación Arcurquina.

4.1.1.3. GRUPO TACAZA (*Po-t*).

El término Volcánicos Tacaza, fue empleado por primera vez por JENKS, (1949), siendo publicado formalmente por NEWELL (1949), describiendo una gruesa acumulación de rocas volcánicas en las proximidades de la Mina Tacaza en el cuadrángulo de Lagunillas. El Grupo Tacaza ocupa una gran extensión en los cuadrángulos de Chivay, Condoroma, Ocvirí, Lagunillas y Pichacane. Descansa casi siempre en discordancia sobre rocas del Mesozoico o del Grupo Puno.

Los afloramientos del Grupo Tacaza se extienden desde las proximidades del pueblo de Santo Tomás (río Santo Tomás), hasta las partes altas de los cerros Joramárque, Azulacca, casillojasa, Llaullimarca, Jatunorco, Huiscamarcoa, Usmapata, Utansa y Huiscacanche. Litológicamente se describen dos unidades: En la base se observan secuencias de brechas con componentes de calizas subangulosas y clastos de andesitas y en la secuencia superior se observan tobas líticas brechadas y alteradas, los líticos por lo general son de lavas andesíticas y la matriz arenotobácea con buzamiento que alcanza los 25° SO.

4.1.1.4. PLUTON COLQUEMARCA (PN-COL/*col-tn*).

Son afloramientos que cubren casi el 50% del cuadrángulo de Lilitaca y se prolonga por grandes extensiones hacia los cuadrángulos vecinos o aun fuera de ellos.

Esencialmente este cuerpo batolito puede ser clasificado como granodiorítico - tonalítico, por ser esta la composición preponderante, pero existen lugares donde hay cambios graduales bien marcados hacia una mayor acidez o basicidad.

4.1.1.5. DEPOSITO ALUVIAL (*Qh-al*)

A través del área mapeada en valles, depresiones y llanuras, se observan depósitos aluviales. Comprenden arcillas y limos, arenas y gravas no consolidadas depositadas por la corriente de ríos, fluxos de agua y Corrientes laminares todas ellas incluyen sedimentos fluviales y coluviales. En los valles principales, los sedimentos coluviales y los depósitos fluviales.

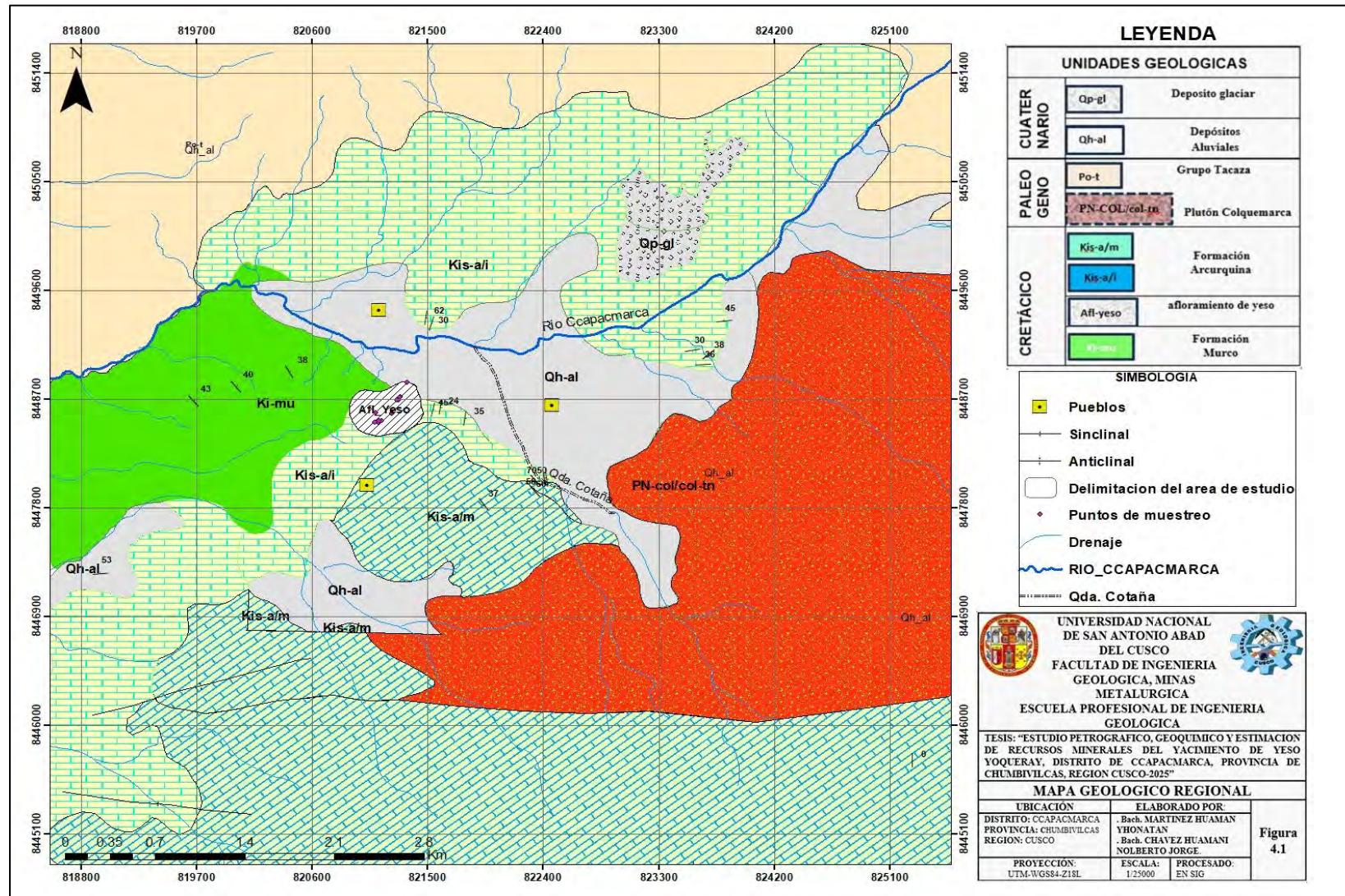
4.1.1.6. DEPOSITO GLACIAR (*Qp-gl*)

Los depósitos glaciares, están formados por materiales que pueden haber sido erosionados o no por el glaciar, pero que han sido transportados y posteriormente acumulados por el hielo. Dependiendo del lugar en el que hayan viajado en la masa glaciar, los clastos pueden presentar algunas características que permiten su identificación cuando se encuentran formando parte de un depósito. Los cantos y bloques que viajan en el contacto hielo-roca son modificados por el transporte en cuanto a su forma siendo redondeados por la fricción, también pueden presentar estrías originadas durante el desplazamiento por rozamiento con otros materiales. Los materiales depositados por el hielo glaciar reciben el nombre de Till.

Los depósitos glaciarios, corresponden a los depósitos acumulados directamente por la acción geodinámica de los glaciares; estos presentan materiales de litología homogénea, pero con tamaño de clastos muy variado, dentro de una matriz arenosa a limosa

Figura 4.1

Mapa geológico regional



Nota. Mapa elaborado en base a información geológica regional. Fuente: elaboración propia

4.1.1.2. GEOLOGIA LOCAL

El presente proyecto se desarrolló en el yacimiento de yeso de Yoqueray, ubicado en el distrito de Ccapacmarca, provincia de Chumbivilcas, región Cusco. El área de estudio se encuentra delimitada cartográficamente dentro de un marco coordenado UTM Zona 18S, con una escala de trabajo de 1:10,000, permitiendo una representación detallada de las unidades litológicas y estructuras geológicas presentes.

El mapa geológico local contiene una delimitación clara del área de estudio (sombreada con líneas oblicuas negras), en la que se han identificado múltiples puntos de muestreo (representados con puntos rojos), ubicados principalmente en una zona dominada por afloramientos de yeso etiquetados como "Afl_Gyp". Esta unidad representa una exposición significativa del mineral de interés económico.

4.1.1.2.1. DEPOSITOS CUATERNARIOS

A) Depósitos Coluvio deluvial (Qh_cd)

Los depósitos coluvio deluviales corresponde a una unidad de origen mixto, producto de procesos gravitacionales (coluviales) y fluviales superficiales (deluviales). Estos depósitos se acumulan principalmente en las laderas y zonas de pendiente moderada a fuerte, como se observa en la imagen proporcionada, donde se evidencia la acumulación de materiales detríticos heterométricos con presencia de bloques, gravas, arenas y suelos mezclados. El transporte se da por gravedad, escorrentía y en algunos casos por deslizamientos superficiales.

En el área de estudio, esta unidad cubre sectores amplios de las laderas adyacentes al afloramiento de yeso, actuando como un manto de recubrimiento reciente que puede dificultar la observación directa de unidades subyacentes (Figura 4.2). También estos depósitos son ricos en materia orgánica por lo cual es bueno para la agricultura y ganadería.

Figura 4.2

Depósito Coluvio deluvial



Nota. En la imagen se observa un depósito Coluvio deluvial que está cubierto superficialmente de agricultura y hay presencia; de casas, maíz, alfalfa y otros productos de la zona al NW del yacimiento Yoqueray. Fuente elaboración propia.

B) Depósito coluvial (Qh_Co)

Estos depósitos coluviales se encuentran ubicados al sureste de la zona de estudio, identificado como Qh_co. Se presentan como una acumulación de sedimentos no consolidados en la base de una pendiente abrupta. Su geometría elongada y su textura superficial evidencian la influencia de procesos gravitacionales sobre antiguos sedimentos glaciares, los cuales han sido removilizados por la acción de la gravedad, escorrentía y posiblemente gelifracción (Figura4.3).

Este depósito es de origen glaciar por lo tanto se deduce por su ubicación en una zona asociada a morfologías erosivas y acumulativas vinculadas a antiguos glaciares, observándose clastos angulosos de tamaño variado y material fino intercalado, típico de procesos de remoción en masa posteriores al retroceso glaciar.

Según González Díaz et al. (2015), los depósitos coluviales son “acumulaciones de fragmentos rocosos transportados por acción de la gravedad desde laderas adyacentes, a menudo reorganizados por procesos superficiales como escurrimientos, deslizamientos o solifluxión, y en contextos de montaña, pueden tener un origen glaciar indirecto por retrabajo de tilles”.

Figura 4.3

Depósito coluvial



Nota. En la imagen se observa un depósito coluvial de origen glaciar al NE del yacimiento Yoqueray. Fuente elaboración propia.

C) Depósitos fluviales (Qh_f)

Los depósitos fluviales son acumulaciones de materiales clásticos transportados y depositados por corrientes de agua en ambientes fluviales, tales como cauces activos, terrazas aluviales y planicies de inundación. Estos depósitos están compuestos por gravas, arenas, limos y

arcillas con estratificación variable, y reflejan eventos de transporte intermitente de alta y baja energía (Bridge, 2003).

En la zona de estudio, estos depósitos se encuentran principalmente hacia el sector norte, asociados a la red de drenaje superficial de quebradas intermitentes y ríos (Figura 4.4). Se reconocen terrazas con estratificación visible, formadas por procesos de acumulación fluvial durante temporadas de lluvia. Su distribución y morfología indican una dinámica de sedimentación relacionada a eventos de escorrentía concentrada y transporte de carga mixta.

Figura 4.4

Depósito fluvial



Nota. En la imagen se observa un depósito fluvial (Qh_f) al NE del yacimiento Yoqueray. Fuente elaboración propia.

D) Depósitos aluviales (Qh_{al})

Son acumulaciones de sedimentos no consolidados transportados por agua corriente y depositados en diversos ambientes fluviales como lechos de ríos, terrazas, abanicos aluviales o planicies de inundación. Estos materiales, que incluyen gravas, arenas, limos y arcillas, muestran

una estratificación variable y están dispuestos según la energía del medio de transporte (Boggs, 2006; Nichols, 2009).

En el área estudio, los depósitos aluviales se desarrollan principalmente hacia el noreste (NE) y noroeste (NW), donde el relieve desciende hacia valles y quebradas que funcionan como colectores naturales. Estos depósitos provienen de procesos de arrastre y sedimentación fluvial asociados a quebradas intermitentes, y se disponen en forma de terrazas y conos aluviales, con clastos de diversos tamaños y composición lítica local (Figura 4.5).

Figura 4.5:

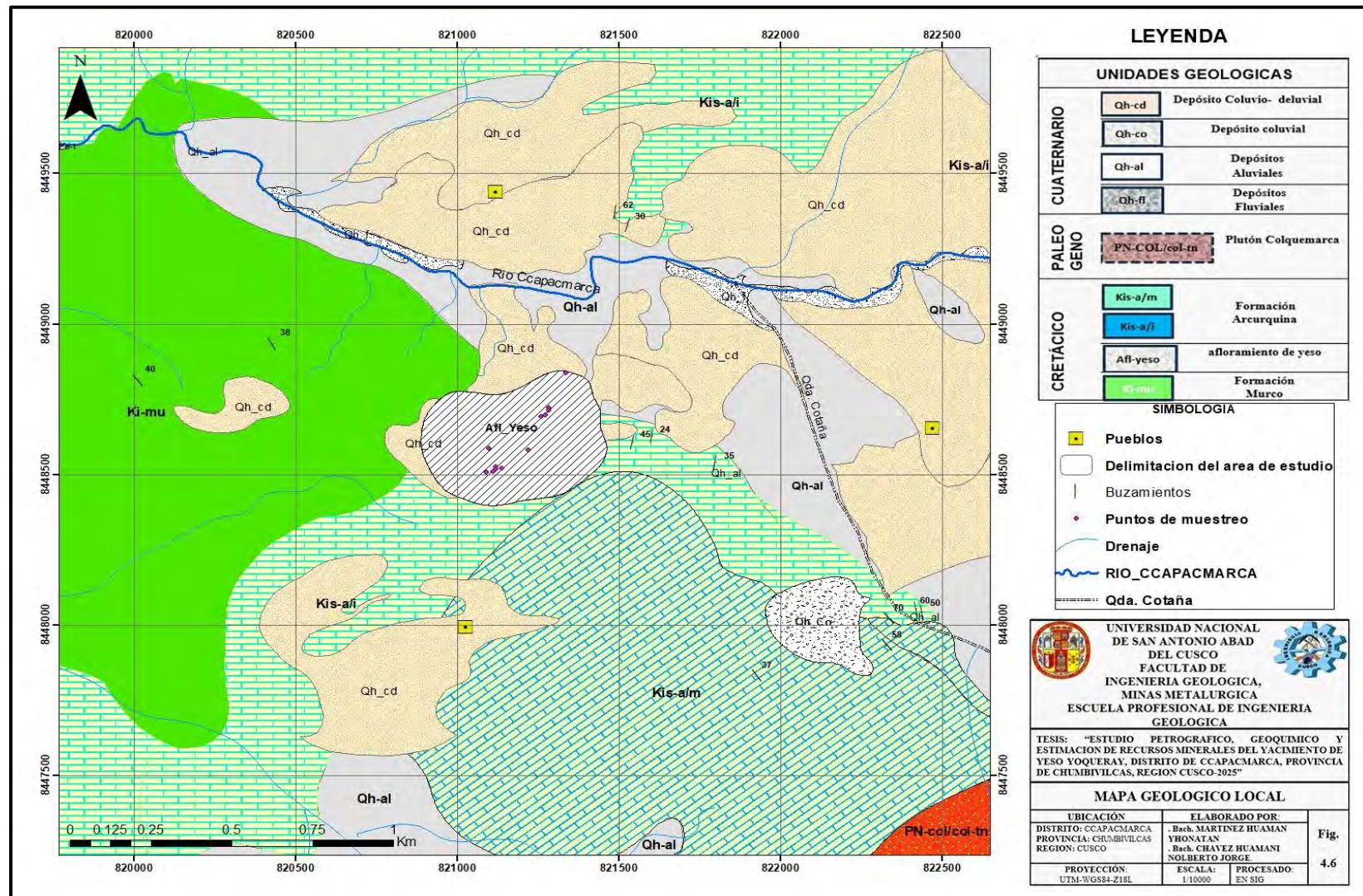
Depósito aluvial



Nota. En la imagen se observa los depósitos de sedimentación de tipo aluvial ubicados al sureste del yacimiento Yoqueray, correspondientes a diferentes etapas de deposición, lo que refleja la evolución dinámica de los procesos aluviales en el área de estudio. Fuente: elaboración propia

Figura 4.6

Mapa geológico local



Nota. Mapa elaborado en base a información geológica local. Fuente: elaboración propia.

4.1.1.3. GEOMORFOLOGIA REGIONAL

La geomorfología regional del cuadrángulo 29-R (Santo Tomás, Cusco), según Galdós Huaco & Carrasco Viza (2003) e INGEMMET (2003), se caracteriza por un relieve accidentado con cordilleras, valles profundos y pendientes abruptas generadas por tectónica andina. Los corredores fluviales inciden intensamente en el modelado del paisaje, originando terrazas, conos y planicies aluviales asociados a drenajes permanentes e intermitentes (figura 4.6). Estas unidades morfo-estructurales revelan una dinámica activa de erosión y depósito, que define la zonificación geomorfológica del área”.

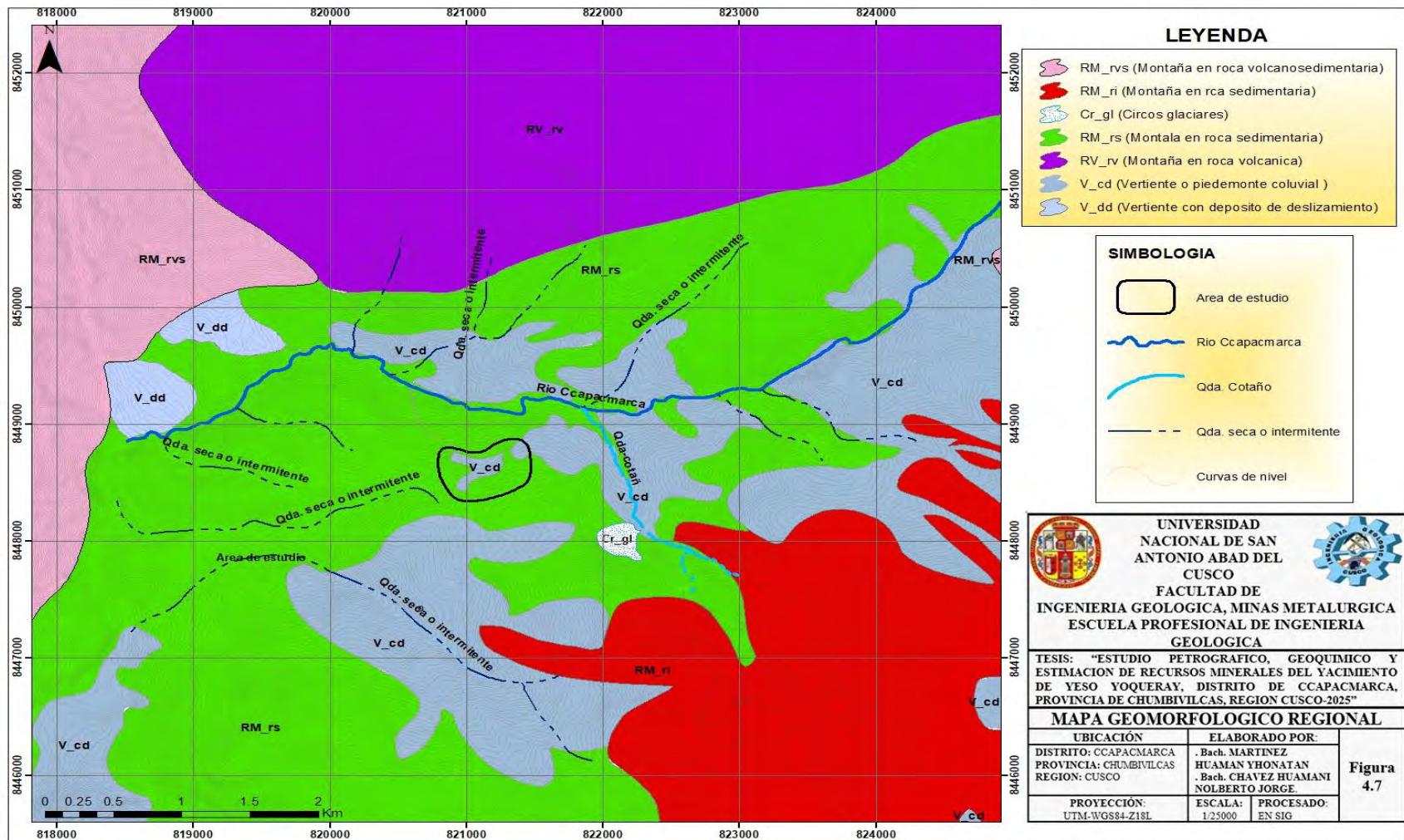
El (INGEMMET, 1997) considera que esta unidad montañosa, litológicamente está constituida por un núcleo paleozoico cubierto por rocas mesozoicas y cenozoicos, deformadas por un intenso plegamiento, fallas inversas y grandes sobre escrurimientos, la altura alcanzada por esta unidad es debido a movimientos epírogénicos acontecidos hasta el terciario tardío y el cuaternario.

La zona de estudio está dentro del cuadrángulo 29-r por lo tanto incluye estructuras tectónicas activas, pendientes inestables, y depósitos aluviales desarrollados en abanicos y planicies formadas por quebradas estacionales y ríos permanentes (rio Capacmarca y Apurímac). También presenta relieves estructuralmente complejos, con presencia de cordilleras orientadas norte-sur, valles profundos definidos por importantes drenajes y abanicos aluviales en las áreas de pie de monte.

Un modelo de geomorfología dominado por pendientes abruptas, fracturas y bloques escarpados, producto del levantamiento andino, con procesos fluviales intensos que moldean los valles y depositan sedimentos en zonas planas. Diversos ambientes morfoestructurales: ejes montañosos, valles en caída estructural, conos aluviales, terrazas fluviales y laderas con incisiones profundas.

Figura 4.7

Mapa geomorfológico regional



Nota. Mapa elaborado en base de información geomorfológico regional de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia

4.1.1.4. GEOMORFOLOGIA LOCAL

4.1.1.4.1. LOMADA EN ROCA SEDIMENTARIA (*Rl_rs*).

Esta zona es parte de los Andes del sur peruano, y en muchas áreas predominan las rocas sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico, producto de antiguos ambientes marinos, fluviales y lacustres. está compuesta por roca sedimentaria, significa que se ha formado por la compactación de sedimentos como areniscas, lutitas o calizas

4.1.1.4.2. CARCAVAS (*Ca*).

son surcos profundos y estrechos que se forman por la escorrentía concentrada del agua de lluvia en suelos blandos de la Formacion Murco, especialmente en zonas con pendiente donde hay poca cobertura vegetal. Se trata de un tipo de erosión hídrica que tiende a retroceder hacia el interior de la ladera.

4.1.1.4.3. VERTIENTE O PIE DE MONTE COLUVIO DELUVIAL (*V_cd*).

Un pie de monte coluvio-deluvial es una zona de acumulación de sedimentos que se forma en la base de una ladera o montaña, producto de dos procesos combinados: Coluviales: Arrastre de materiales por gravedad (derrumbes, reptación, caída de rocas). Deluviales: Transporte por agua de lluvia no canalizada (escorrentía difusa, aludes, cárcavas pequeñas)

4.1.1.4.4. CIRCOS GLACIARS (*Cr_gl*)

Es una cavidad natural en forma de anfiteatro, labrada por glaciares en la parte alta de las montañas. Se forman por la erosión de hielo que excava la roca hasta crear una cuenca escarpada y semicírculo (Figura 4.7). Son marcas visibles de antiguos glaciares.

Figura 4.8

Circos glaciares



Nota. En la fotografía se observan los circos glaciares en las calizas de la Formación Arcurquina , SE del yacimiento Yoqueray. Fuente elaboración Propia.

4.1.1.4.5. *MONTAÑA DE ROCA SEDIMENTARIA (RM_rs).*

Es una elevación compuesta principalmente por estratos de rocas formadas por la compactación de sedimentos depositados por agua, viento o hielo a lo largo de millones de años. En los Andes, en la zona de estudio se observa montañas de la Formación Arcurquina que estas montañas frecuentemente presentan: Estratificación visible (capas inclinadas o plegadas). Composición de calizas.

Figura 4.9

Montañas en rocas sedimentarias



Nota. En la fotografía se observan montañas formadas por las calizas de la Formación Arcurquina Kia -a/i al NE del yacimiento Yoqueray. Fuente elaboración Propia.

4.1.1.4.6. AVANICOS DELUVIALES (*Qh_De*).

Un abanico aluvial, también llamado cono de deyección, es una forma geomorfológica en forma de abanico que se crea cuando un flujo de agua sale de una zona montañosa encajada hacia un terreno más plano, reduciendo su energía y depositando rápidamente sedimentos como gravilla, arena e incluso bloque, se describe la presencia de conos o abanicos aluviales en las desembocaduras de quebradas principales hacia los valles. Están compuestos por bloques y gravas en una matriz arenoso-arcillosa, indicando actividad geodinámica pasada y presente.

4.1.1.4.7. TERRAZAS AGRICOLAS (T_Ag).

Las terrazas agrícolas constituyen sistemas de escalonamiento construidos sobre laderas de cerros y montañas, mediante la edificación de muros de contención o la conformación de taludes, con la finalidad de generar superficies planas aptas para la actividad agrícola. Estas estructuras permiten el control de la erosión, la optimización del uso del suelo, la retención de humedad y el manejo eficiente del agua de riego, contribuyendo significativamente a la estabilidad de los terrenos en zonas de pendiente pronunciada

Figura 4.10

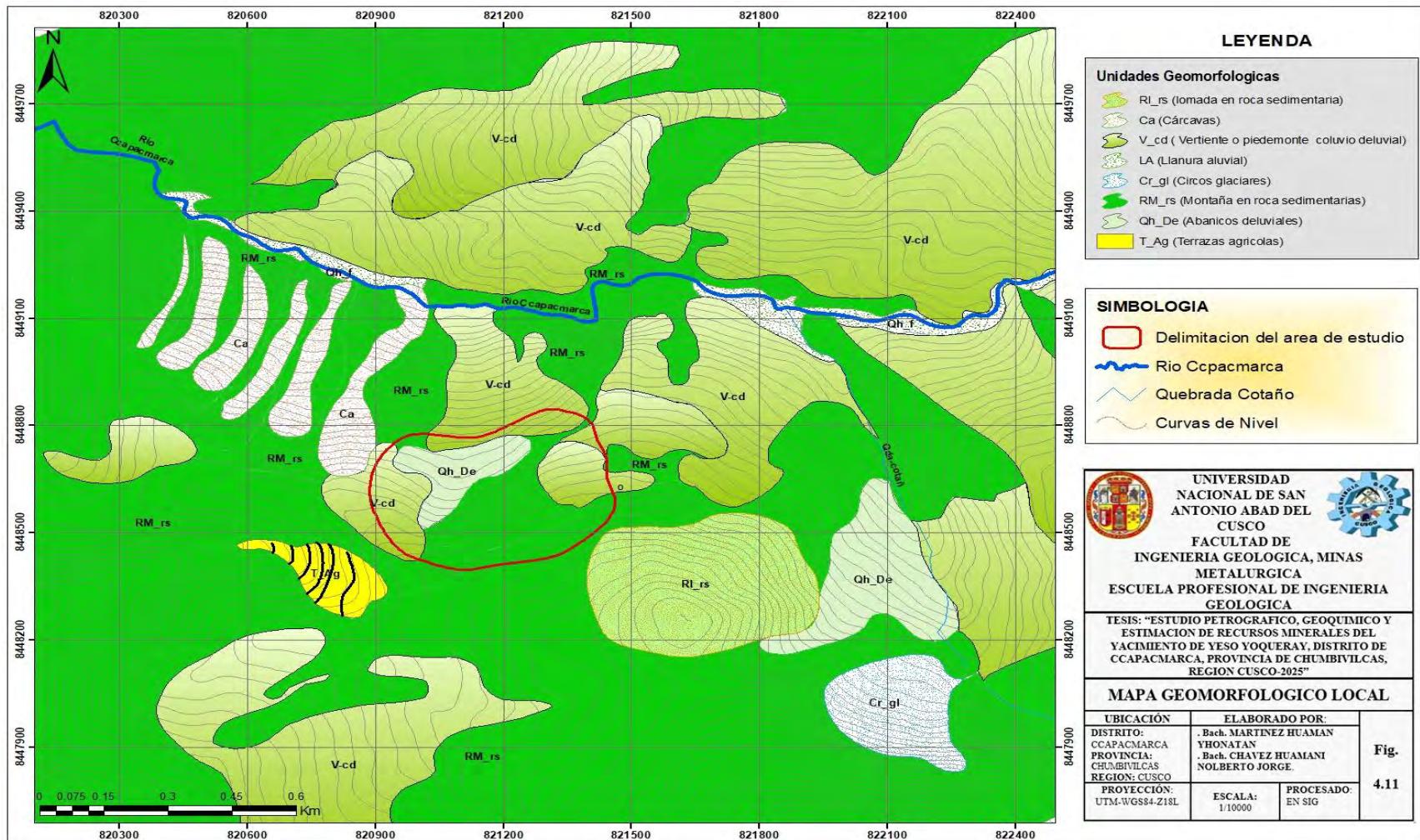
Terrazas agrícolas.



Nota. En la imagen se observan terrazas agrícolas al N del yacimiento Yoqueray, que son ricos en materia orgánica que forman parte esencial del paisaje rural y de las prácticas productivas locales, siendo utilizadas principalmente para el cultivo de productos agrícolas adaptadas a las condiciones climáticas andinas. Así mismo los pobladores se dedica de manera complementaria a la ganadería aprovechando las áreas adyacentes para el pastoreo de ganado.

Figura 4.11

Mapa geomorfológico local



Nota. Mapa elaborado en base de información geomorfológico local de la zona de estudio Fuente: elaboración propia

4.1.1.1. PENDIENTES

Las pendientes en el sur del Perú, y particularmente en el distrito de Ccapacmarca (provincia de Chumbivilcas, Cusco), representan la inclinación del terreno respecto a la horizontal, producto de intensos procesos geológicos y geomorfológicos como la tectónica andina, la erosión fluvial y la acción glacial. Estas pendientes varían desde sectores ligeramente inclinados (0–15%) en zonas de relleno aluvial o terrazas, hasta fuertemente inclinados (mayores al 35%) en laderas montañosas talladas en roca volcánica y sedimentaria. Esta configuración determina el uso del suelo, la estabilidad de laderas, el escurrimiento superficial y las condiciones de accesibilidad.

Según la clasificación del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2020) y estudios como los de Montesinos-Tubino et al. (2014), en zonas como Ccapacmarca predominan las pendientes fuertes a muy fuertes, asociadas a relieve abrupto y estructuras plegadas, características de los Andes Centrales del sur peruano. La pendiente, además, influye significativamente en la susceptibilidad a procesos de remoción en masa, así como en la delimitación de unidades geomorfológicas y planificación territorial.

El mapa de pendientes correspondiente a la zona de estudio, ubicado en la provincia de Chumbivilcas, región Cusco, ha sido elaborado con base en curvas de nivel a escala 1:10,000 y clasifica las pendientes del terreno según el grado de inclinación expresado en porcentaje (%), siguiendo la simbología y rangos establecidos por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y la metodología de análisis morfométrico de pendientes.

La zona de estudio, delimitada en color rojo, presenta un relieve moderadamente accidentado a accidentado, con un predominio de pendientes entre 4 % y 25 %, que corresponden

a clases moderadamente inclinadas hasta moderadamente empinadas. Se distinguen claramente las siguientes unidades morfométricas:

Zonas verdes claras y medias (4–15%), que cubren gran parte del área, corresponden a laderas moderadamente inclinadas y fuertemente inclinadas, propias de sectores de acumulación y transición entre zonas más elevadas y quebradas.

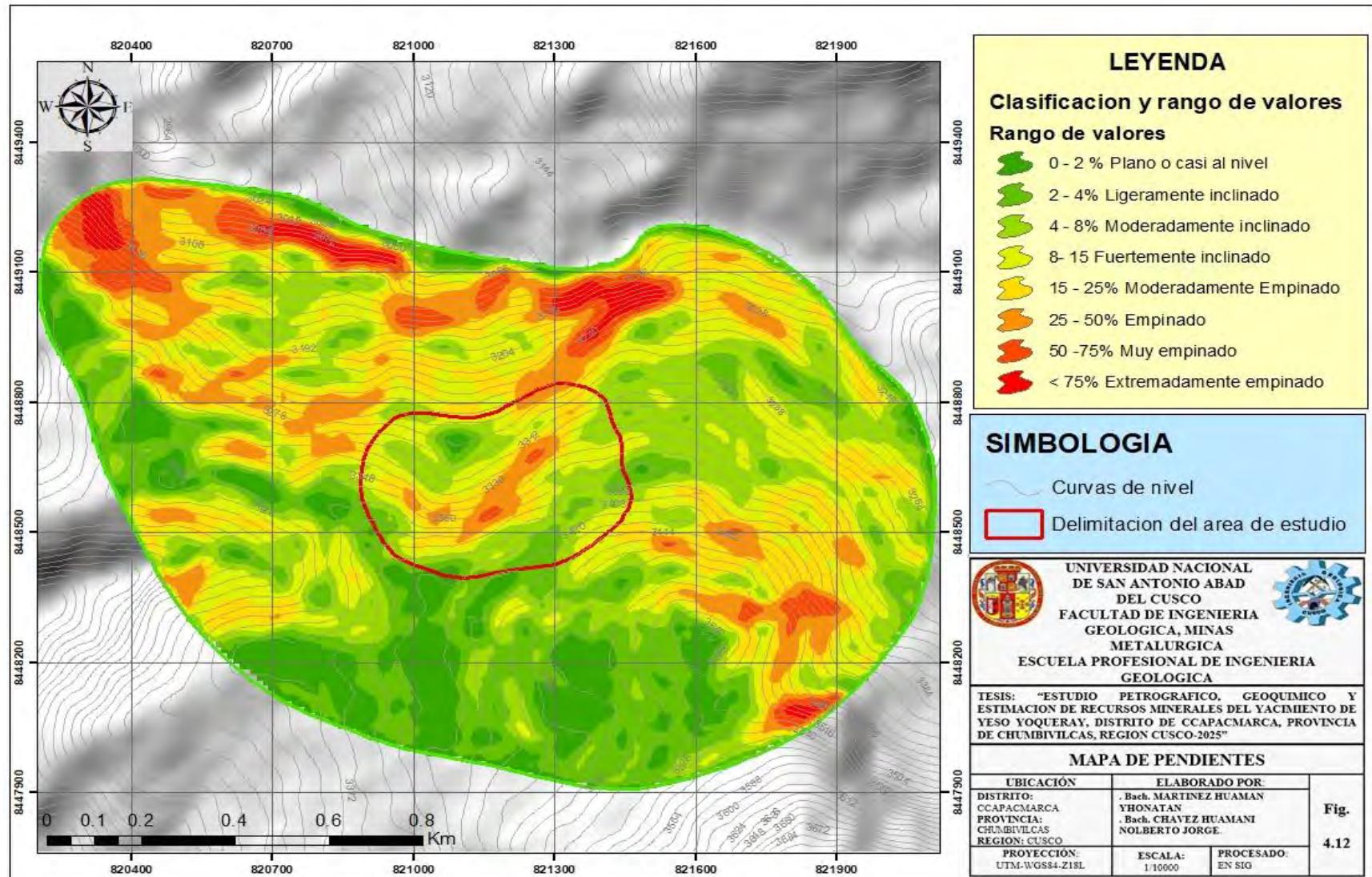
Zonas amarillas (15–25%) representan sectores moderadamente empinados, característicos de laderas estructurales o remanentes de formas erosivas.

Zonas anaranjadas y rojas (>25%), localizadas principalmente en las partes altas y bordes del área delimitada, indican sectores empinados, muy empinados y extremadamente empinados, con inclinaciones que superan el 50% en algunos sectores, lo cual sugiere alta susceptibilidad a procesos de remoción en masa y escasa aptitud para usos agrícolas.

Este patrón de pendientes está condicionado por la estructura geológica, el tipo de litología (rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias) y procesos erosivos activos. La fuerte pendiente en sectores puntuales implica consideraciones especiales para la planificación territorial, uso del suelo, obras de infraestructura y manejo de riesgos geodinámica.

Figura 4.12

Mapa de pendientes



Nota. Fuente: elaboración propia

MONTAÑAS

Montaña en roca volcanosedimentaria

Las montañas en roca volcánica son unidades de relieve alto generadas por acumulación de materiales ígneos extruidos a la superficie (como lavas, piroclastos y domos), que posteriormente han sido esculpidas por la erosión, fracturación y levantamientos tectónicos. Estas montañas presentan pendientes abruptas, estructuras columnadas o masivas, y pueden estar asociadas a antiguos centros eruptivos o flujos lávicos consolidados (Grotzinger & Jordan, 2010; Cas & Wright, 1987). Estas montañas están en el norte del área de estudio, generalmente presentan relieves altos y pendientes abruptos.

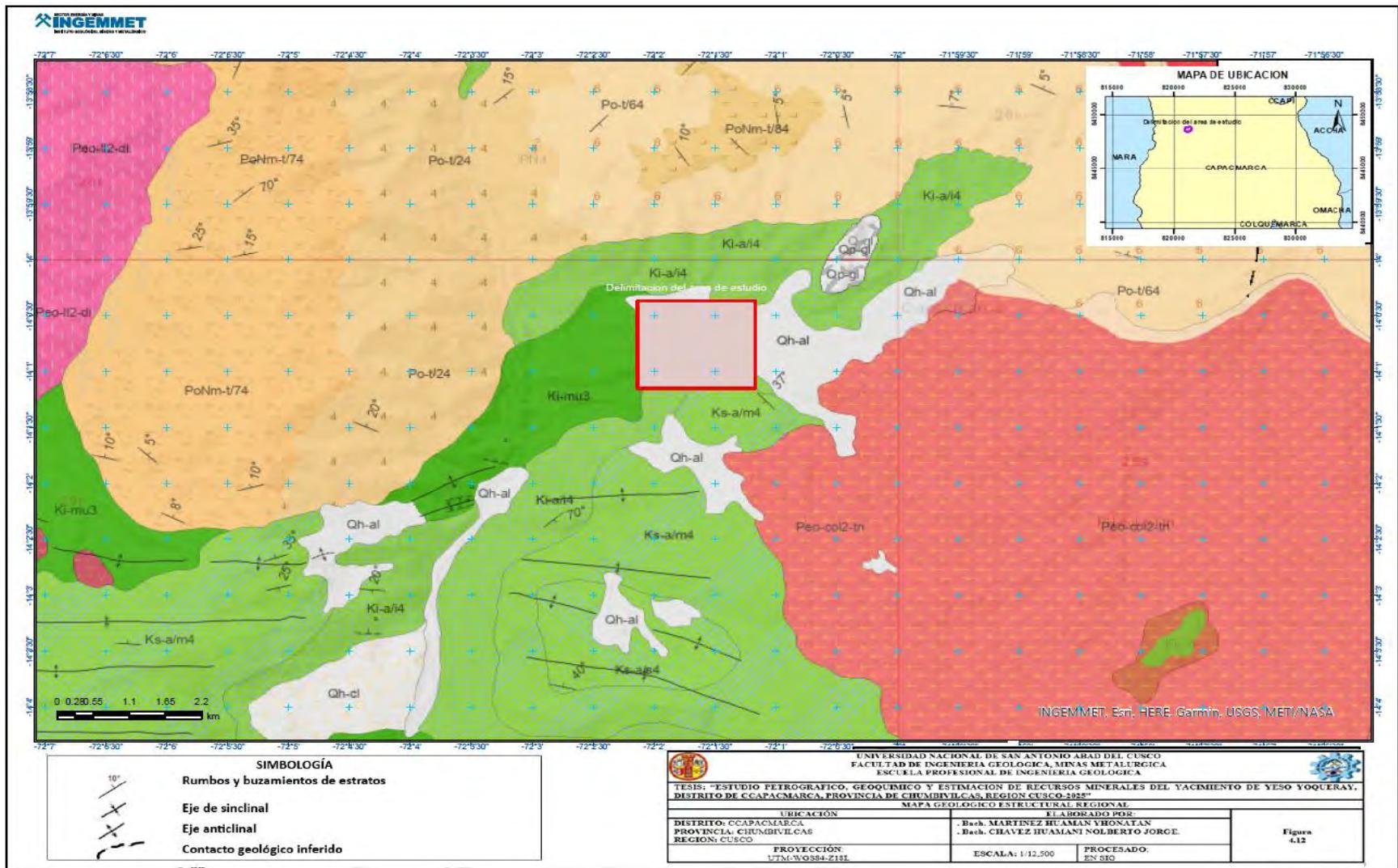
4.1.1.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Según Ramos (1999), a escala regional, los Andes del sur del Perú se formaron por la acreción de varios bloques corticales como resultado de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, proceso que tuvo lugar hacia finales del Cretácico tardío, al término de la era Mesozoica. Carlotto (2007) complementa esta visión señalando que existe una alta probabilidad de encontrar yacimientos metálicos asociados a estos bloques acrecionados, particularmente en zonas controladas por estructuras tectónicas regionales.

El yacimiento en estudio se encuentra en una zona que fue afectado por diferentes eventos tectónicos y presentar diferentes rasgos de la orogenia andina principalmente; se tiene la evidencia de los emplazamientos de plutones y como se dio el comportamiento de las rocas sedimentarias, los cuales generaron alteraciones producto de ello se tiene la mineralización y desplazamientos que ocurrieron quedando como rasgos en el relieve actual.

Figura 4.13

Mapa estructural regional



Nota. Mapa elaborado en base a información estructural regional de INGEMMET, complementada con observaciones de campo. Fuente INGEMMET

4.1.1.2.1. SECCION GEOLOGICA - ESTRUCTURAL

La sección geológica A–A', está orientada de noroeste (NW) a sureste (SE), muestra una serie de unidades litológicas que representan un registro geológico complejo. Se identificaron diversos tipos de contactos entre estas unidades, los cuales se describen a continuación:

A) Contactos discordantes erosivo

El Grupo Tacaza suprayace en discordancia erosiva a la Formación Arcurquina (miembro inferior), evidenciando un hiato estratigráfico y un cambio tectono-sedimentario entre el Cretácico y el Paleógeno.

B) Contacto gradacional

El miembro medio de la Formación Arcurquina suprayace en contacto concordante y gradacional al miembro inferior, evidenciando un cambio progresivo de facies evaporíticas a carbonatadas dentro de un mismo sistema deposicional marino somero.

C) Contactos concordantes

El cuerpo evaporítico se dispone en contacto concordante con el miembro medio de la Formación Arcurquina, correspondiendo a un cambio lateral y/o vertical de facies dentro de un ambiente marino somero restringido.

D) Contacto litológico evaporítico

En la sección geológica A–A', se identifica un afloramiento de yeso intercalado en la parte media del perfil, aproximadamente entre las cotas de 3350 y 3500 m.s.n.m. Este cuerpo evaporítico, de morfología lenticular, se encuentra en contacto litológico con las unidades sedimentarias del Miembro medio de la Formación Arcurquina. Su génesis está asociada a un ambiente de sedimentación evaporítica en condiciones áridas, probablemente de origen

lacustre o endorreico, dentro de una depresión tectónica local. El contacto superior presenta evidencias de erosión leve, posiblemente asociada a retrabajos posteriores.

La caracterización de las muestras se llevó a cabo en una ficha que posee secciones para registrar las distintas propiedades fundamentales (coordenada, mineral, alteración, entre otras) para finalmente pasar la información a una hoja de cálculo de Excel.

E) Contacto intrusivo

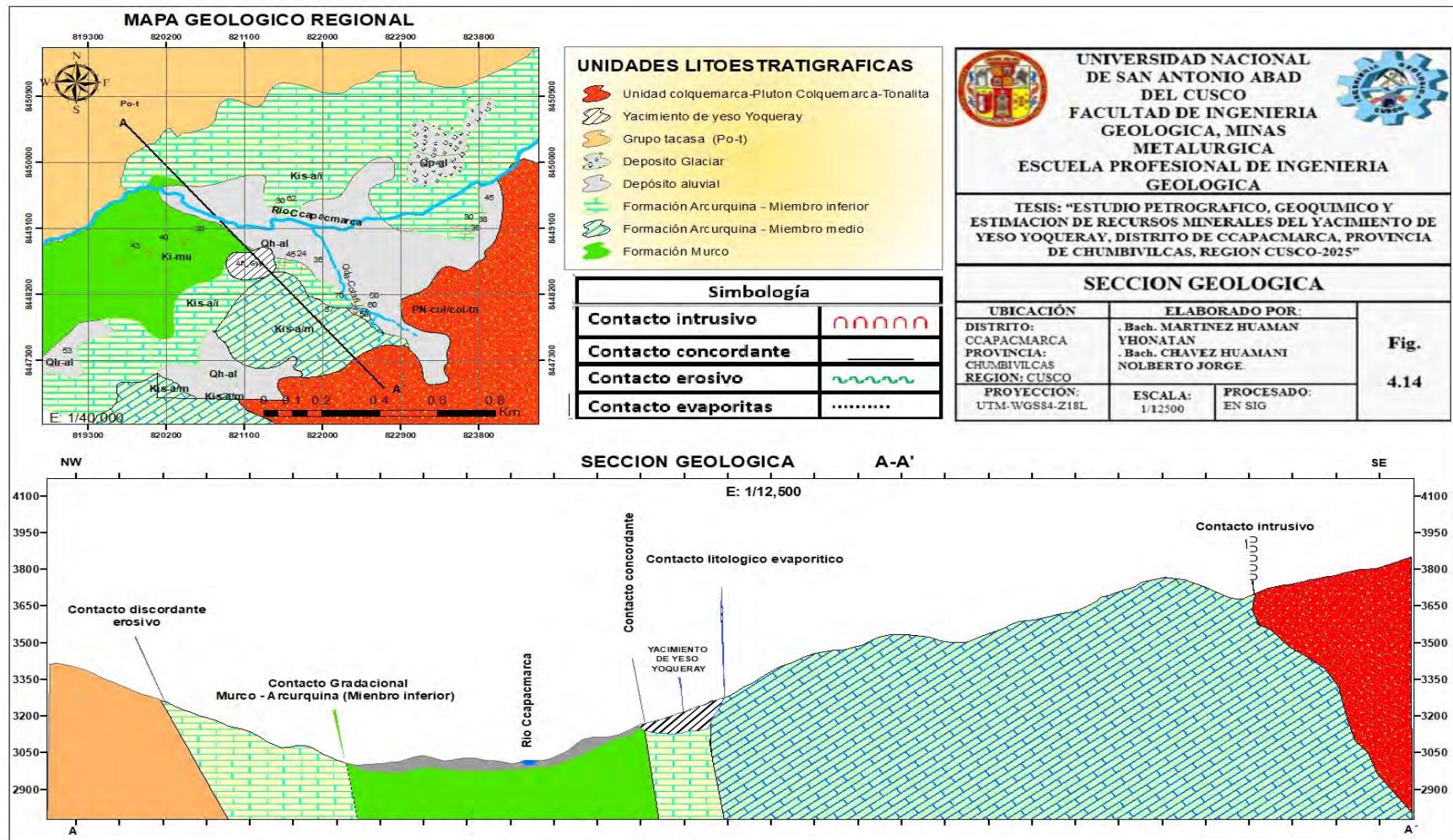
Corresponden al emplazamiento de cuerpos ígneos en rocas preexistentes:

La Unidad Colquemarca – Plutón Colquemarca–Tonalita (color rojo) muestra un contacto intrusivo hacia la Formación Arcurquina, lo que sugiere que el Plutón se emplazó después de la sedimentación de esta unidad.

Estos contactos son netos y cortan en discordancia a las estructuras previas, indicando su carácter post-tectónico.

Figura 4.14

Sección geológica



5. CAPITULO V: ANALISIS DE DATOS PETROGRAFICOS, GEOQUIMICOS Y DE ESTIMACION DEL YACIMIENTO DE YESO YOQUERAY

5.1. ANALISIS PARA EL OBJETIVO ESPECIFICO 1: CARACTERIZAR PETROGRAFICAMENTE DEL YESO DEL YACIMIENTO DE YOQUERAY MEDIANTE EL ANALISIS MICROSCOPICO DE SECCIONES DELGADAS PARA IDENTIFICAR SU TEXTURA, MINERALES ASOCIADOS Y POSIBLES IMPUREZAS

5.1.1. DESCRIPCION TEXTURAL DE MUESTRAS TOMADAS EN CAMPO.

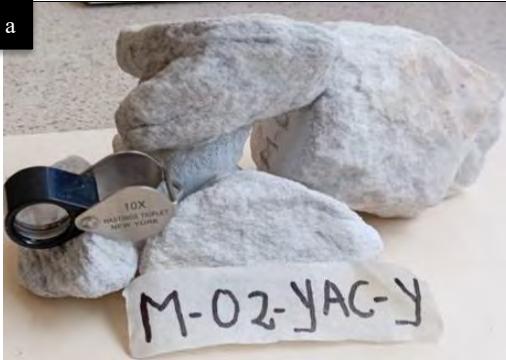
MUESTRA: M-02-YAC-Y	
YESO SACAROIDEO	
PROCEDENCIA	YOQUERAY - CCAPACMARCA
COORDENADAS UTM	E=821283 N=8448714
MUESTRA DE MANO	MICROFOTOGRAFIA EN MICROSCOPIO ESTEREOSCOPICO
 a	 b
DESCRIPCION	
(a). Muestra de mano de yeso sacaroideo de color blanco lechoso con tonalidades amarillentas presenta un brillo sedoso con una textura sacaroidea y (b) microfotografia en microscopio estereoscopico, presenta cristales xenomorfos, granulares y equidimensionales de brillo vitro a translucido también se observa bordes irregulares y aspecto azucarado.	

Tabla 5.1: Descripción macroscópica de la Muestra M-02-YAC-Y. Fuente: elaboración propia

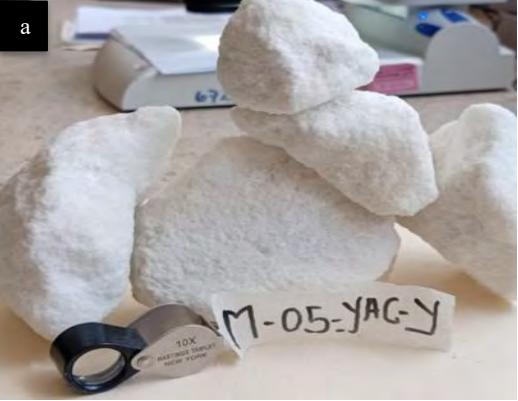
MUESTRA: M-05-YAC-Y	
YESO SACAROIDE	
PROCEDENCIA	YOQUERAY - CCAPACMARCA
COORDENADAS UTM	E= 821136 N=8448622
MUESTRA DE MANO	MICROFOTOGRAFIA EN MICROSCOPIO ESTEREOSCÓPICO
 a	 b
DESCRIPCION	
<p>(a). Muestra de yeso sacaroideo de color blanco lechoso, presenta un brillo sedoso con una textura sacaroidea de grano medio y (b) presenta textura sacaroidea, constituida por cristales equigranulares, anhedrales, de brillo vítreo . Los granos son translúcidos a blanquecinos y están intercrecidos, formando una masa de aspecto similar a "azúcar cristalizado". estas texturas son típicas de recristalización del yeso durante la diagenesis.</p>	

Tabla 5.2: Descripción macroscópica de la muestra M-05-YAC-Y. Fuente: elaboración propia

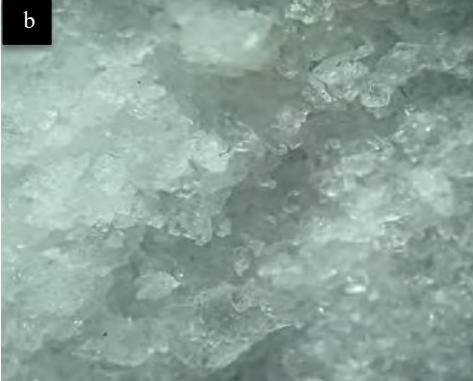
MUESTRA: M-06-YAC-Y	
YESO SACAROIDE	
PROCEDENCIA	YOQUERAY - CCAPACMARCA
COORDENADAS UTM	E=821328 N=8448777
MUESTRA DE MANO	MICROFOTOGRAFIA EN MICROSCOPIO ESTEREOSCÓPICO
 a	 b
DESCRIPCÓN	
<p>(a). la muestra presenta una textura masiva y granular a fina con coloración gris oscura a blanquecina, debido a impurezas finamente dispersas por arcillas y trazas de óxido de hierro y brillo mate mostrando fracturas irregulares (b) en el microscopio estereoscópico se observan granos translúcidos a blanquecinos y están intercrecidos, formando una masa de aspecto similar a "azúcar cristalizado".</p>	

Tabla 5.3: Descripción macroscópica de la muestra M-06-YAC-Y. Fuente: elaboración propia

MUESTRA: M-07-YAC-Y	
YESO ESPEJUELO - SELENITA	
PROCEDENCIA	YOQUERAY - CCAPACMARCA
COORDENADAS UTM	E=821161 N=8448526
MUESTRA DE MANO	MICROFOTOGRAFIA EN MICROSCOPIO ESTEREOSCÓPICO
 <p>a</p>	 <p>b</p>
DESCRIPCION	
<p>(a). Yeso selenítico, presenta tonalidades blancas, amarillentas y marrones, tiene un brillo sedoso a vitreo con una textura hojosa, se caracteriza por presentar una superficie lisa y brillante, tiene una exfoliación perfecta y presenta un hábito tabular (b) en el microscopio estereoscópico se observan cristales laminares transparentes a translúcidos.</p>	

Tabla 5.4: Descripción macroscópica de la muestra M-07-YAC-Y. Fuente: elaboración propia

MUESTRA: M-08-YAC-Y	
YESO MASIVO RECRYSTALIZADO	
PROCEDENCIA	YOQUERAY - CCAPACMARCA
COORDENADAS UTM	E=821101 N=8448524
MUESTRA DE MANO	MICROFOTOGRAFIA EN MICROSCOPIO ESTEREOSCÓPICO
 <p>a</p>	 <p>b</p>
DESCRIPCION	
<p>(a) Presenta un color de blanco, con zonas amarillentas ocre, textura masiva microgranular, brillo apagado a subvítro y fractura irregular. La zona amarillenta indica la presencia de óxidos de hierro. (b) en el microscopio estereoscópico presenta una transparencia translúcida a semitransparente.</p>	

Tabla 5.5: Descripción macroscópica M-08-YAC-Y. Fuente: elaboración propia

MUESTRA: M-09-YAC-Y	
YESO FIBROSO	
PROCEDENCIA	YOQUERAY - CCAPACMARCA
COORDENADAS UTM	E=820989 N=8448565
MUESTRA DE MANO	MICROFOTOGRAFIA EN MICROSCOPIO ESTEREOSCÓPICO
 <p>a</p>	 <p>b</p>
DESCRIPCION	
<p>(a). Yeso fibroso, formado por fibras paralelas a subparalelas con apariencia sedosa o satinada tiene una textura fibrosa y coloración blanco gris amarillento. Presenta cristales alargados a prismáticos tabulares alineados (b) presenta una transparencia translúcida a semitransparente y también se puede observar estrías blanquecinas.</p>	

Tabla 5.6: Descripción macroscópica de la muestra M-08-YAC-Y. Fuente: elaboración propia.

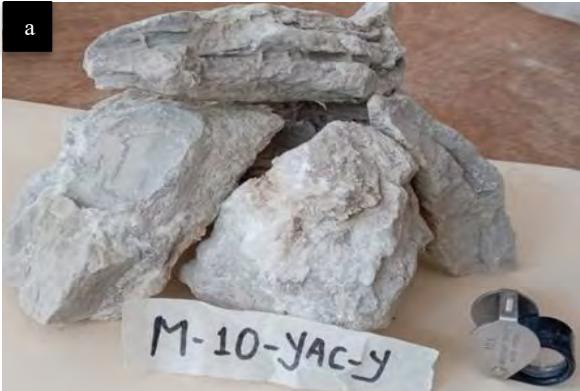
MUESTRA: M-10-YAC-Y	
DOLOMITA y YESO SELENÍTICO	
PROCEDENCIA	YOQUERAY - CCAPACMARCA
COORDENADAS UTM	E=821344 N=8448639
MUESTRA DE MANO	MICROFOTOGRAFIA EN MICROSCOPIO ESTEREOSCÓPICO
 a	 b
DESCRIPCION	
<p>(a). Cristales de yeso selenítico impregnado en dolomita con estructura bandeada de color gris humo, esta formación se da por diagénesis evaporítica en ambientes carbonatados, en la imagen (b) se presenta cristales alargados, prismáticos y transparentes a translúcidos, algunos muestran terminaciones en punta y caras planas bien definidas también hay presencias de granos amarillentos asociados a matriz carbonatado y óxidos de hierro.</p>	

Tabla 5.7: Descripción macroscópica de la muestra M-10-YAC-Y. Fuente: elaboración propia.

MUESTRA: M-12-YAC-Y	
YESO SACAROIDEO	
PROCEDENCIA	YOQUERAY - CCAPACMARCA
COORDENADAS UTM	E=821244N=8448574
DESCRIPCION MACROSCOPICA	
MUESTRA DE MANO	MICROFOTOGRAFIA EN MICROSCOPIO ESTEREOSCÓPICO
 a	 b
DESCRIPCION	
<p>(a). Yeso de color blanco gris muy claro, presenta grano medio a fino, brillo sedoso con una textura cristalizada y una estructura bandeada (b) cristales prismáticos de suhhedrales a anhedrales de matriz granular y transparentes a translúcidos, algunos muestran terminaciones en punta.</p>	

Tabla 5.8: Descripción macroscópica de la muestra M-12-YAC-Y. Fuente: elaboración propia

5.1.2. RESULTADOS PETROGRAFICOS DE SECCIONES DELGADAS

Nº	Código de la muestra	Estudio petrográfico
1	M-02-YAC-Y	Yeso
2	M-05-YAC-Y	Yeso
3	M-06-YAC-Y	Yeso
4	M-07-YAC-Y	Yeso
5	M-08-YAC-Y	Yeso
6	M-09-YAC-Y	Yeso
7	M-10-YAC-Y	DOLOMIA
8	M-12-YAC-Y	Yeso

Tabla 5.9: Rumen de los resultados petrográficos. Fuente: INGEMMET.

5.1.2.1. IDENTIFICACIÓN DE MINERALES Y TEXTURAS

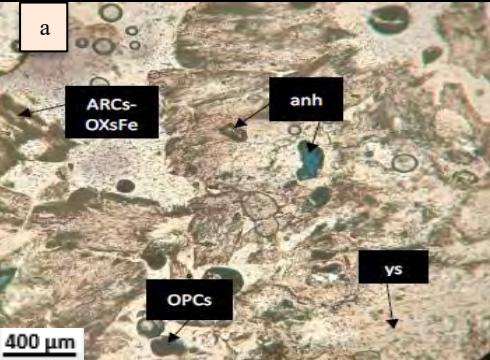
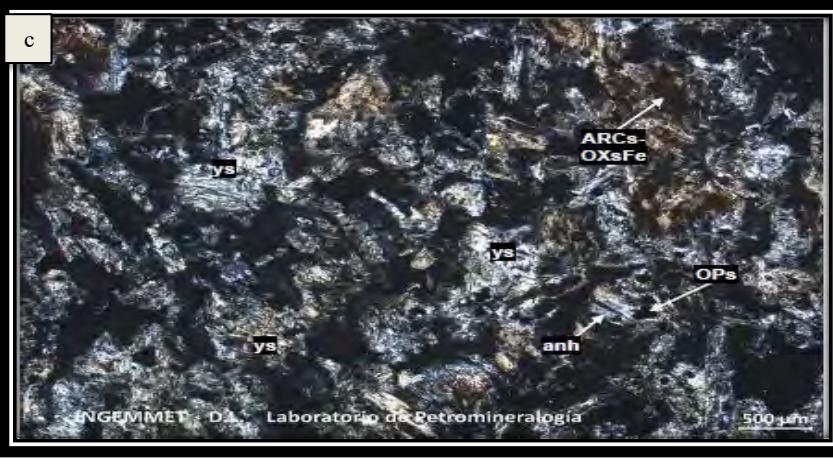
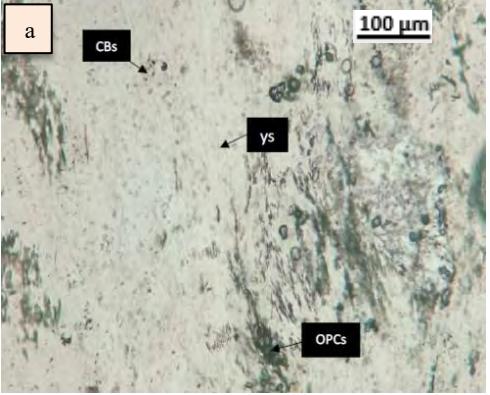
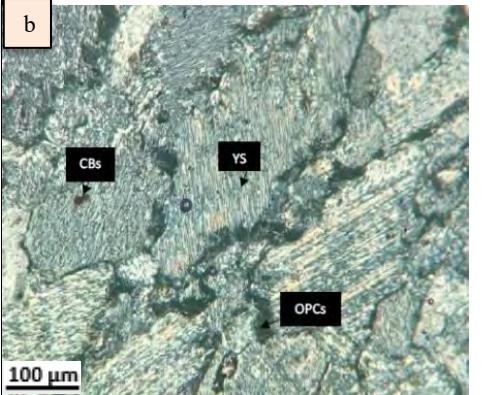
MUESTRA: M-02-YAC-Y – YESO SACAROIDEO	
Procedencia: Yoqueray – Ccapacmarca Coordenadas UTM: E=821085 N=8448589	
DESCRIPCION MICROSCOPICA	
 <p>a</p> <p>NP</p>	 <p>b</p> <p>NC</p>
 <p>c</p> <p>INGEMMET - Laboratorio de Petromineralogía</p> <p>500 μm</p>	
<p>La microfotografía (a) está nícoles paralelos (NP), se observa un color incoloro a pardo pálido, bajo relieve a moderado; también hay presencia de anh, anhidrita de color incoloro, relieve alto y clivaje mediano. En nícoles cruzados (NC) la microfotografía (b), presenta colores de interferencia de 1° orden (grises oscuros, gris claro, amarillo verdoso-tenue) con birrefringencia baja a moderada y extinción recta y la anhidrita presenta, colores de interferencias altas y birrefringencia elevadas de primer orden.</p> <p>Descripción petrográfica (c): Muestra conformada principalmente por agregados fibrosos de yeso: ys, anhidrita: anh, además se observa finas diseminaciones de minerales opacos: Ops y hay presencia de impregnaciones de arcilla y óxidos de hierro: (ARCs-OXsFe)</p>	

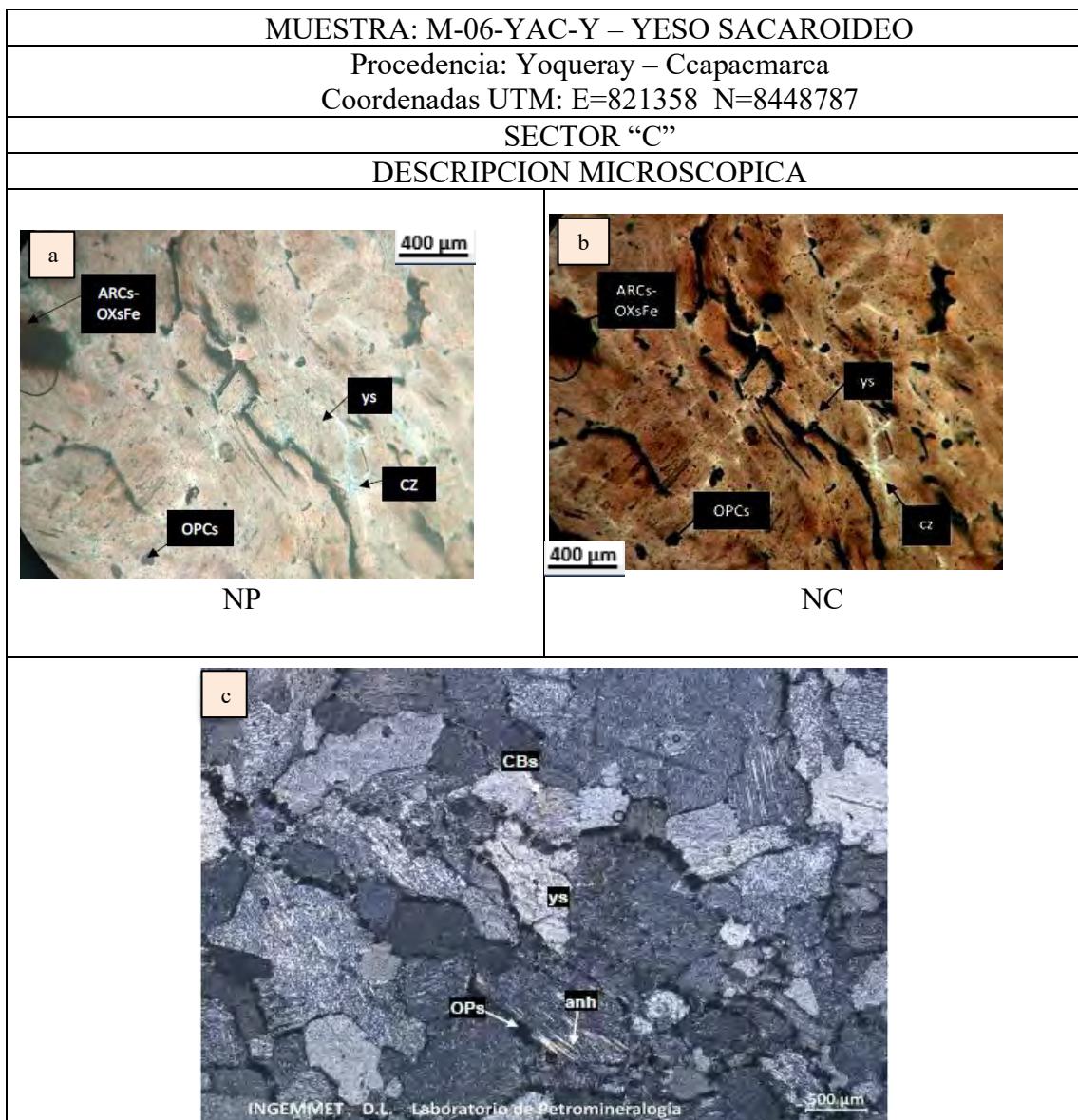
Tabla 5.10 Descripción microscópica de la muestra M-02-YAC-Y. Fuente: elaboración propia.

MUESTRA: M-05-YAC-Y – YESO SACAROIDEO	
Procedencia: Yoqueray – Ccapacmarca	
Coordenadas UTM: E=821221 N=8448580	
DESCRIPCION MICROSCOPICA	
NP	 <p>a CBS ys OPCs 100 μm</p>
NC	 <p>b CBS ys OPCs 100 μm</p>
 <p>c cz ARCs-OXsFe vs OPs 200 μm INGEMMET D.L. Laboratorio de Petromineralogía</p>	

(a). La microfotografía presenta un color incoloro a beige claro, tabular no tiene pleocroísmo y relieve bajo (b) está en nícoles cruzados, estas microfotografías presentan colores de interferencia moderado (grises, blancos, beige amarillentos) con birrefringencia baja a moderada, extinción recta todas estas propiedades son legítimas de los yesos sacaroideo. Hay presencia de diseminaciones de minerales opacos (Ops) en NC son negros oscuros y NP presenta colores grises oscuros y pardos opacos.

Descripción petrográfica (c). Microfotografía conformada principalmente por agregados fibrosos de yeso: ys, con presencia de cuarzo: cz y diseminaciones de minerales opacos: OPs, además por sectores presenta impregnaciones de arcillas y óxidos de hierro: ARCs-OXsFe.

Tabla 5.11: Descripción microscópica de la muestra M-05-YAC-Y. Fuente: elaboración propia.



La microfotografía (a) está en nícoles paralelos (NP), presenta un color amarillo pardo hábito tabular, clivaje bueno, no es pleocróico (b) está en nícoles cruzados (NC) presenta colores de interferencia moderado (amarillo pardo y rojo oxido) con birrefringencia baja a moderada y extinción recta. Hay presencia de cuarzo (NP: incoloro, relieve bajo y NC: extinción ondulante y colores de interferencias grises).

Descripción petrográfica: en la microfotografía (c) se aprecia principalmente agregados fibrosos de yeso: ys de textura granoblástica, con presencia de diseminaciones de minerales opacos: OPs, además se aprecian relictos de anhidrita: anh, así como parches de carbonatos: CBs.

Tabla 5.12: Descripción microscópica de la muestra M-06-YAC-Y. Fuente: elaboración propia

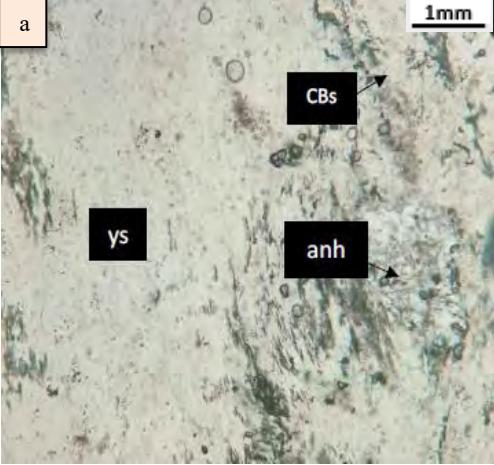
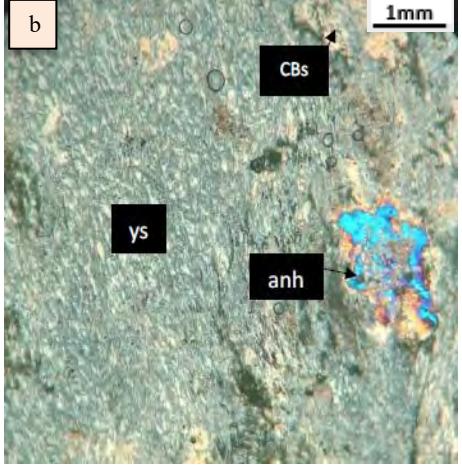
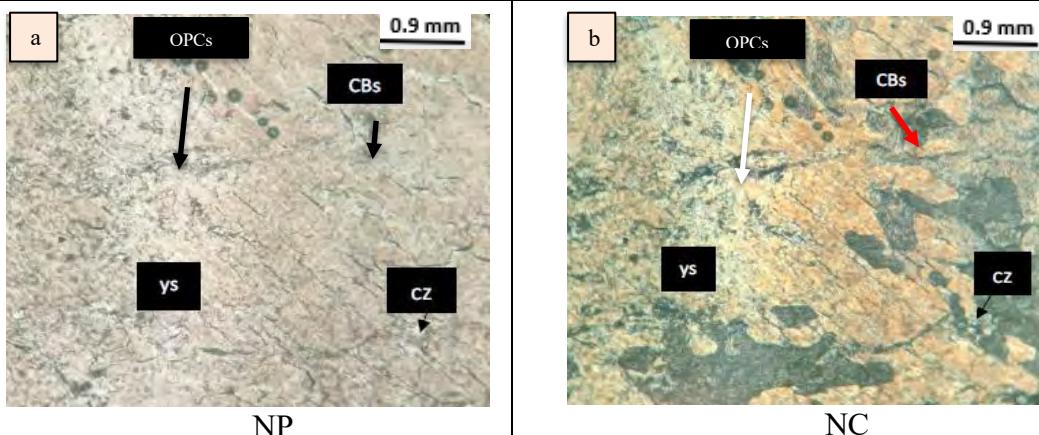
<p style="text-align: center;">MUESTRA: M-07-YAC-Y – YESO ESPEJUELO-SELENITA</p> <p style="text-align: center;">Procedencia: yoqueray – Ccapacmarca</p> <p style="text-align: center;">Coordenadas UTM: E=821112 N=8448508</p> <p style="text-align: center;">DESCRIPCION MICROSCOPICA</p>	
 <p>a</p> <p>NP</p>	 <p>b</p> <p>NC</p>
 <p>c</p> <p>INGEMMET D.L. Laboratorio de Petromineralogía</p> <p>1 mm</p>	
<p>La microfotografía (a) en nícoles paralelos (NP), presenta un color incoloro transparente a beige claro, hábito destellos, no es pleocróico clivaje buena. Hay presencia de anhidrita de color incoloro, relieve alto y clivaje mediano. En nícoles cruzados (NC), (b) presenta colores de interferencia moderado (beige pardo a anaranjado débil) extinción recta y la anhidrita presenta, colores de interferencias altas y birrefringencia elevadas de primer orden.</p> <p>Descripción petrográfica: la microfotografía (c) presenta una muestra de precipitación química formada por agregados de yeso: ys con inclusiones microgranulares de carbonatos: CBs. Se observan relictos de anhidrita: anh.</p>	

Tabla 5.13: Descripción microscópica de la muestra M-07-YAC-Y. Fuente: elaboración propia

MUESTRA: M-08-YAC-Y – YESO MASIVO RECRISTALIZADO

Procedencia: Yoqueray – Ccapacmarca
Coordenadas UTM: E=821101 N=8448524

DESCRIPCION MICROSCOPICA



La microfotografia (a) en nicoles paralelos (NP), presenta un color incoloro a pardo, anhedral y clivaje de buena a perfecta. Hay presencia de cuarzo de color incoloro, relieve bajo. En nicoles cruzados (NC), (b) presenta colores de interferencia moderado (amarillo crema), extinción oblicua y el cuarzo tiene colores de interferencia bajas y extinción ondulante.

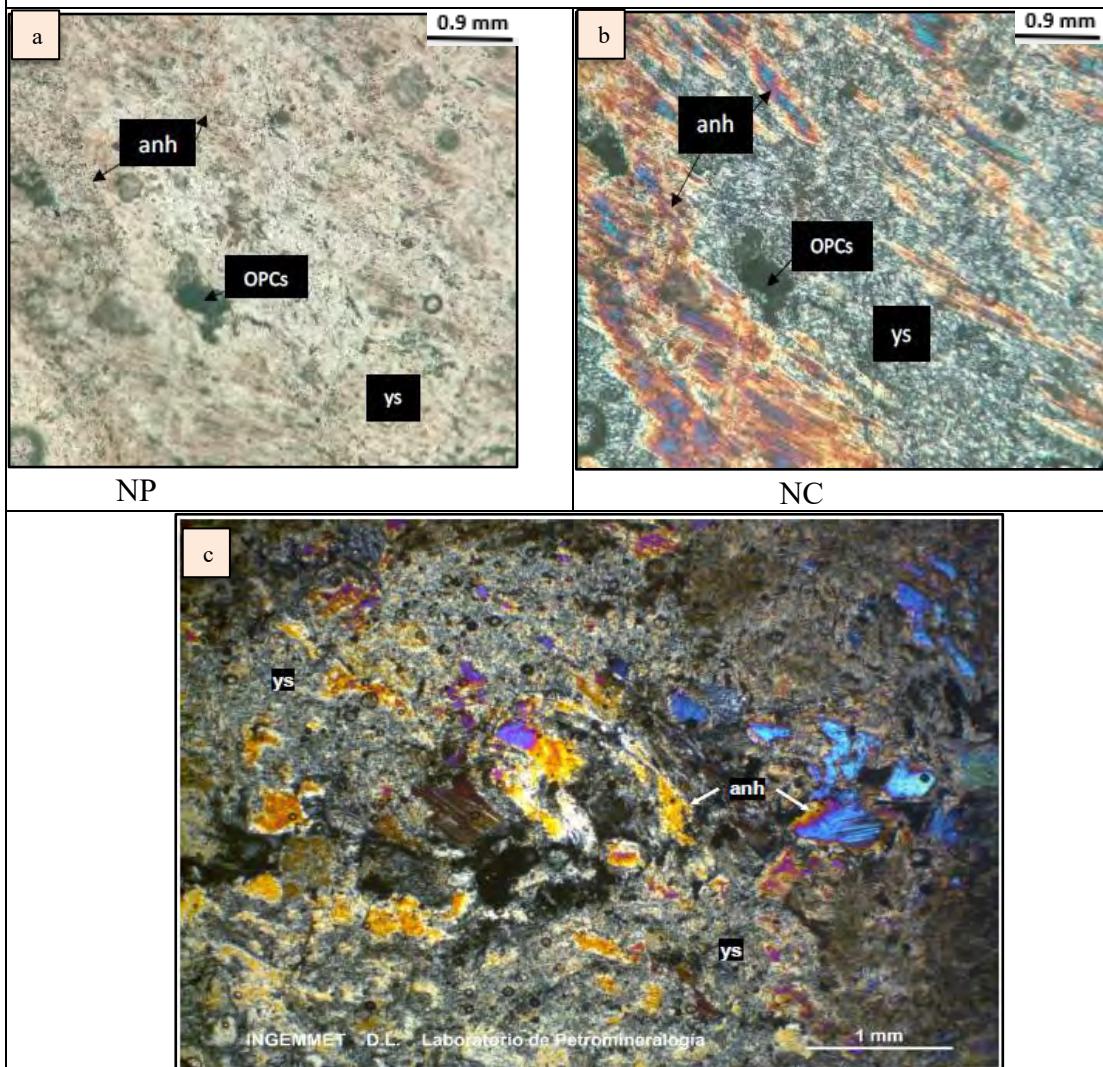
Descripción petrográfica: en la microfotografía (c) se observa una muestra de precipitación química formada principalmente por agregados fibrosos de yeso: ys. Se distinguen algunos granos de cuarzo: cz dispersos.

Tabla 5.14: Descripción microscópica de la muestra M-08-YAC-Y. Fuente: elaboración propia .

MUESTRA: M-09-YAC-Y – YESO FIBROSO

Procedencia: Yoqueray – Ccapacmarca
Coordenadas UTM: E=821061 N=8448512

DESCRIPCION MICRSOCOPICA



La microfotografia (a) en nicoles paralelos (NP), presenta un color incoloro a pardo, anhedral, no es pleocróico y clivaje bueno. Hay presencia de anhidrita de color incoloro, relieve alto y clivaje mediano. En nicoles cruzados (NC), (b) presenta colores de interferencia moderado (grises blanquecinos incoloros) extinción oblicua y la anhidrita colores de interferencias altas y birrefringencia elevadas de primer orden.

Descripción petrográfica (c). Muestra de yeso de precipitación química formada por agregados de anhidrita: anh parcialmente remplazados por yeso: ys.

Tabla 5.15: Descripción microscópica de la muestra M-09-YAC-Y. Fuente: elaboración propia.

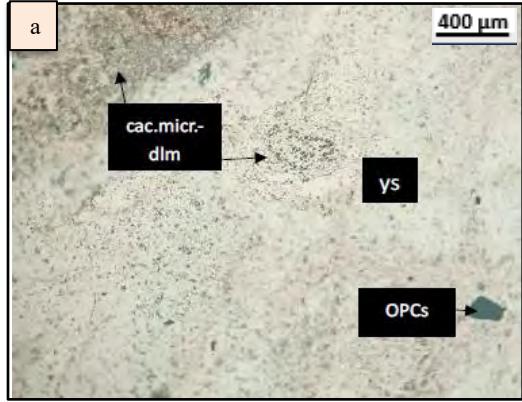
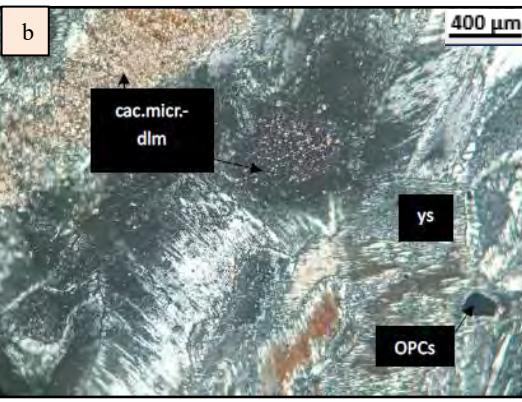
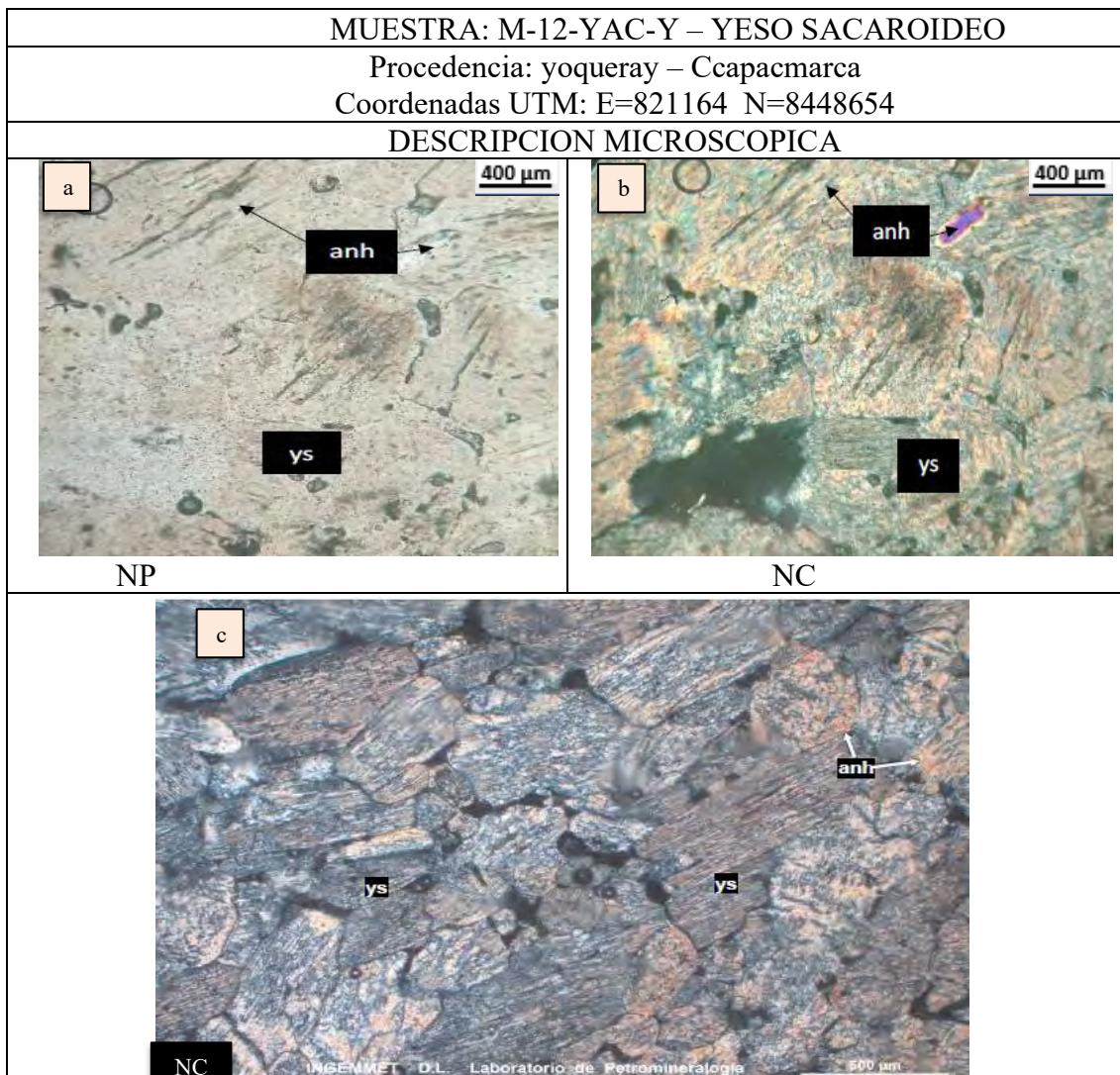
<p style="text-align: center;">MUESTRA: M-10-YAC-Y - DOLOMITA</p> <p style="text-align: center;">Procedencia: Yoqueray – Ccapacmarca</p> <p style="text-align: center;">Coordenadas UTM: E=821357 N=8448658</p>	
DESCRIPCION MICROSCOPICA	
 NP	 NC
 NC	
<p>INGEMMET D.L. Laboratorio de Petromineralogía</p>	
<p>La microfotografía (a) es dolomita. En nícoles paralelos (NP), presenta un color incoloro, anhedral, no es pleoclorico. Hay presencia de yeso selenítico, presenta un color incoloro transparente a claro, hábito tabular, no es pleoclorico. En nícoles cruzados (NC), (b) presenta birrefringencia moderada (pardos pálidos), extinción ondulante y colores de interferencias parcheadas en mosaicos y el yeso selenítico presenta colores de interferencia moderado (beige a incoloro blanquecino) y extinción recta.</p> <p>Descripción petrográfica (c). Roca sedimentaria carbonatada, de textura microcristalina, formada por agregados criptocristalinos a microcristalinos de calcita micrítica fuertemente recristalizada a dolomita microgranular: cac. micr-dlm, con escasa ocurrencia de granos de cuarzo: cz y minerales opacos alterados a óxidos de hierro: Ops (OXsFe). Así mismo, se encuentra cortada y reemplazada por agregados de yeso: ys.</p>	

Tabla 5.16: Descripción macroscópica de la muestra M-10-YAC-Y. Fuente: elaboración propia.



La microfotografía (a) en nicos paralelos (NP), se observa un color incoloro a beige claro bajo relieve medio, clivaje de mediana a buena, de hábito tabular. Hay presencia de anhidrita de color incoloro, hábito tabular, forma prismática y relieve bajo (b) nicos cruzados (NC), presenta colores de interferencia de primer orden (amarillo pardo a gris) con birrefringencia baja a moderada y extinción recta y anhidrita (anh) de color de interferencia de primer orden brillantes y extinción recta.

Descripción petrográfica (c).

Muestra de yeso de precipitación química de textura granoblastica, formada principalmente por agregados tabulares y fibrosos de yeso: ys. Por sectores se observa relictos de cristales tabulares de anhidrita: anh reemplazadas por yeso: ys.

Tabla 5.17: Descripción macroscópica de la muestra M-12-YAC-Y. Fuente: elaboración propia.

5.2. ANALISIS PARA EL OBJETIVO ESPECIFICO 2: DETERMINAR LA COMPOSICIÓN GEOQUIMICA DEL YESO DEL YACIMIENTO YOQUERAY Y ESTABLECER SU GRADO DE PUREZA EN COMPARACION DE LOS ESTANDARES DE LA NORMA ASTM C22/C22-00.

5.2.1. ANALISIS QUIMICO DE LAS MUESTRAS

MUESTRA: M-02-YAC-Y-	
YACIMIENTO YOQUERAY-CCAPACMARCA	
SECTOR B	
ANALISIS FISICOQUIMICO	
CONTENIDO DE ELEMENTOS QUIMICOS	PORCENTAJE DE CADA ELEMENTO
SO4 %	40.80
Ca%	29.60
Mg%	0.92
Fe%	1.20
Al%	0.97
K%	0.12
Si%	1.38
H20%	19.60

Tabla 5.18: *Resultados fisicoquímicos de la muestra M-02-YAC-Y.* Fuente: Unidad de prestación de servicios de análisis químico departamento académico de Química. .

MUESTRA: M- 07-YAC-Y

Sector B

YACIMIENTO YOQUERAY-CCAPACMARCA

ANALISIS FISICOQUIMICO	
CONTENIDO DE ELEMENTOS QUIMICOS	PORCENTAJE DE CADA ELEMENTO
SO4 %	48.67
Ca%	30.41
Mg%	1.82
Fe%	0.56
Al%	1.89
K%	0.22
Si%	0.26
H20%	18.65

Tabla 5.19: *Resultados fisicoquímicos de la muestra M-05-YAC-Y.* Fuente: Unidad de prestación de servicios de análisis químico departamento académico de Química-Unsaac.

MUESTRA: M- 06-YAC-Y

SECTOR C

YACIMIENTO YOQUERAY-CCAPACMARCA
ANALISIS FISICOQUIMICO

CONTENIDO DE ELEMENTOS QUIMICOS	PORCENTAJE DE CADA ELEMENTO
SO4 %	38.60
Ca%	28.80
Mg%	0.95
Fe%	2.90
Al%	1.58
K%	0.08
Si%	2.44
H20%	18.20

Tabla 5.20: *Resultados fisicoquímicos de la muestra M-06-YAC-Y.* Fuente: Unidad de prestación de servicios de análisis químico departamento académico de Química.

MUESTRA: M- 12-YAC-Y	
SECTOR B	
YACIMIENTO YOQUERAY-CCAPACMARCA	
ANALISIS FISICOQUIMICO	
SECTOR “B”	
CONTENIDO DE	
ELEMENTOS	PORCENTAJE DE CADA
QUIMICOS	ELEMENTO
SO4 %	41.40
Ca%	30.06
Mg%	0.88
Fe%	1.75
Al%	1.14
K%	0.05
Si%	1.29
H20%	19.90

Tabla 5.21: *Resultados fisicoquímicos de la muestra M-12-YAC-Y.* Fuente: Unidad de prestación de servicios de análisis químico departamento académico de Química.

5.2.2. RESULTADOS DE DIFRACCION DE RAYOS X

CODIGO DE LA MUESTRA DEL SECTOR “B”		M-05-YAC-Y	
Nº	MINERAL	FORMULA	%
1	Yeso	(CaSO ₄ ·2H ₂ O)	99.00
2	Cuarzo	SiO ₂	1.00
Valor promedio del background		40	
Nº de cuentas del pico máximo		14908	
Error estadístico de conteo		1.16%	

Tabla 5.22: Resultados de difracción de rayos x de la M-05-YAC-Y. Fuente: INGEMMET.

CODIGO DE LA MUESTRA DEL SECTOR “A”		M-09-YAC-Y	
Nº	MINERAL	FORMULA	%
1	Yeso	(CaSO ₄ ·2H ₂ O)	84.85
2	Cuarzo	SiO ₂	4.04
3	Calcita	Ca(CO ₃)	5.05
4	Clinocloro	Mg ₅ Al(Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH)8	3.03
5	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH)4	2.02
6	Anhidrita	CaSO ₄	1.01
Valor promedio del background		40	
Nº de cuentas del pico máximo		5224	
Error estadístico de conteo		2.71%	

Tabla 5.23: Resultados de difracción de rayos x de la M-09-YAC-Y. Fuente: INGEMMET.

CÓDIGO DE LA MUESTRA DEL SECTOR "C"		M-10-YAC-Y	
Nº	MINERAL	FORMULA	%
1	Dolomita	(CaMg(CO ₃) ₂	57.14
2	Yeso	Ca (SO ₄) (H ₂ O) ₂	37.14
3	Cuarzo	SiO ₂	2.86
4	Clinocloro	Mg ₅ Al(Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	1.71
5	Rutilo	TiO ₂	1.15
Valor promedio del background		40	
Nº de cuentas del pico máximo		4230	
Error estadístico de conteo		3.01%	

Tabla 5.24: Resultados de difracción de rayos x de la M-10-YAC-Y. Fuente: INGEMMET.

5.2.3. RESULTADO DE ENSAYO DE METALES BASE POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X².

Los resultados de ensayo de metales base por fluorescencia de rayos X² muestran una notable variabilidad en la pureza del yeso del yacimiento Yoqueray. La muestra M-05-YAC-Y presenta valores de CaO y SO₃ de yeso puro, confirmando su alta calidad y escasas impurezas. En cambio, las muestras M-09-YAC-Y y M-10-YAC-Y exhiben menores concentraciones de estos componentes esenciales y mayores contenidos de SiO₂, Al₂O₃ y MgO, lo que refleja una mayor mezcla con arcillas y minerales acompañantes. La muestra M-10-YAC-Y destaca por su alto MgO y elevada pérdida por ignición, lo que evidencia un yeso de baja pureza afectado por procesos diagenéticos. En conjunto, los datos indican una distribución heterogénea de calidad dentro del yacimiento, lo cual es crucial para su evaluación y explotación.

ELEMENTOS		Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	SO ₃	SiO ₂	LOI
Unidades		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Nº	Código - LDM	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05	0.01	0.05	0.01
1	M-05-YAC-Y Sector “B”	<0.01	32.813	<0.01	<0.05	<0.05	46.14	0.15	21.0
2	M-09-YAC-Y Sector “B”	2.09	28.890	0.73	0.57	2.01	40.20	7.35	20.4
3	M-10-YAC-Y Sector “C”	1.50	28.872	0.80	0.60	9.62	22.71	6.16	30.0

Tabla 5.25: Resultados de las tres muestras por fluorescencia de rayos X². Fuente:

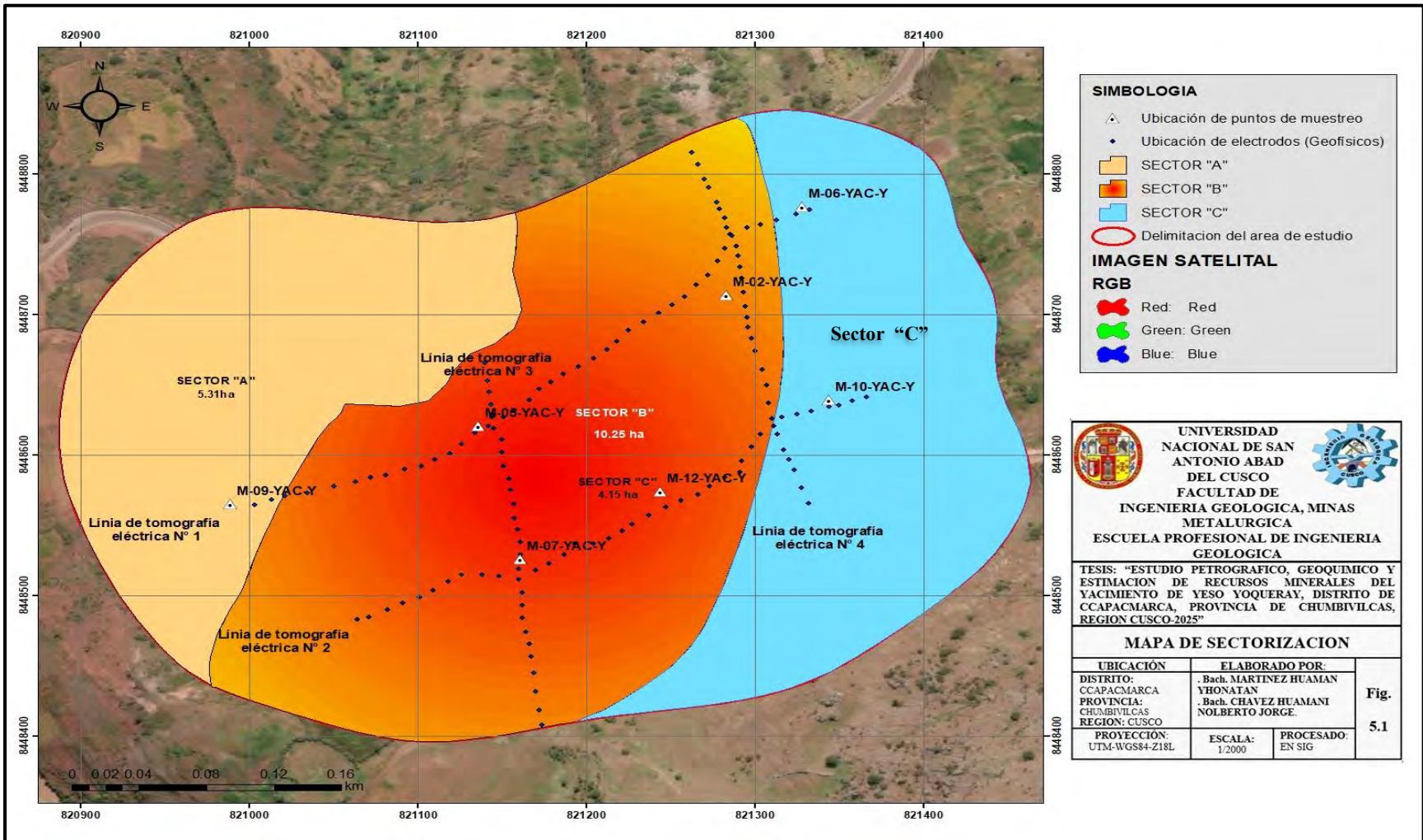
INGEMMET.

5.2.1. RESULTADOS DE LA SECTORIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio fue sectorizada en tres unidades principales (Sectores A, B y C) considerando criterios geológicos, estructurales, mineralógicos, petrográficos, geoquímicos y geofísicos, con el fin de diferenciar áreas con distinta calidad yesífera y potencial económico. La delimitación espacial se apoyó en la interpretación de las líneas de tomografía de resistividad eléctrica (TRE), la posición estratigráfica, la relación con las formaciones geológicas aflorantes y la caracterización analítica de las muestras recolectadas.

Figura 5.1

Mapa de sectorización



Nota. El mapa de sectorización fue elaborado a base de muestras de campo, análisis químico e identificación en microscopio de polarización. Fuente: Elaboración propia.

Sector A

El Sector A se ubica en la porción noroccidental (NW) del área evaluada y se encuentra en contacto directo con las rocas sedimentarias de la Formación Murco. Este sector representa una zona de transición entre la periferia del yacimiento y el núcleo mineralizado. El análisis químico mediante difracción de rayos X indica un contenido de 84.85 % de yeso, lo que evidencia la presencia de un yeso de calidad media con moderada pureza mineral. Si bien el yeso presente en el Sector A posee características favorables, su extensión y grado de pureza muestran un nivel de interés económico inferior al del Sector B.

Sector B

El Sector B constituye el núcleo central y la zona de mayor interés económico del área de estudio. Este sector concentra las diferentes resistividades del yeso en las tomografías eléctricas, lo que sugiere la presencia de un cuerpo yesífero masivo, continuo y con menor heterogeneidad interna.

Los ensayos fisicoquímicos realizados a tres muestras indican un contenido promedio de 93.03 % de sulfato de calcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Complementariamente, el análisis de difracción de rayos X reporta un contenido de 99 % de yeso y el ensayo de metales base por fluorescencia de rayos X² nos indica un total de contenido de 99.95% yeso, confirmando la presencia de un mineral de alta pureza. Estos resultados permiten reconocer al Sector B como la zona óptima para una futura explotación minera.

Sector C

El Sector C se localiza hacia el nororiente (NE) del área de estudio y se encuentra en contacto con unidades del miembro inferior de la Formación Arcurquina. Este sector presenta características mineralógicas más heterogéneas en comparación con los otros dos sectores.

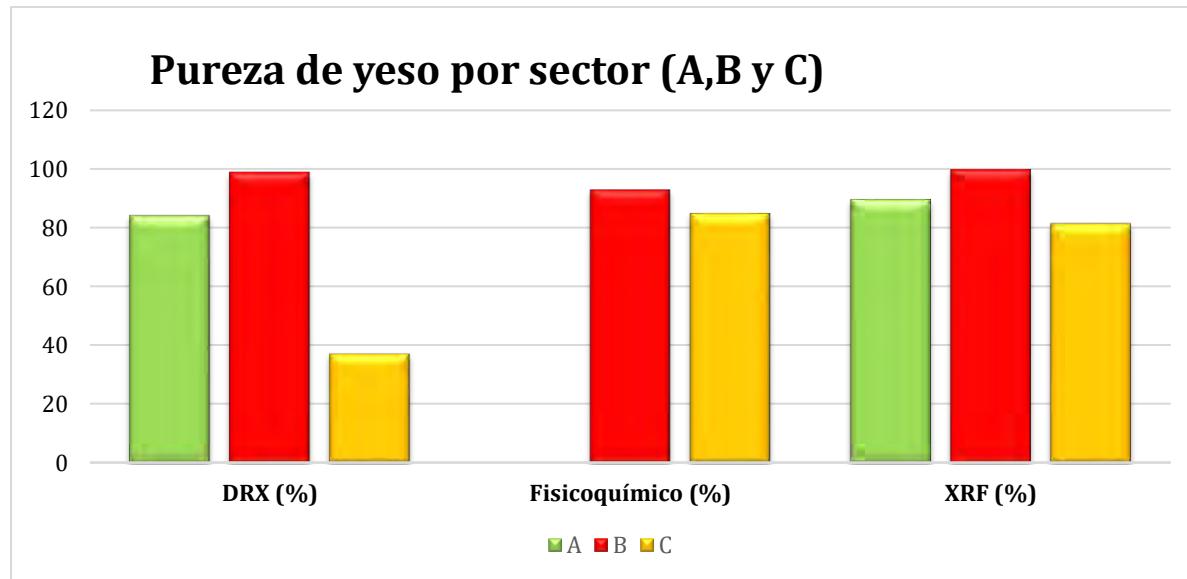
El ensayo fisicoquímico realizado indica un contenido de 85 % de sulfato de calcio dihidratado, correspondiente a un yeso de calidad media. No obstante, el análisis de difracción de rayos X revela un contenido significativamente menor de yeso (37.14 %), evidenciando la presencia de componentes secundarios y mayor mezcla con materiales sedimentarios propios de la Formación Arcurquina. Por lo tanto, se toma en cuenta el análisis fisicoquímico de la muestra

Sector	DRX (%)	Fisicoquímico (%)	XRF (%)
A	84	-	89.49
B	99	93.03	99.85
C	37.14	85	81.58

Tabla 5.26: resumen de los análisis químicos de la pureza de yeso por sectores. Fuente: elaboración propia

Figura 5.2

Gráfica de la pureza de yeso por sector



Nota. En grafica se estima una sectorización que constituye una base técnica esencial para la estimación de recursos del yacimiento y la planificación de futuras labores de explotación. Fuente elaboración propia.

5.3. CUANTIFICAR LOS RECURSOS MINERALES DE YESO DEL YACIMIENTO YOQUERAY MEDIANTE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y DE MODELAMIENTO PARA ESTIMAR SU VOLUMEN Y TONELAJE APROVECHABLE.

5.3.1. PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE PERFILES

5.3.1.1. INTERPRETACION DE SECCIONES GEOFISICAS EN 2D

Para la caracterización geofísica del yacimiento de yeso Yoqueray se adquirieron cuatro secciones geofísicas en dos dimensiones (2D), consistentes en dos perfiles de 300 m y dos de 200 m de longitud, orientados según la geometría del depósito evaporítico, para el modelamiento de las secciones se utilizó el software Res2DINV. Cada sección geofísica 2D se define como un modelo invertido de resistividad que representa la variación del subsuelo en función de la distancia y la profundidad, permitiendo identificar contrastes eléctricos asociados a los diferentes tipos de litologías presentes. Estas cuatro secciones constituyen un elemento metodológico esencial para delimitar el cuerpo yesífero, estimar espesores, reconocer heterogeneidades internas, interpretar estructuras locales y apoyar la estimación de recursos minerales.

Los colores de resistividad del sulfato de calcio dihidratado en las secciones geofísicas corresponden a una representación cromática de los valores resistivos obtenidos en la inversión eléctrica. En términos generales, el yeso se manifiesta con colores medios a altos en la escala (amarillos, naranjas y rojos), que representan resistividades entre 200 y más de 1000 Ωm , asociadas a yeso recristalizado, selenita o yeso masivo. Los colores bajos (azules y verdes) representan resistividades menores a 200 Ωm y están vinculados a yeso húmedo, yeso con arcillas, zonas fracturadas o materiales conductivos adyacentes, se muestran resistividades del yeso en la tabla 5.27 pag. 124.

COLOR	RESISTIVIDAD TÍPICA	INTERPRETACIÓN	AUTORES QUE LO RESPALDAN
Verde Amarillo	20 a 200 Ωm	Yeso masivo, yeso con algo de humedad o impurezas	Guinea et al. (2010): yesos con lutitas o humedad bajan a 20–150 Ωm. Benjumea et al. (2012): yesos bandeados o parcialmente impuros = 50 a 200 Ωm.
Amarillo y Naranja	200 a 400 Ωm	Yeso más compacto y de mayor pureza	Molina et al. (2019): yesos con alta pureza alcanzan 200–400 Ωm cuando hay baja humedad. Gutiérrez (2016) describe yesos alabastrinos con estos rangos.
Rojo (intenso)	400 a 800 Ωm	Yeso muy puro (90–98%), compacto, cristalizado o seco	Guinea et al., 2010: yeso puro aproximadamente de 800 Ωm. Zhou et al., 2019: en laboratorio yeso seco puede superar 400–900 Ωm.
Azul Celeste	<10 a 15	Suelos saturados, arcillas, humedad	Palacky (1987): arcillas siempre < 10–20 Ωm. Reynolds (2011): materiales saturados 1–20 Ωm.
Rosa Blanco (muy alto)	> 1000 Ωm	Cavidades, rocas duras (caliza, dolomía), aire	Reynolds (2011): cavidades y aire > 1000 Ωm. Zhou et al. (2019): yeso seco en laboratorio puede alcanzar miles de Ωm, pero es menos común en campo.

Tabla 5.27: Tabla de resistividad del yeso y autores que lo respaldan. Fuente: Elaboración

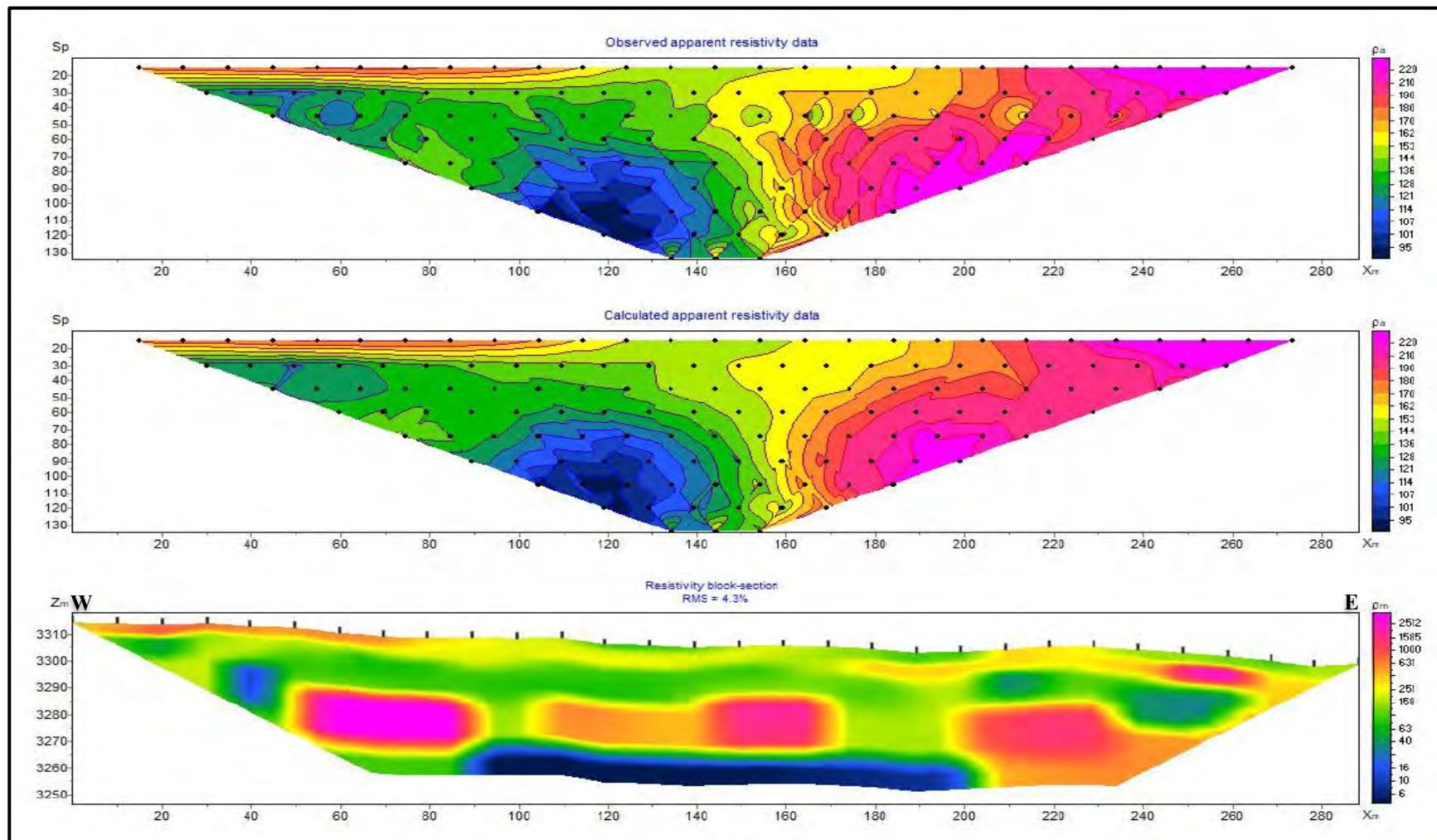
propia.

LÍNEA DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA N°1

La figura 5.1 muestra dos secciones principales: en la parte superior, los datos de resistividad aparente calculada, y en la parte inferior, el modelo de resistividad invertido, que representa la distribución de resistividades verdaderas en el subsuelo. El modelo presenta un error RMS del 4.3%, lo que indica un ajuste confiable entre los datos medidos y el modelo obtenido. Con base en la escala de resistividades y la respuesta eléctrica típica de materiales sedimentarios y evaporíticos, se identificaron las siguientes unidades litológicas.

Figura 5.3

Datos de la tomografía eléctrica N°1 en 2D



Nota. Los datos fueron procesados en el Software RES2DINV. En la figura se muestran tres secciones de resistividad: dos secciones de resistividad aparente (observada y calculada) y una sección de bloque de resistividad. Fuente: Elaboración propia.

Rango de resistividad	Colores típicos en modelos	Interpretación del yeso
>0000	Rosa claro-fucsia	Dolomita
750 a 2000 Ωm	Rojo intenso	Yeso muy puro, efectivamente en la zona de estudio revela la muestra M-05-YAC-Y con un contenido de 99% de sulfato de calcio dihidratado.
260 a 750 Ωm	Naranja	Yeso seco de buena pureza, la muestra M-07-YAC-Y revela con un contenido de 97.73% de sulfato de calcio dihidratado.
30 a 260 Ωm	Verde-amarillo	Yeso de pureza media; parcialmente seco.
16 a 25 Ωm	Celeste / Azul claro	Yeso alterado con presencia de arcillas a alta porosidad secundaria.
< 15 Ωm	Azul oscuro	Suelos saturados con presencia de agua, limos arcillosos.

Tabla 5.28: interpretación de las resistividades del yeso de la tomografía eléctrica N°1 en 2D.

Fuente: Elaboración propia.

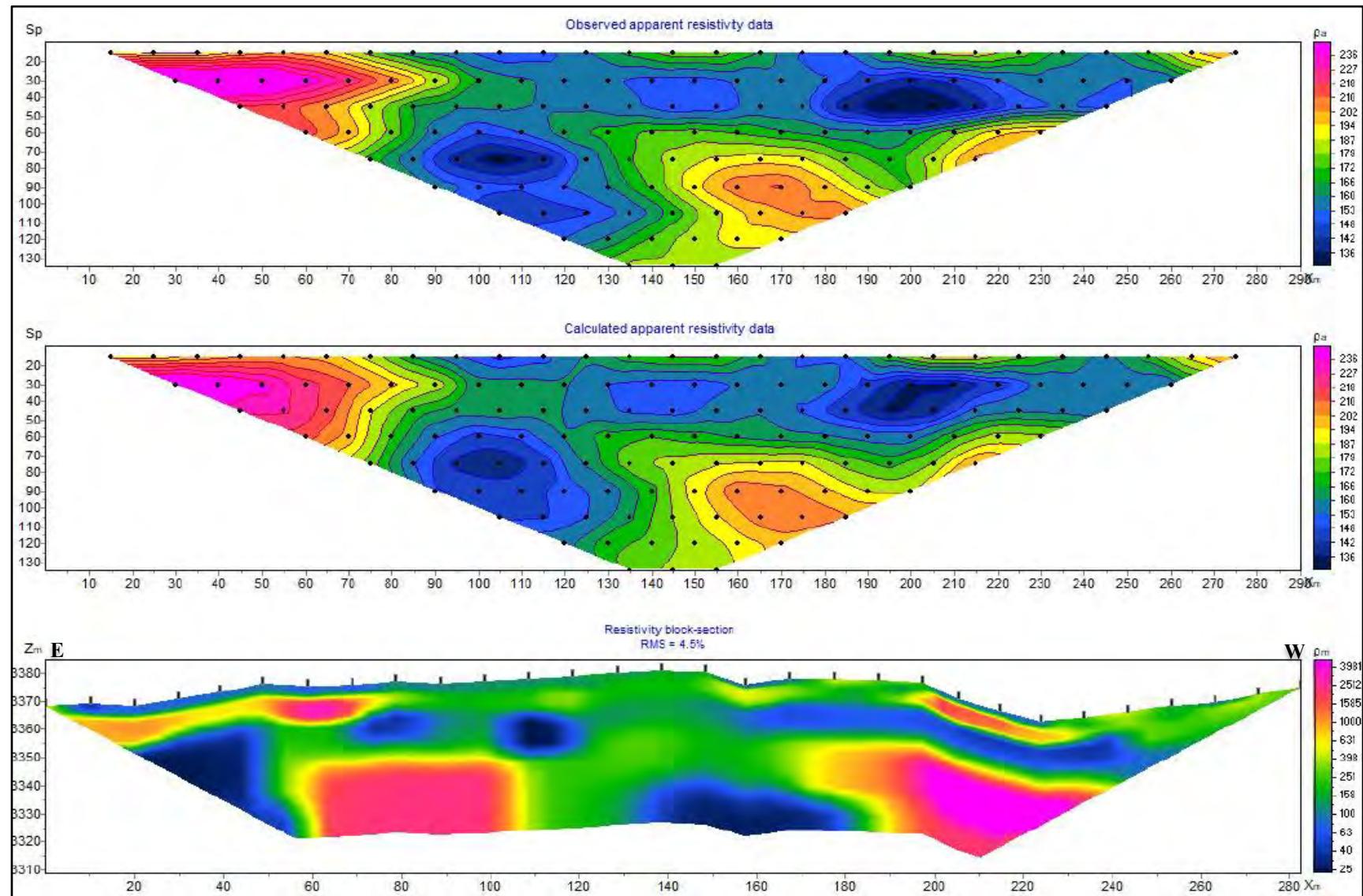
LÍNEA DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA N°2

Rango de resistividad	Colores típicos en modelos	Interpretación del yeso
>2500 Ωm	Rosa claro-magenta	La muestra M-10-YAC-Y presenta un contenido 57.14 % de dolomita y un contenido de yeso de 37.14%
1300 a 2500 Ωm	Rojo intenso	La muestra M-12-YAC-Y presenta un contenido 91.36% de yeso
700 a 1300 $\Omega\cdot\text{m}$	Naranja	Yeso seco de buena pureza
100 a 700 Ωm	Amarillo / Verde-amarillo	Estos yesos son de pureza media; parcialmente seco.
< 100 Ωm	Azul oscuro, celeste y azul claro	Son característicos de suelos finos, como arcillosos, limosos y con alto contenido de agua

Tabla 5.29: interpretación de las resistividades del yeso de la tomografía eléctrica N°2 en 2D, la cual se puede apreciar en la figura 5.2
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4

Datos de la tomografía eléctrica N°2 en 2D



Nota. En la imagen se muestra la resistividad de los yesos de la tomografía eléctrica N°2 en 2D. Fuente: Elaboración propia.

LINEA DE TOMOGRAFIA ELECTRICA N°3

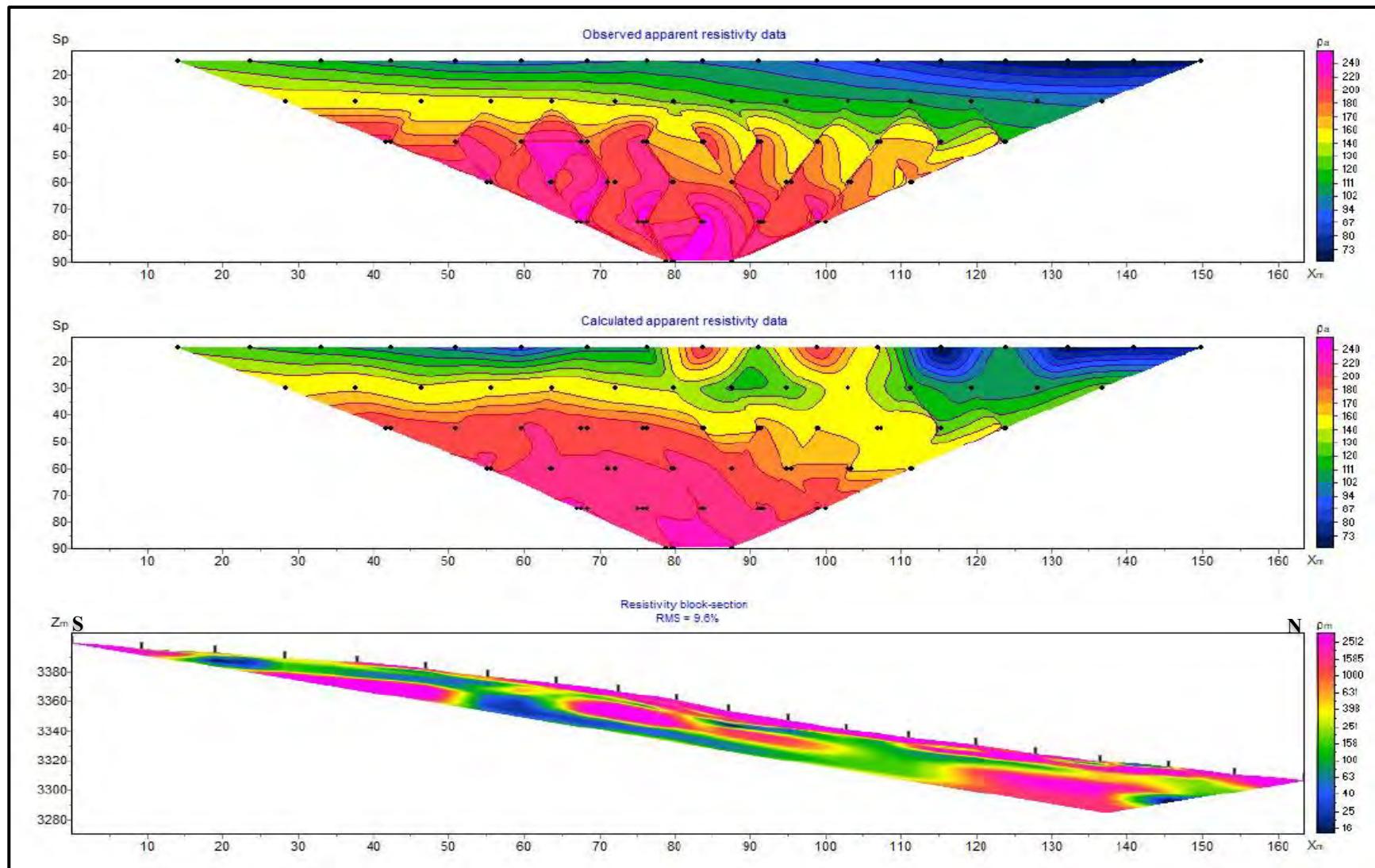
El presente perfil corresponde a una sección obtenida mediante tomografía eléctrica de resistividad, aplicada en un yacimiento de yeso con el propósito de caracterizar la geometría, continuidad y calidad del depósito. La Figura 5.3 se compone de tres secciones: resistividad aparente observada, resistividad aparente calculada y el modelo invertido de resistividad real (bloques), para la interpretación de las resistividades del yeso ver la tabla (5.29).

Rango de resistividad	Colores típicos en modelos	Interpretación del yeso
>1500 Ωm	Fucsia a magenta	Anhidrita o yeso extremadamente puro y dolomita
900 a 1500 Ωm	Rojo intenso	Yeso muy puro. Este tipo de yeso valida la muestra M-07-YAC-Y con un contenido de 97.73% de sulfato de calcio dihidratado.
600 a 900 Ωm	Naranja	Yeso seco de buena pureza
60 a 600 Ωm	Amarillo / Verde-amarillo	Yeso de pureza media; parcialmente seco.
< 60 Ωm	Azul oscuro, celeste y azul claro	Son característicos de suelos finos, como; arcillosos, limosos y con alto contenido de agua

Tabla 5.30: interpretación de las resistividades del yeso de la tomografía eléctrica N°3 en 2D, la cual se puede apreciar en la figura 5.3. Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.5

Datos de la tomografía eléctrica N:3 en 2D



Nota. Escala de colores de resistividad de los yesos. Fuente: Elaboración propia.

LÍNEA DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA N°4

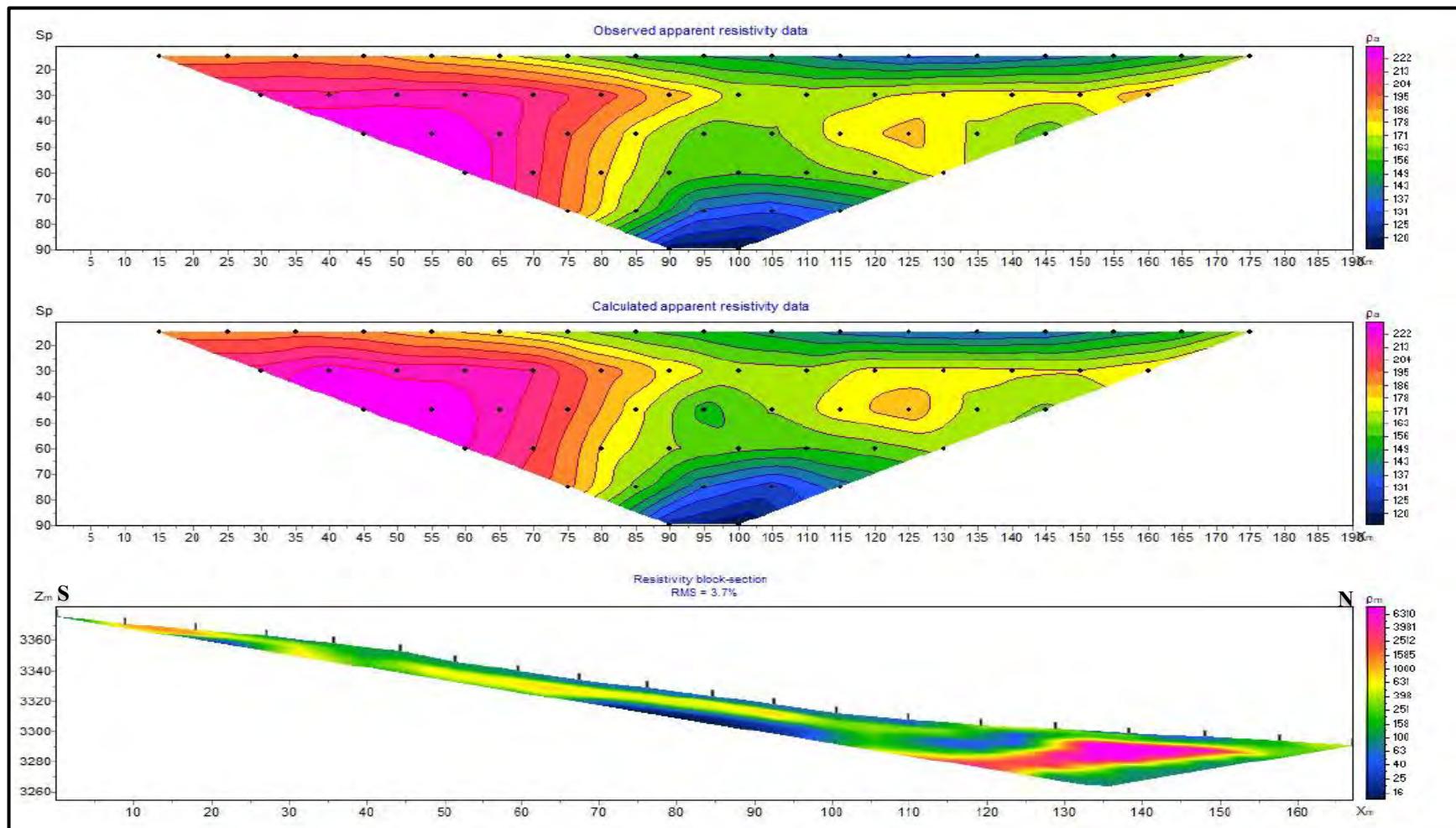
La figura 5.4 muestra los análisis de tomografía eléctrica de Sur a Norte. El modelo presenta un error RMS del 3.7%, lo que indica un ajuste confiable entre los datos medidos y el modelo obtenido para la interpretación de las resistividades de los diferentes tipos de materiales que se encuentran en la zona de estudio ver la tabla (5.30).

Rango de resistividad	Colores típicos en modelos	Interpretación del yeso
>3000 Ωm	Fucsia a magenta	Anhidrita o yeso extremadamente puro y dolomita
1500 a 3000 Ωm	Rojo intenso	Yeso muy puro. Este tipo de yeso valida la muestra M-02-YAC-Y con un contenido de 90% de sulfato de calcio dihidratado
1000 a 1500 Ωm	Naranja	Yeso seco de buena pureza
95 a 1000 Ωm	Verde / Verde claro-amarillo	Yeso de pureza media; parcialmente seco.
< 95 Ωm	Azul oscuro, celeste y azul claro	Son característicos de suelos finos, como; arcillosos, limosos y con alto contenido de agua

Tabla 5.31: interpretación de las resistividades del yeso de la tomografía eléctrica N°4 en 2D, la cual se puede apreciar en la figura 5.4. Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.6

Datos de la tomografía eléctrica N:4 en 2D.



Nota. La sección inferior, representa la distribución de resistividad eléctrica en profundidad, obtenida mediante inversión 2D. Fuente:
Elaboración propia.

5.3.2. RESULTADO DE ESTIMACIÓN DEL RECURSO MINERAL DE YESO

La estimación de recursos del yacimiento de yeso Yoqueray se limitó al sector “B” por su mayor pureza mineralógica y volumen explotable, aplicándose exclusivamente la tomografía de resistividad eléctrica (TRE) para caracterizar la continuidad del cuerpo yesífero e integrar dicha información al cálculo del volumen explotable y para ello se aplica la siguiente fórmula:

$$V (m^3) = L(m) \times A(m) \times E (m)$$

a. Dimensiones del cuerpo mineralizado

Largo: 260 m

Ancho: 120 m

Espesor promedio: 40 m

Volumen estimado:

$$V = 260m \times 120m \times 40m = 1,248,000 m^3$$

b. Densidad del yeso

$$\rho = 2.3 \text{ t/m}^3$$

c. Ley o pureza del yeso

$$\text{Ley} = 96.06\% = 0.96$$

2. Fórmula general de estimación

$$\text{Recurso (t)} = V (m^3) \times \rho (t/m^3) \times \text{Ley}$$

Reemplazando en la formula:

- $1,280,000 \times 2.3 \times 0.96 (t)$
- $2,755,584(t)$

Recurso estimado del yacimiento Yoqueray

- Recurso estimado aprox.= **2,755,584 toneladas de mineral yeso**

6. CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

DISCUSIONES

➤ En esta investigación, al Caracterizar petrográficamente el yeso del yacimiento Yoqueray mediante el análisis microscópico de secciones, de 8 muestras de mano se observaron con microscopio estereoscópico habiendo identificado que presentan texturas sacaroidea, hojosa, fibrosa, cristalizada y una estructura bandeada; vistas al microscopio petrográfico, se describieron texturas del yeso como la fibrosa, de hábito tabular, de formas anhedrales a subhedrales y agregados de anhidrita, mineralógicamente se ha identificado pequeñas cantidades de carbonatos (calcita-dolomita), cuarzo (cz), minerales opacos (OPs), arcillas (ARCs), óxidos de hierro (OXsFe). De estos resultados podemos interpretar que las muestras son predominantemente evaporítica, compuesta principalmente por yeso, la texturas fibrosas y hábito tabular son indicativos de precipitación sinégena a diagénesis temprana en un ambiente de alta evaporación y sobresaturación iónica. La presencia de agregados de anhidrita sugiere procesos de deshidratación diagenética o etapas avanzadas de evaporación. En menor proporción, se identificaron carbonatos (calcita y dolomita), posiblemente asociados a precipitación química o reemplazo, y cuarzo, como componente detrítico de aporte externo. La presencia de minerales opacos, óxidos de hierro y arcillas indica una alteración supergénica posterior, vinculada a procesos de meteorización en condiciones cálidas y húmedas, con circulación de aguas meteóricas. Con estos resultados validamos nuestra hipótesis planteada que fueron la presencia de texturas que varían desde la Bandeada, sacaroidea, fibrosa y hojosa, mineralógicamente presenta principalmente yeso, anhidrita, dolomita con

presencia de pocos contaminantes como la arcilla, óxidos de hierro y cuarzo. Así mismo respaldamos nuestra hipótesis con los resultados que obtuvo (Warren, 2006; Ortí et al., 2014) quienes en su investigación concluyen que las texturas bandeadas, fibrosas y agregados de anhidrita identificadas en los yesos indican una cristalización sucesiva bajo condiciones de precipitación evaporítica. Este proceso generalmente ocurre en ambientes marinos someros o lagunares restringidos, donde la evaporación intensa favorece a la sobresaturación y precipitación secuencial de sulfatos cárnicos. En tal sentido el predominio del yeso identificadas en las secciones delgadas del yacimiento de Yoqueray evidencian un ambiente de fuerte control evaporítico, por lo tanto, los procesos de precipitación química jugaron un papel muy importante en la formación de la roca. La presencia de texturas identificadas en la investigación sugiere una cristalización sucesiva de sulfato de calcio dihidratado bajo condiciones de sobresaturación progresiva en ambiente marino somero.

- Para el segundo objetivo planteado, determinar la composición geoquímica del yeso del yacimiento Yoqueray y establecer su grado de pureza en comparación con los estándares de la norma ASTM C22/C22-00, el área de estudio se divide en tres sectores (A,B,C): en el sector “A” se realizó un análisis de difracción de rayos x con contenido de yeso de 84%; para el sector “B” se realizó 3 análisis fisicoquímicos con promedio 93.03% de sulfato de calcio dihidratado y una ensayo de difracción de rayos X con 99% de yeso y para el sector “C” se realizó un análisis fisicoquímico con un contenido de 85% de sulfato de calcio dihidratado y un ensayo de difracción de rayos X con 37.14% de yeso. De estos resultados podemos interpretar que el sector “B” del yacimiento Yoqueray contiene un yeso de alta pureza. Desde una perspectiva

geoquímica, la notable pureza encontrada en las muestras (hasta 99% de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sugiere un entorno de deposición química regulada por la evaporación y el exceso de los iones sulfato y calcio en la disolución. Estas concentraciones son típicas de ambientes marinos poco profundos o lagunares con limitaciones, donde los altos índices de evaporación provocan la formación sucesiva de minerales evaporíticos, como el yeso y la anhidrita (Warren, 2006; Ortí et al., 2014). En tal sentido bajo lo referido anteriormente y analizar estos resultados, confirmamos que los análisis geoquímicos y fisicoquímicos obtenidos en el yacimiento de Yoqueray indican un sistema de evaporación bien estructurado, que se distingue por la alta pureza mineral del yeso. Según (Maben Eco Materials Co., Ltd. s.f.) reporta que el yeso natural puede tener purezas entre 90.0% y 97.0% en productos destinados en aplicaciones industriales y según Ingeominas (2009) señala que el límite mínimo para considerar un yeso de alta pureza es del 85 – 90% de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, dependiendo del contenido de anhidrita y carbonatos. Esta característica sugiere que los mecanismos de precipitación fueron impulsados por la sobresaturación de iones sulfato y calcio en soluciones con alta concentración, lo que facilitó la formación de sulfato de calcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) como la fase dominante. Desde un enfoque geoquímico, la calidad del yeso y la baja cantidad de impurezas metálicas señalan un entorno de deposición equilibrado, con escasa influencia de partículas detríticas o siliciclásticas, típico de cuencas marinas y lagunares poco profundas con un fuerte control por evaporación.

➤ Para el tercer objetivo planteado, cuantificar los recursos minerales de yeso del yacimiento Yoqueray mediante métodos geofísicos y de modelamiento para estimar su volumen y tonelaje aprovechable se realizaron 4 líneas tomográficas de resistividad eléctrica con diferentes longitudes y profundidades. Se realizaron dos líneas de 300 metros y además dos líneas de 200 metros alcanzando de hasta 100 y 70 metros de profundidad. Los resultados nos muestran una visión de la estructura geológica interna del área de estudio, calculándose un volumen aproximado de 1,280,000 m³, una densidad promedio de 2.3 t/m³ y una ley de 96% de pureza, realizando el cálculo se estimó un recurso de 2,755,584 toneladas de mineral de yeso y se determinó la vida útil del potencial del yacimiento de Yoqueray considerando distintas formas de producción y factores de recuperación. La tomografía eléctrica de resistividad proporcionó una representación precisa de la formación geológica bajo la superficie, se identificaron cuerpos de yeso masivo con resistividades características entre 100 y 250 Ωm, presentes de manera consistente en los cuatro perfiles 2D y el modelo 3D. Estas zonas presentan forma subhorizontal, continuidad lateral y espesores de hasta 30 metros, lo cual es característico de un depósito evaporítico consolidado. El modelo 3D de resistividad confirmó la presencia de un cuerpo tabular continuo, interpretado como yeso de alta pureza, con una distribución central predominante en las secciones visualizadas. La zona encajonante se compone principalmente de materiales de baja resistividad (<30 Ωm), como arcillas y suelos saturados, así como unidades carbonatadas más resistentes (>250 Ωm), que limitan lateral y verticalmente el depósito yesífero. La inversión de los datos en todos los perfiles mostró errores RMS inferiores al 5%

(promedio 4.0%), lo que indica una confiabilidad adecuada de los modelos geofísicos obtenidos. Frente a lo mencionado se válida la hipótesis planteada de que se tiene suficientes recursos como para explotar de forma mecanizada, habiéndose estimado de 2,755,584 toneladas de yeso. Estos resultados lo validamos con los de (Guinea, A., Playá, E., Rivero, L., Himi, M. 2010), en el estudio de Pira Cuenca del Ebro, España, realizaron perfiles de tomografía eléctrica de resistividad, comparados con sondeos continuos, y hallaron que “las capas de yeso con > 90 % de mineral de yeso” correlacionaban con los valores más altos de resistividad. La geofísica, usando ERT, ofrece la posibilidad de caracterizar y cuantificar de forma indirecta los depósitos de yeso con resultados que son técnicamente confiables. Según el Código JORC (2021) y los principios de estimación minera (Resource and Ore Estimación, 2014), sugieren que los recursos declarados deben contar con expectativas razonables de extracción económica, lo cual permite validar que la estimación es suficiente para su explotación mecanizada.

CONCLUSIONES

1. La presente investigación tuvo como objetivo principal determinar las características petrográficas, la composición geoquímica y la cantidad de recursos minerales del yacimiento de yeso Yoqueray, con la finalidad de evaluar su calidad y su potencial de explotación en el distrito de Ccapacmarca, provincia de Chumbivilcas, región Cusco. Los resultados obtenidos demostraron de manera consistente que las características petrográficas y geoquímicas, así como la estimación cuantitativa de los recursos minerales, influyen directamente en la determinación de la calidad, el volumen y el potencial de explotación del depósito. En conjunto, el estudio integral permitió cumplir satisfactoriamente con los objetivos planteados, evidenciando que el yacimiento corresponde a un depósito evaporítico de alta calidad, con gran continuidad lateral y un volumen significativo, lo que le confiere claras posibilidades de explotación mecanizada y sostenible.
2. Los resultados petrográficos, tanto a nivel macroscópico como microscópico, evidenciaron que el yacimiento presenta texturas predominantemente fibrosas, sacaroideas y tabulares, además de estructuras bandeadas, asociadas a una cristalización sinégena a diagénesis temprana en un ambiente de alta evaporación. La identificación de agregados de anhidrita, minerales opacos, óxidos de hierro y arcillas indica una evolución supergénica posterior, producto de procesos de meteorización química. Estas características coinciden con ambientes evaporíticos marinos someros, tal como lo han descrito Warren (2006) y Ortí et al. (2014), sustentando así la hipótesis específica sobre el origen y evolución del depósito.

3. En cuanto a los ensayos geoquímicos: los análisis fisicoquímicos, difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X confirmaron una alta pureza del yeso, con concentraciones de sulfato de calcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) superiores al 90%, alcanzando hasta un 99% esto en sector “B”. Este alto grado de pureza, acompañado de bajos niveles de impurezas metálicas y detríticas, respalda un entorno deposicional marino restringido, con fuerte control evaporítico y limitada influencia clástica, como lo establece la hipótesis general planteada.
4. La investigación realizada evidenció que el ensayo mediante la tomografía eléctrica de resistividad es un método geofísico efectivo para la evaluación inicial de depósitos de yeso. Mediante esta técnica, se logró identificar de manera clara la estructura geológica interna del área estudio, alcanzando profundidades de hasta 100 metros, lo que facilitó la delimitación de la continuidad horizontal y vertical de los cuerpos mineralizados. A partir de la información recabada, se calculó un volumen de 1,248,000 m^3 , una densidad promedio de 2. 3 t/m^3 y una pureza del 96 %, permitiendo así estimar un recurso preliminar de aproximadamente 2,755,584 toneladas de yeso. Estos hallazgos sustentan la hipótesis inicial, corroborando que el empleo de técnicas geofísicas no destructivas posibilita la caracterización y cuantificación indirecta de los recursos minerales con suficiente exactitud para las fases iniciales de exploración.

RECOMENDACIONES

- Realizar campañas de exploración mediante perforación diamantina en las zonas donde los modelos geofísicos 2D y 3D identificaron cuerpos de yeso masivo. Esto permitirá validar los espesores y continuidad del depósito en profundidad, así como obtener núcleos para un análisis más detallado.
- Ampliar el muestreo geoquímico y mineralógico, en tal sentido se sugiere incrementar la cantidad de muestras recolectadas para el análisis de difracción de rayos X (DRX), fluorescencia de rayos X (FRX) y análisis químico, a fin de representar mejor la variabilidad composicional del yacimiento y obtener un modelo geoquímico más preciso.
- Utilizar software especializado (como Surfer, Leapfrog o Datamine) para modelar tridimensionalmente el cuerpo mineralizado e integrar todos los datos geológicos, geofísicos, geoquímicos y de perforación. Esto permitirá realizar una estimación más precisa y clasificar los recursos según los estándares internacionales (como NI 43-101 o JORC).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ASTM International. (2016). ASTM C22/C22M – 00 (Reapproved 2016): Standard specification for gypsum. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Bolulangger, E., Chong, L. M., Sipión, Ch., et al. (2019). Estudio de recursos de rocas y minerales industriales para la inclusión económica social y desarrollo en la región Cusco: sector meridional.
- Carrera, J., Arranz, E., Galé, C. (2014). Estudio Geológico-Minero y Calculo de Reservas de los Yesos del Área de Ventas Blancas (La Rioja).
- Condori, H. (2017). Estudio Geológico y Calculo de Reservas de los Depósitos de Yeso de la Región de Achiri Provincia de Pacajes Departamento de la Paz.
- Condori, W. J., Negron, T. F., et al. (2023). Estudio de caracterización fisicoquímica y mineralógica de sulfato de calcio (yeso) del yacimiento de la provincia de Chumbivilcas del pueblo de Saywa – Cusco.
- Cruz, L., et al. (2021). Sedimentología y diagénesis de los niveles yesíferos con alabastro en el tramo central del Valle del Ebro.
- Cutipa, V., Playa, E., Rivero, L. L., Lovera, R., Tauler, E. (2013). Evaluación de explotaciones activas de yeso, mediante tomografía eléctrica.
- Dogara, M., Aloa, J. (2017). Preliminary Estimate of Gypsum Deposit Based on Wenner and Schlumberger Electrical Resistivity Methods at Ikpeshi, Edo State, Nigeria.
- Flores, C. (2017). Comportamiento Litológico Respecto a la Alteración Yeso–Anhidrita en Mina Toquepala.
- González, J., Ruiz, M., & Fernández, L. (2012). Evaluación de recursos y reservas de yeso del sector de Aragón, España. Revista de Minería y Geología.

Guinea, A., Playà, E., Rivero, L., & Himi, M. (2010). Electrical resistivity tomography and induced polarization techniques applied to the identification of gypsum rocks. *Near Surface Geophysics*.

Gungor, P., Helvacı, C., et al. (2016). Petrographic study and geochemical investigation of the evaporites associated with the Germik Formation (Siirt Basin, Turkey).

Igea, J., Lapuente, P., et al. (2008). Aproximación al Estudio Petrográfico de Áridos Yesíferos en Morteros. Ejemplo de Sta. María de la Huerta, Magallón (Zaragoza).

INGEOMINAS. (2009). Guía de caracterización mineralógica de yesos.

JORC Code. (2012). Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. The Joint Ore Reserves Committee, Australasia.

Leon, E., Edmundo, H., et al. (2024). Estudio experimental de la mezcla de yeso–cemento y el tiempo de fraguado para enlucidos interiores en la ciudad del Cusco 2023.

López, D., Sandoval, E. (2021). Determinación del Potencial Exploratorio en la Cantera de Yeso para la Estimación de Reservas de la Comunidad Campesina San Pedro de Mórrope.

Mamani, D., et al. (2016). Evaluación comparativa de las propiedades mecánicas entre el yeso y el yeso adicionado con materiales reciclados según la norma UNE-EN 13279-2 para su uso en la fabricación de placas de yeso.

Márquez, A. (2017). Caracterización mineralógica y química de yesos evaporíticos del norte de México.

Mujica, L. (2011). Estudio geoquímico de los cuerpos evaporíticos de la costa nor-central del estado Falcón.

Muños, A., et al. (2020). Caracterización e identificación de alabastro y yeso de calidad estatuaría: Aplicación en la determinación de procedencia para proyectos artísticos de alabastro realizados en Aragón entre la Edad Media y la Edad Moderna.

Ordoñez, S., Fort, R., Bustillo, M. (1989). Caracterización geoquímica de la ruptura sedimentaria en los yesos de la unidad salina e intermedia de la cuenca de Madrid.

Ríos, C. A., et al. (2015). Estudio petrográfico y geoquímico de yesos del Valle del Cauca, Colombia.

Warren, J. K. (2006). Evaporites: Sediments, resources and hydrocarbons. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Zaheri, M., Rafiei, B., et al. (2019). Facies analysis, petrography and geochemistry of the Neogene gypsum deposit in the Eshtehard area, Alborz Province, Iran.

ANEXOS

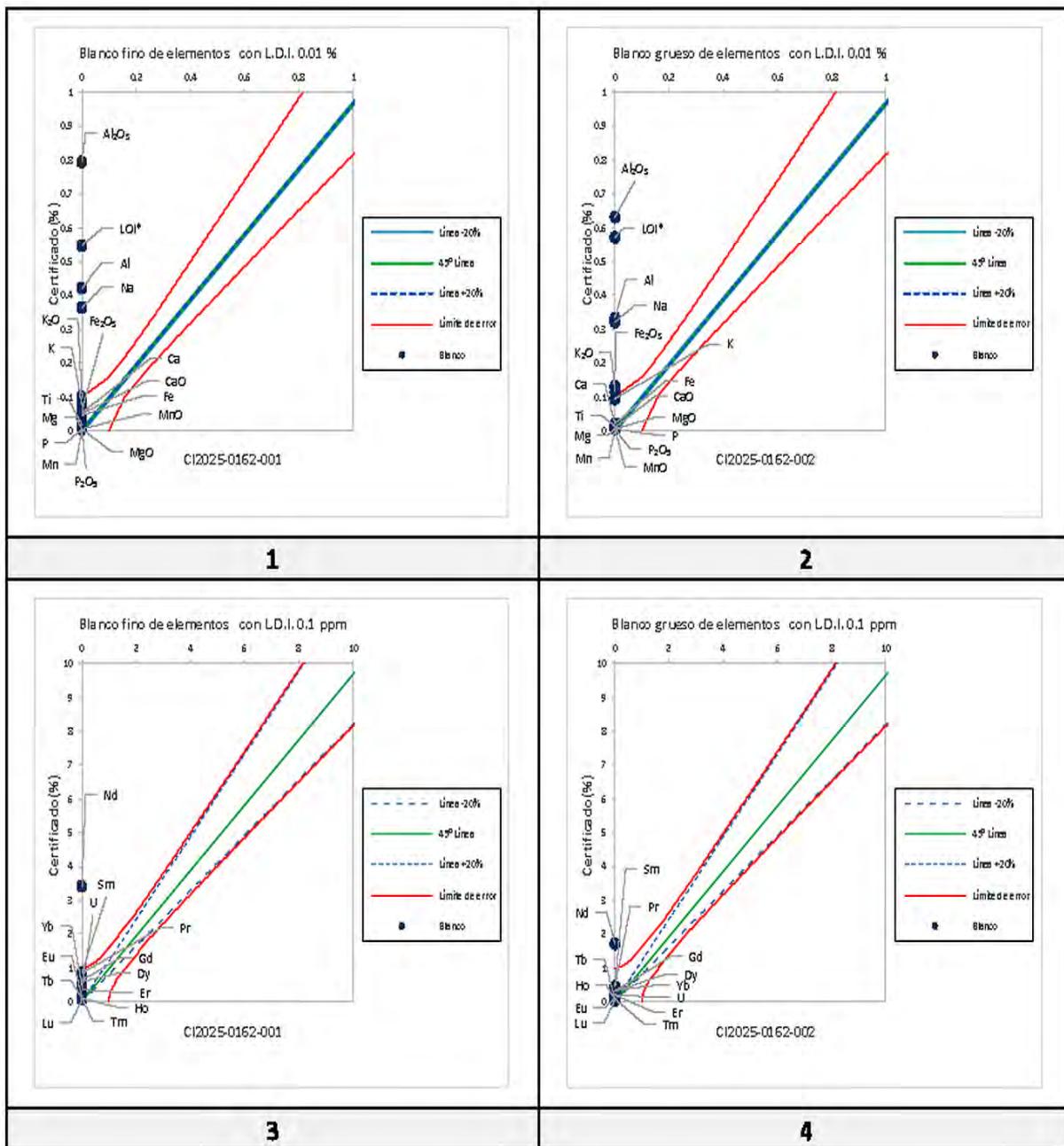
MATRIZ DE CONSISTENCIA

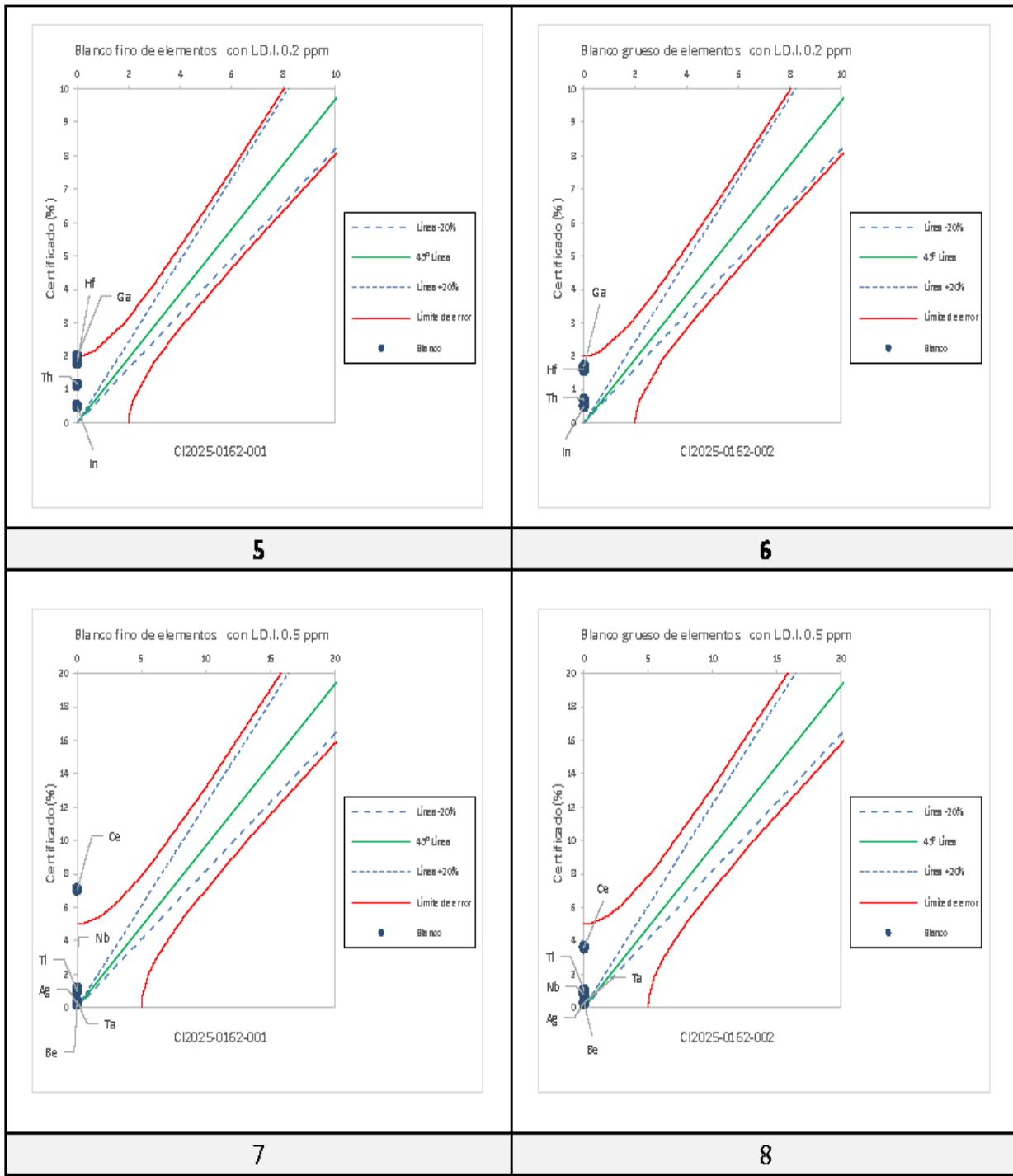
"ESTUDIO PETROGRAFICO, GEOQUIMICO Y ESTIMACION DE RECURSOS MINERALES DEL YACIMIENTO DE YESO YOQUERAY, DISTRITO DE CCAPACMARCA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS, REGION CUSCO-2025"					
ANTECEDENTES	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
Tesis: López D., Sandoval E. et al. (2021) "Determinación del Potencial Exploratorio en la Cantera de Yeso para la Estimación de Reservas de la Comunidad Campesina San Pedro de Mórrope"	¿De qué manera las características petrográficas, geoquímicas y la estimación cuantitativa de los recursos minerales influyen en la determinación de la calidad, volumen y potencial de explotación del yacimiento de yeso Yoqueray, ubicado en el distrito de Ccapacmarca, provincia de Chumbivilcas, región Cusco-2025?	Determinar las características petrográficas, la composición geoquímica y la cantidad de recursos minerales del yacimiento de yeso Yoqueray, con el propósito de evaluar su calidad y su potencial de explotación en el distrito de Ccapacmarca, provincia de Chumbivilcas, región Cusco.	Las características petrográficas y geoquímicas muestran que el yeso del yacimiento Yoqueray presenta una textura masiva con pocas contaminantes que le hace que son de gran pureza y se presenta en grandes cantidades de volumen.	VARIABLES INDEPENDIENTES <ul style="list-style-type: none"> ❖ PETROGRAFIA ❖ GEOQUIMICA VARIABLE DEPENDIENTE <ul style="list-style-type: none"> ❖ ESTIMACION DE RECURSOS MINERALES (TRE) 	METODOLOGIA: Descriptivo y analítico PROCEDIMIENTO: La metodología se divide en 3 partes <ul style="list-style-type: none"> ❖ Etapa de precampo ❖ Etapa de campo ❖ Etapa de gabinete
PROBLEMAS ESPECIFICOS		OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICOS		
1. ¿Cuáles son las características petrográficas del yeso presente en el yacimiento Yoqueray y qué texturas y minerales asociados determinan su calidad? 2) ¿Cuál es la composición geoquímica del yeso del yacimiento Yoqueray y cómo esta determina su grado de pureza según los estándares internacionales? 3) ¿Cuál es la cantidad estimada de recursos minerales de yeso presentes en el yacimiento Yoqueray?		1.Caracterizar petrográficamente el yeso del yacimiento Yoqueray mediante el análisis microscópico de secciones delgadas para identificar sus texturas, minerales asociados y posibles impurezas. 2. Determinar la composición geoquímica del yeso del yacimiento Yoqueray y establecer su grado de pureza en comparación con los estándares de la norma ASTM C22/C22-00. 3) Cuantificar los recursos minerales de yeso del yacimiento Yoqueray mediante métodos geofísicos y de modelamiento para estimar su volumen y tonelaje aprovechable.	<ul style="list-style-type: none"> 1) Las características petrográficas presentan texturas que varían desde la sacaroidea, fibrosa y hojosa, mineralógicamente presenta yeso, anhidrita, dolomita con presencia de pocos contaminantes como la arcilla, óxidos de hierro y cuarzo. 2) Las características geoquímicas del yacimiento Yoqueray muestran una pureza, con alto contenido del mineral de yeso, mayor al 90% según ASTM C22/ C22 - 00 (Reapproved 2016). 3) La estimación de recursos de mineral de yeso que hay en el yacimiento de Yoqueray es un aproximado de 700000 toneladas y es suficiente como para permitir su explotación mecanizada. 		

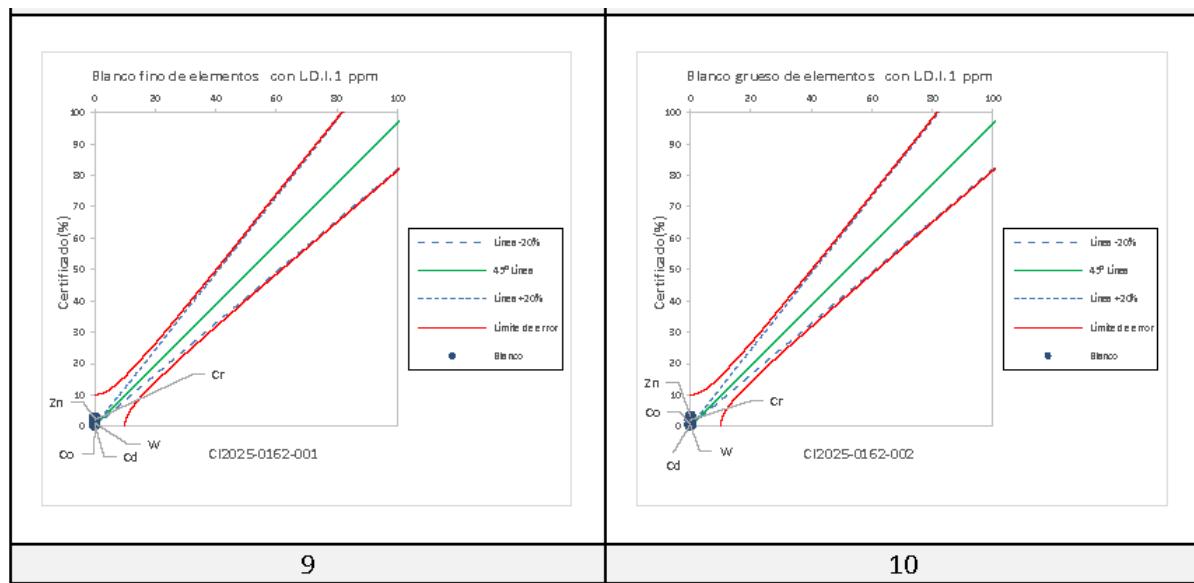
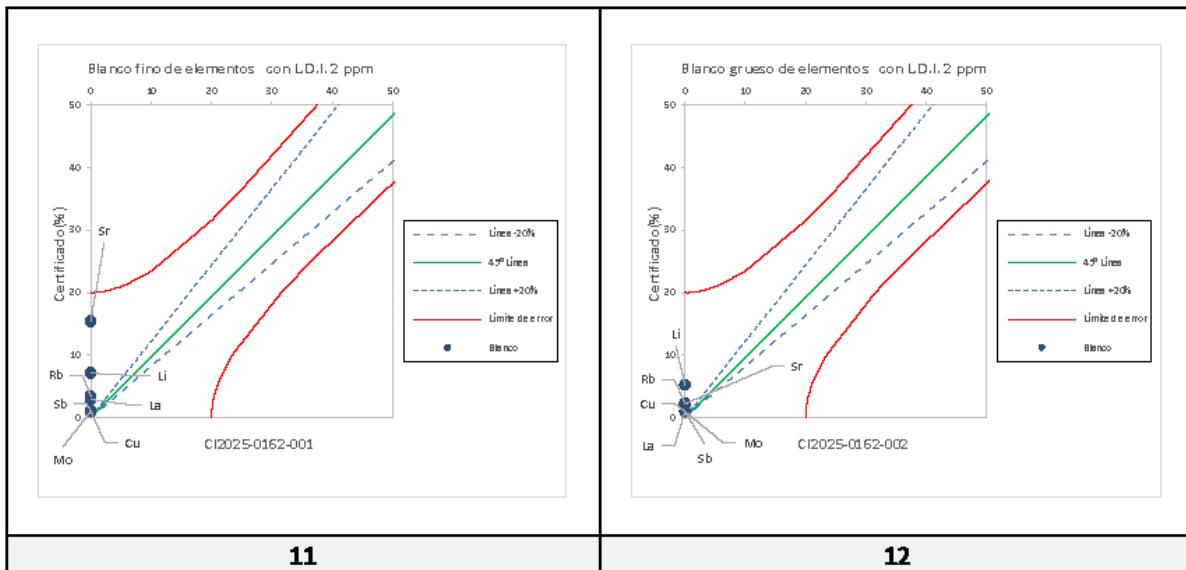
MATRIZ DE INSTRUMENTOS			
CATEGORIA	HERRAMIENTA O TECNICA	DESCRIPCION	PROPOSITO
Petrográfica (Campo)	Recolección de muestras de yeso (picota, bolsa, precinto, GPS, brújula, libreta)	Extracción de 25 muestras de los cuales se 8 muestras son representativas del yacimiento	Obtener material para análisis macroscópico y microscópico
Petrográfica (Lab.)	Microscopio estereoscópico Leica (3x – 5x)	Observación de texturas como fibrosa, hojosa, sacaroidea, etc.	Análisis macroscópico de texturas del yeso
	Microscopio petrográfico (polarización)	Estudio de secciones delgadas (8 muestras) con texturas y minerales acompañantes	Determinar evolución petrográfica del yeso e identificación de minerales contaminantes
Geoquímica	Análisis físico-químico de laboratorio	Ensayos cuantitativos para determinar % de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Estimar la pureza media del yeso
	Difracción de Rayos X (DRX)	Ánalysis de 3 muestras para identificación mineralógica	Determinar la composición mineralógica principal
	Fluorescencia de Rayos X2 (FRX)	Identificación de elementos traza e impurezas metálicas	Evaluuar calidad geoquímica del yeso
Estimación de Recursos	Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE)	4 líneas tomográficas ($2 \times 300 \text{ m}$ y $2 \times 200 \text{ m}$, hasta 100 m de profundidad)	Delimitar cuerpos de yeso en el subsuelo
	Modelado geofísico 2D (software Res2Dinv.)	Interpretación de datos TRE en un modelo volumétrico tridimensional	Estimar forma, continuidad y volumen del depósito yesífero
	Cálculo volumétrico + fórmula de tonelaje	Fórmula: Recurso = Volumen × Densidad × Ley	Estimar cantidad de yeso en toneladas (2,755,584t)

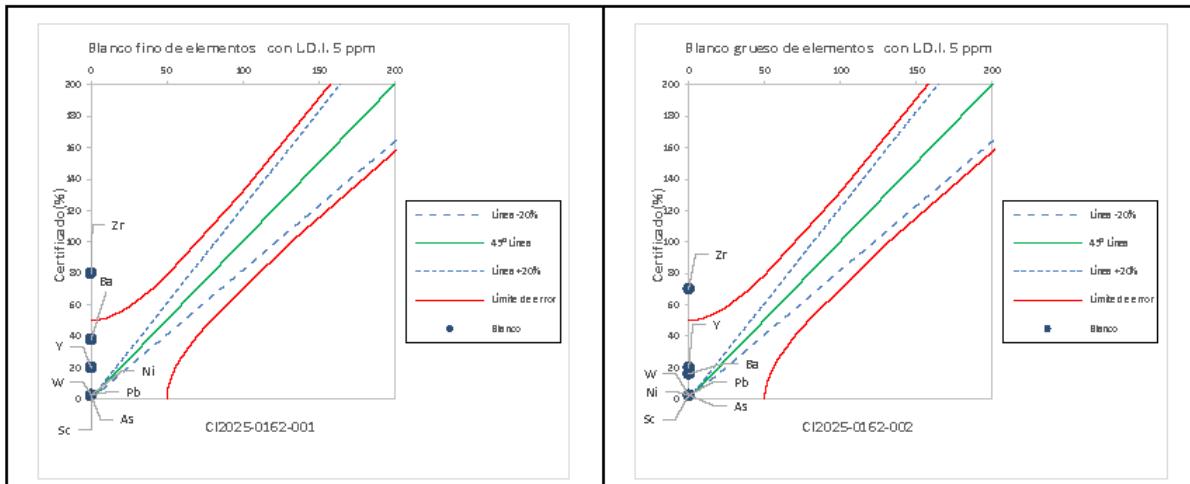
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS		
Material cartográfico	Instrumentos	Materiales de campo
<ul style="list-style-type: none"> ❖ SAS planet, Google Earth Pro, ArcMap y surfer (Golden Software) ❖ Imágenes satelitales de diversos programas. ❖ Mapa base geológico y geomorfológico. ❖ Geología de los Cuadrángulo de Santo Tomas, hojas: 29-r. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Equipos de GPS ❖ Picota ❖ Brújula ❖ Bolsas de polietileno ❖ Tabla de colores ❖ Laptop ❖ Cámara fotográfica ❖ Software de SIG (ArcGIS, Res2DInv y Surfer) ❖ TRE 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tablero ❖ Fichas de campo ❖ Libreta de campo ❖ Plumones

GRAFICAS DE CONTROL DE CALIDAD

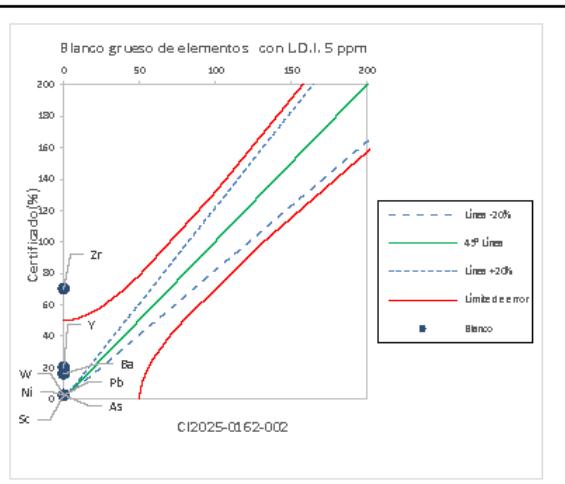




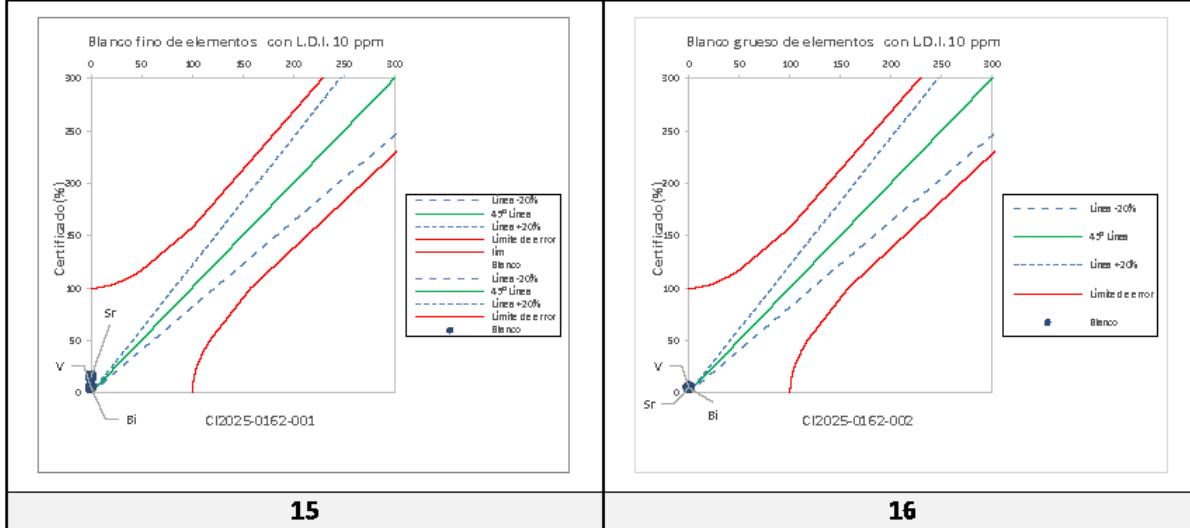




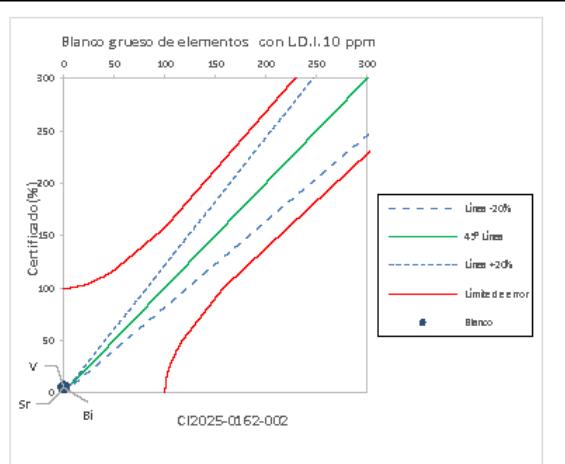
13



14



15



16

ASTM International. (2016). ASTM C22/C22M – 00 (Reapproved 2016): Standard specification for gypsum. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.

Uso técnico habitual basado en ASTM y en la práctica industrial

Tipo de yeso

Bajo grado	70 - 80	Cumple norma mínima ASTM C22
Medio grado	80 - 90	Aceptable para la construcción
Alta pureza	>90	Yeso industrial o agrícola de alta calidad

MINERALOGIA **OPTICA**: Cuadro Comparativo de las Propiedades Morfológicas y Ópticas de los minerales Transversales

Presentado por: Yohannan Martínez Huaman
Profesor: Mat. Ing. José DIONICIO Gómez Roque

PROPIEDADES MORFOLOGICAS Y ÓPTICAS CON LUMINOSO PICO Y NÚCLEOS PARALELOS

HABITO: Típico = NP

FORMA: NP, NO, HP

CLIVAJE: M1, NP, ND, NP

COLOR: NP, Nicols paralelos, ND, HP

PIEGELISMO: Nicols paralelos, ND

RELIEVE: Nicols paralelos

PROPIEDADES ÓPTICAS Y ÓPTICA: Extinción y Óptica

EXTINCIÓN: **a) Extinción Beta**

b) Extinción Alpha

c) Extinción Gamma

E. EXTINCIÓN SIMÉTRICA

COLORES DE EXTINCIÓN: C, 45°

BIREFRINGENCIA: Muy baja o muy débil, 0.001-0.005, 0.005-0.010, 0.010-0.020, Elevado a fuerte, 0.020-0.035, Muy elevado o extremo > que 0.035

MALIAS: NE

SÍGNEOS DE ELARGACIÓN: ND

ALTERACIONES

IDENTIFICACIÓN DE LOS PLAGIOCLASOS

a) Maca Karlsbad

b) Maca Parcélina

D) Promedio

REFERENCIAS

- ANTILARAS, J. VEGA, H. (2018) MINERALOGIA ÓPTICA (Mineralogy) UNIBAG, QUITO.
- CHAVEZ, L. H. (2010) MINEROS ÓPTICOS ÓPTICA DE MINERALES ING. H. MET

CÓDIGO DE MUESTRA		M-05-YAC-Y			
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%		
1	Yeso	$\text{Ca}(\text{SO}_4)(\text{H}_2\text{O})_2$	99.00		
2	Cuarzo	SiO_2	1.00		
Valor promedio del background		40			
Nº de cuentas del pico máximo		14908			
Error estadístico de conteo		1.61%			
OBSERVACIONES					
-					

CÓDIGO DE MUESTRA		M-09-YAC-Y			
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%		
1	Yeso	$\text{Ca}(\text{SO}_4)(\text{H}_2\text{O})_2$	84.85		
2	Calcita	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$	5.05		
3	Cuarzo	SiO_2	4.04		
4	Clinocloro	$\text{Mg}_5\text{Al}(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	3.03		
5	Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	2.02		
6	Anhidrita	CaSO_4	1.01		
Valor promedio del background		40			
Nº de cuentas del pico máximo		5224			
Error estadístico de conteo		2.71%			
OBSERVACIONES					
-					

CÓDIGO DE MUESTRA		M-10-YAC-Y			
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%		
1	Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	57.14		
2	Yeso	$\text{Ca}(\text{SO}_4)(\text{H}_2\text{O})_2$	37.14		
3	Cuarzo	SiO_2	2.86		
4	Clinocloro	$\text{Mg}_5\text{Al}(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	1.71		
5	Rutilo	TiO_2	1.15		
Valor promedio del background		40			
Nº de cuentas del pico máximo		4230			
Error estadístico de conteo		3.01%			
OBSERVACIONES					
-					

Ensayos solicitados		Ensayo de metales base por fluorescencia de rayos X ²						
Código del proceso		M2.2.2.1-1						
Fecha de análisis:		Del 2025-08-18 al 2025-08-19						
Elementos		Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	SO ₃	SiO ₂
Unidades		%	%	%	%	%	%	%
No	Código	LDM	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05	0.05
1	M-05-YAC-Y	<0.01	32.813	<0.01	<0.05	<0.05	46.14	0.15
2	M-09-YAC-Y	2.09	28.890	0.73	0.57	2.01	40.20	7.35
3	M-10-YAC-Y	1.50	28.872	0.80	0.60	9.62	22.71	6.16
								30.0

LDM: Límite de detección de método.

LQD: Límite de cuantificación del método

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0077-25-LAQ

SOLICITANTE : YHONATAN MARTINEZ HUAMAN
NOLBERTO CHAVEZ HUAMANI

MUESTRA : YESO
YACIMIENTO : YOQUERAY
DISTRITO : CCAPACMARCA
PROVINCIA : CHUMBIVILCAS
REGION : CUSCO
FECHA A. : C /08/04/2025

ANALISIS FISICOQUIMICO:

SO ₄ %	49,67
Ca %	30,41
Mg %	1,82
Fe %	0,56
Al %	1,89
K %	0,22
Si %	0,26
H ₂ O	18,65

Métodos: MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA UNI.

METODOS FOTOMETRICOS PROBADOS, J. Fries, E. Merck, Darmstadt.

Cusco, 15 de Abril 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0143-25-LAQ

SOLICITANTE : NOLBERTO CHAVEZ HUAMANI

MUESTRA : YESO

- 1.- M-02 YAC-Y
- 2.- M-06 YAC-Y
- 3.- M-12 YAC-Y

YACIMIENTO : YOQUERAY

DISTRITO : CCAPACMARCA

PROVINCIA : CHUMBIVILCAS

REGION : CUSCO

FECHA A. : C /16/05/2025

ANALISIS FISICOQUIMICO:

	M-02 YAC-Y	M-06 YAC-Y	M-12 YAC-Y
SO ₄ %	40,80	38,60	41,40
Ca %	29,60	28,80	30,06
Mg %	0,92	0,95	0,88
Fe %	1,20	2,90	1,75
Al %	0,97	1,58	1,14
K %	0,12	0,08	0,05
Si %	1,38	2,44	1,29
H ₂ O	19,60	18,20	19,90

Métodos: MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO, UNIVERSIDAD NACIONAL DE
INGENIERIA UNI.

METODOS FOTOMETRICOS PROBADOS, J. Fries, E. Merck, Darmstadt.

Cusco, 05 de Junio 2025



AFLORAMIENTO DE LOS CUERPOS DE YESO DEL YACIMIENTO YOQUERAY



