

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS PROFESIONAL

**MODELAMIENTO GEOLÓGICO 3D Y CÁLCULO DE RESERVA DE
MINERA NO METÁLICA “COLQUIRRUMI N°49-A” – BAMBAMARCA -
HUALGAYOC.**

**Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO GEÓLOGO**

Autor:

Bach. Cabrera Regalado, Estelita Del Mar

Asesor:

Dr. Quispe Mamani, Crispín Zenón

Cajamarca – Perú

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador : Estelita Del Mar Cabrera Regalado
2. DNI : 73004562
3. Escuela Profesional : Ingeniería Geológica
4. Asesor : Crispín Zenón Quispe Mamani
Facultad : Ingeniería

5. Grado académico o título profesional

- Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor

6. Tipo de Investigación:

- Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico

1. Título de Trabajo de Investigación: **MODELAMIENTO GEOLÓGICO 3D Y CÁLCULO DE RESERVA DE MINERA NO METÁLICA "COLQUIRRUMI N°49-A" – BAMBAMARCA - HUALGAYOC.**

2. Fecha de evaluación : 10 de enero 2025

3. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)

4. Porcentaje de Informe de Similitud : 6%

5. Código Documento : Oid :3117:420250114.

6. Resultado de la Evaluación de Similitud:

- APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión : 13 de enero 2025

		Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 13/01/2025 15:06:14-0500
<p>FIRMA DEL ASESOR Nombres y Apellidos: Crispín Zenón Quispe Mamani DNI : 29243825</p>	<p>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p>	

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : "MODELAMIENTO GEOLÓGICO 3D Y CÁLCULO DE RESERVA DE MINERA NO METÁLICA "COLQUIRRUMI N° 49-A" - BAMBAMARCA - HUALGAYOC"

ASESOR : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0044-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 15 de enero de 2024, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los diecisiete días del mes de enero de 2025, siendo las ocho horas (08:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

- Presidente : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Secretario : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada "MODELAMIENTO GEOLÓGICO 3D Y CÁLCULO DE RESERVA DE MINERA NO METÁLICA "COLQUIRRUMI N° 49-A" - BAMBAMARCA - HUALGAYOC", presentado por la Bachiller en Ingeniería Geológica ESTELITA DEL MAR CABRERA REGALADO, asesorada por el Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron a la sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y la evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 4 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 7 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 15 PTS Quispe (En letras)

En consecuencia, se la declara APROBADA con el calificativo de Quispe acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 09:00 a.m. horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique. Presidente

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana. Vocal

M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca. Secretario

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani. Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Geológica: ESTELITA DEL MAR CABRERA REGALADO.

RUBRO	PUNTAJE
	Máximo/Calificación
2. DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	
2.1. Capacidad de síntesis	3
2.2. Dominio del tema	3
2.3. Consistencia de las alternativas presentadas	3
2.4. Precisión y seguridad en las respuestas	2
PUNTAJE TOTAL (MÁXIMO 12 PUNTOS)	11

Cajamarca, 17 de enero de 2025

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Presidente

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Vocal

M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Asesor



EVALUACIÓN FINAL DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Geológica: ESTELITA DEL MAR CABRERA REGALADO.

RUBRO	PUNTAJE
A.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PRIVADA	4
B.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	11
EVALUACIÓN FINAL	
EN NÚMEROS (A + B)	15
EN LETRAS (A + B)	QUINCE
- Excelente 20 - 19	BUENO
- Muy Bueno 18 - 17	
- Bueno 16 - 14	
- Regular 13 a 11	
- Desaprobado 10 a menos	

Cajamarca, 17 de enero de 2025

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Presidente

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Vocal

M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Asesor

AGRADECIMIENTO

A Dios por estar en cada momento, por guiar mis pasos y renovar mis fuerzas cada día.

A mi alma mater UNC. y Docentes de la EAPIG. En especial a mi asesor, Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani, por la disposición de sus conocimientos y asesoría para desarrollar la presente tesis profesional.

A mis padres y compañeros de estudio por su apoyo incondicional, que gracias a ellos fue posible la realización de este trabajo.

A la empresa Calera El Zasal SAC por darme las facilidades y apoyo para la elaboración de esta tesis.

DEDICATORIA

A mis padres Doris y Segundo que son el pilar de mi vida, que con su gran esfuerzo, consejos y palabras de aliento me hicieron crecer como persona.

A mi hermana Kiara Alexandra quien con su incondicional amor me impulsa a seguir adelante y dar lo mejor de mí.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II.....	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
2.1.1. Internacionales	4
2.1.2. Nacionales.....	5
2.1.3. Locales.....	5
2.2. BASES TEÓRICAS.....	7
2.2.1. DEPÓSITO MINERAL.....	7
2.2.1.1. Depósitos sedimentarios	7
2.2.2. RECURSOS NO METÁLICOS	7
2.2.2.1. Usos de minerales no metálicos.....	8
2.2.3. ROCA CALIZA	9
2.2.3.1. Composición mineral y condiciones físicas, químicas y biológicas para la cimentación de caliza.....	9
2.2.3.2. Clasificación de las calizas	10
2.2.3.3. Diagénesis de la caliza.....	12
2.2.4. ÓXIDO DE CALCIO (CAL)	15

2.2.4.1. Tipos de cal.....	15
2.2.4.2. Características fisicoquímicas de la cal viva.....	15
2.2.4.3. Usos y Aplicaciones de la cal viva.....	16
2.2.5. MODELAMIENTO 3D.....	17
2.2.5.1. Geomodelación SIG 3D.....	19
2.2.5.2. Leapfrog Geo.....	20
2.2.6. CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS MINERALES.....	21
2.2.6.1. Recursos minerales.....	21
2.2.6.2. Reserva de mineral.....	21
2.2.6.3. Sistema de clasificación convencional.....	22
2.2.6.4. Comité Mixto de Reservas de Mineral (JORC).....	23
2.2.6.5. Clasificación Marco de las Naciones Unidas (UNFC).....	24
2.2.7. ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS.....	26
2.2.7.1. Estimación convencional de recursos y reservas.....	27
2.2.7.2. Estimación geoestadística de recursos y reservas.....	29
2.2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	31
CAPÍTULO III.....	33
MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
3.1.1. Geográfica.....	33
3.1.2. Política.....	33
3.1.3. Accesibilidad.....	33
3.2. PROCEDIMIENTOS.....	35
3.2.1. Etapa preliminar.....	35
3.2.2. Etapa de campo.....	36
3.2.3. Etapa de gabinete.....	36
3.2.4. Metodología.....	36
3.2.4.1. Población de estudio.....	37
3.2.4.2. Muestra.....	37
3.2.4.3. Unidad de análisis.....	37
3.2.5. Identificación de variables.....	38
3.2.6. Técnicas.....	38

3.2.7 Instrumentos y equipos	38
3.3. GEOMORFOLOGÍA	40
3.4. GEOLOGÍA LOCAL.....	41
3.4.1. Grupo Quilquiñán	41
3.4.2. Formación Cajamarca	42
3.4.3. Depósitos cuaternarios.....	43
3.5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	44
3.5.1. Diaclasas	44
3.5.2. Fallas	45
3.6. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	46
3.6.1. Estudio macroscópico	46
3.6.2. Análisis químico-físicos y mineralógicos.....	47
3.6.3. Difracción de rayos X (XDR)	48
3.6.4. Combustibilidad y análisis de la cal viva.....	48
3.6.5. Reactividad	49
3.6.6. Forma de la roca y distribución granulométrica	50
CAPÍTULO IV.....	51
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51
4.1. MODELAMIENTO EN 3D	51
4.2. CÁLCULO DE RESERVAS	56
4.2.1. Cálculo de reserva probable.....	56
4.2.2. Cálculo de reserva posible	57
4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	58
CAPÍTULO V.....	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
5.1. CONCLUSIONES	59
5.2. RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.2. Clasificación de las calizas. Según Dunham, 1962, con actualizaciones Embry & Klovan, 1972.	11
Figura 2.3. Diagrama esquemático de las zonas diagenéticas de los sedimentos carbonatados (Haldar, 2020).....	13
Figura 2.4. Distribución de usos de la cal (Gonzales & Ticona, 2016).	17
Figura 2.5. El modelo terrestre común toma como entrada todos los datos convencionales de exploración espacial y proporciona una integración explícita de todos los componentes en un modelo único de la Tierra coherente con todos los datos de entrada (Gandhi & Sarka, 2016)	18
Figura 2. 6. (Izquierda) Concepto de modelo terrestre común. Requisitos con tamaños de celda que varían en dimensión, regularidad y tamaño (Derecha); Consulta geoespacial utilizando una propiedad P1, un código de litología y una abundancia de Cu >3 wt%. (a) El conjunto de datos de partida, (b) Combina todos estos parámetros estimados en el modelo común de la tierra, (c) Un conjunto seleccionado, resultante de una consulta para la que los criterios son verdaderos (de Kemp, 2007).....	19
Figura 2.8. Código JORC (Joint Ore Reserve Committee) desarrollado por profesionales del AusIMM que muestra la relación entre recursos minerales y reservas minerales (Haldar, 2020).	24
Figura 2.9. Sistema de clasificación de la UNFC (Gandhi & Sarkar, 2016).	25
Figura 2.10. Métodos convencionales de estimación de recursos/reservas (Gandhi & Sarkar, 2016).	28
Figura 3.1. Acceso terrestre para llegar al área de investigación desde la ciudad de Cajamarca.....	35
Figura 3.2. Resultados del XDR, en la cual se observa que la muestra presenta altos porcentajes de Calcita, seguido por de cuarzo y clinocloro.....	48
Figura 3.3. Gráfico de análisis térmico por TG y DTG.	49
Figura 3.4. Prueba de sobrecombustión a 1300 °C.....	49
Figura 3.5. Gráfico de aumento de temperatura de la por el método de ensayo de apagado.	50

	Pág.
Figura 4.1. (a) Superficie en 3D del área de investigación, (b) Superficie en 3D solapado con imagen satelital del área.	51
Figura 4.2. Vista de la superficie en 3D del área con los perfiles geológicos de orientación SW-NE.....	52
Figura 4.3. Vista de la superficie en 3D del área con los perfiles geológicos de orientación NW-SE.....	52
Figura 4.4. Vista del modelamiento geológico en 3D del área.....	53
Figura 4.5. Vista de los sólidos de la litología y de la reserva probable de la concesión minera no metálica COLQUIRRUMI N°49-A.	53
Figura 4.6. Vista tridimensional del solido de las reservas de concesión minera no metálica COLQUIRRUMI N°49-A, la cual posee un volumen de 27962000m3.	54
Figura 4.7. (a) solido de la Formación Cajamarca, (b) solido del Volcánico Huambos, (c) solido de los Depósitos cuaternarios, y (d) solido del Grupo Quilquiñan.....	54
Figura 4.8. vista tridimensional del solido de las reservas probables, la cual posee un volumen de 20985000m3.	55
Figura 4.9. vista tridimensional del solido de las reservas posibles, la cual posee un volumen de 6977000m3.....	55

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Foto 3.1. Vista de las geoformas: Planicie 0°-8°, Ladera 8°-20°, Lomada 20°-50°. Estas geoformas se encuentran al NW del área de investigación sobre la Formación Cajamarca.....	40
Foto 3.2. Vista de la geoforma del tipo Escarpe > 50°. Esta geoforma se encuentra al SE del área de investigación donde también se observa la estratificación de los estratos de la Formación Cajamarca.....	41
Foto 3.3. En la foto se puede observar un afloramiento rocoso de estratos delgados de calizas claras nodulares intercaladas con margas y margas pardo-amarillentas. También se puede observar que el afloramiento está fuertemente fracturada y alterada.	42
Foto 3.4. (a) Afloramiento de calizas macizas de la Fm. Cajamarca. (b) Muestra de mano de la roca caliza, que según la clasificación visual de Dunham es una caliza mudstone.	43
Foto 3.5. En la foto se observa depósitos cuaternarios coluviales compuesto de arenas, arcillas y cantos. En el área el espesor de estos depósitos varía entre 1m a 10m.....	43
Foto 3.6. Familias de diaclasas (naranja: N185° de rumbo y 76°NW de buzamiento, azul: N96° de rumbo y 85°SW de buzamiento) en plano de estrato de la Formación Cajamarca.	44
Foto 3.7. En la foto se observa una venilla de calcita en la Formación Cajamarca, con N145° de rumbo y 44°SW de buzamiento.	45
Foto 3.8. Planos de falla con fibras recristalizadas (indicador cinemático). (a) Falla dextral con componente normal, ubicado en rocas de la formación Cajamarca, su plano de falla tiene como rumbo de N160° y 60°SW de buzamiento.	45
Foto 3.9. (a) Muestra de roca carbonatada tal como se recibió. (b) Muestra de roca carbonatada tras la trituración.	46
Foto 3.10. (a) Muestra de cal quemada a 1050°C durante 3h. (b) Muestra de cal tras la prueba de degradación.	46

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Características fisicoquímicas de los distintos tipos de cal viva.	16
Tabla 2.2. Ejemplo de Conversión de la UNFC al Sistema CMMI utilizando Códigos.....	26
Tabla 2.3. Tipos de predictores kriging y sus propiedades.	30
Tabla 3.1. Vértices del área de investigación.	33
Tabla 3.2. Acceso al área de investigación.	34
Tabla 3.3. Clasificación y Tipo de investigación.	37
Tabla 3.4. Descripción de Instrumentos y equipos.	39
Tabla 3.5. Clasificación de geomorfología.....	40
Tabla 3. 6. Análisis químico.	47
Tabla 3.7. Análisis mineralógico.....	47
Tabla 3.8. Porcentaje de calcinado.	48
Tabla 3.9. Forma y tamaño de la roca.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS

°C: Grados centígrados

CaCO₃: Carbonato de calcio

CCD: Compensación de carbonatos

CO: Oxido de calcio

CO₂: Dióxido de calcio

DTG: Comportamiento de combustión de los carbones

JORC: Comité Mixto de Reservas de Mineral

Kv: Varianza de Kriging

LVS: Sección vertical longitudinal

msnm: Metros sobre el nivel del mar

NE: Noreste

NW: Noroeste

Pe: Peso específico de la roca caliza.

RSG: Cuadrícula estratificada aleatoria

SE: Sureste

SIG: Sistema de información geográfica

SW: Suroeste

TM: Toneladas métricas de la reserva.

UNFC: Clasificación Marco de las Naciones Unidas

UTM: Universal transversal de Mercator

V: Volumen de la reserva.

WGS-84: Sistema Geodésico Mundial 84

XDR: Difracción de rayos X

RESUMEN

La investigación se sitúa en el distrito de Bambamarca, provincia de Hualgayoc, y región de Cajamarca, ubicada a una altitud mínima de 2940 m.s.n.m. y máxima de 3185 m.s.n.m., litológicamente de rocas carbonatadas de la Formación Cajamarca y Grupo Quilquiñan, y también Depósitos cuaternarios del tipo coluvial-aluvial.

Las rocas carbonatadas de la Formación Cajamarca son aprovechables para la obtención de óxido de calcio (CaO); por ello la propuesta de conocer las reservas de la concesión de minera no metálica "COLQUIRRUMI N°49-A", teniendo como objetivos: realizar el cartografiado geológico, modelo geológico en 3D, y calcular el tonelaje de CaO como reservas. Para cual se hizo trabajos de campo y obtener todos los datos geológicos, así como la obtención de muestras representativas de la roca caliza que posteriormente fueron enviadas al laboratorio CIMPROGETTI. Según los resultados de los análisis; mineralógicamente presenta calcita, cuarzo, clinocloro y illita; y también se determinó que su peso específico es de 2.72T/m^3 ; y que el porcentaje de recuperación de CaO es de 92.5% al ser sometida a una combustión de temperatura de 1050°C . Los datos físico-químicos de la roca caliza más los volúmenes de los sólidos de la reserva probable y posible obtenidos del modelamiento en 3D elaborado en el software Leapfrog Geo permitieron obtener el cálculo de estas reservas, teniendo como resultado un tonelaje de 44'878,251 TM de CaO para la reserva probable y un tonelaje de 14'921,012 TM de CaO para la reserva posible.

Palabras clave: Modelamiento en 3D, minera no metálica, óxido de calcio, reserva probable, reserva posible.

ABSTRACT

The research is located in the district of Bambamarca, province of Hualgayoc, and region of Cajamarca, located at a minimum altitude of 2940 m.a.s.l. and maximum of 3185 m.a.s.l., lithologically of carbonate rocks of the Cajamarca Formation and Quilquiñan Group, and also Quaternary deposits of the colluvial-alluvial type.

The carbonate rocks of the Cajamarca Formation are usable for obtaining calcium oxide (CaO); therefore the proposal to know the reserves of the non-metallic mining concession "COLQUIRRUMI N°49-A", having as objectives: geological mapping, 3D geological model, and calculate the tonnage of CaO as reserves. For which field work was done to obtain all the geological data, as well as obtaining representative samples of limestone rock that were later sent to the CIMPROGETTI laboratory. According to the results of the analyses; mineralogically it presents calcite, quartz, clinocllore and illite; and it was also determined that its specific weight is $2.72\text{T}/\text{m}^3$; and that the percentage of CaO recovery is 92.5% when submitted to a combustion temperature of 1050°C . The physical-chemical data of the limestone rock plus the volumes of solids of the probable and possible reserves obtained from the 3D modeling elaborated in the Leapfrog Geo software allowed obtaining the calculation of these reserves, resulting in a tonnage of 52'798,260 MT of CaO for the probable reserve and a tonnage of 17'554,132 MT of CaO for the possible reserve.

Keywords: 3D modeling, non-metallic mining, calcium oxide, probable reserve, possible reserve.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La minería no metálica comprende una gran variedad de productos que constituyen la materia prima para diversos sectores industriales. Dentro de estas materias primas está la roca carbonatada caliza ligada a industrias de cemento y agregados. En la actualidad la producción de caliza en el Perú refleja incrementos importantes respecto a los mismos meses del año previo. (ESTAMIN, 2022)

Por ello, la presente investigación está enfocada al modelamiento geológico 3D y cálculo de reservas de la minera no metálica “COLQUIRRUMI N°49-A”, la cual comprende 48.33 Hectáreas de concesión, localizada en el caserío Apán Bajo, Distrito de Bambamarca, Provincia de Hualgayoc, Región Cajamarca. Litológicamente la concesión está conformada por rocas calcáreas del cretácico superior perteneciente a la Formación Cajamarca, la cual contiene alto porcentaje de CaO favorable para la industrialización en cemento.

En la investigación, se desarrolló trabajos geológicos de cartografiado: litológico, estructural, geomorfológico; y también de un muestreo selectivo. En la cual a través del procesamiento de la toma de datos realizados en campo se desarrolló el modelo geológico 3D utilizando el software Leapfrog Geo, para posteriormente hacer el cálculo de reserva.

Este estudio sirve para dar a conocer el modelo geológico 3D del área de investigación y su cálculo de reserva, la cual servirá a la empresa Calera El Zasal S.A.C. en desarrollar un óptimo planeamiento de explotación de la minera no metálica “COLQUIRRUMI N°49-A” reduciendo costos al máximo en la extracción del CaO. Además, da un aporte informativo a los profesionales interesados en realizar estudios de cálculo de reservas en otras mineras no metálicas.

Según lo planteado nos preguntamos ¿Cuál es el modelamiento geológico 3D y cálculo de reserva de minera no metálica “COLQUIRRUMI N°49-A”?

El modelamiento geológico 3D permite hallar volúmenes de los bloques de las rocas calizas en la Formación Cajamarca, esto servirá para hallar el cálculo de reservas en toneladas métricas de la mina no metálica “COLQUIRRUMI N°49-A”, esto incrementa de la producción y beneficios económicos de la empresa Calera El Zasal S.A.C.

Este estudio tiene un alcance descriptivo y explicativo, de carácter transversal, en el cual se pretende dar a conocer el modelo geológico 3D y el cálculo de reserva de la minera no metálica “COLQUIRRUMI N°49-A”.

Las limitaciones del presente estudio son de no realizar estudios geofísicos, ni perforaciones que profundicen más a detalle la investigación para desarrollar el modelamiento geológico 3D, tampoco hay investigaciones anteriores en el área de estudio que nos puedan ayudar en el presente tema.

El objetivo general de la tesis es realizar el modelamiento geológico 3D y cálculo de reserva de minera no metálica “COLQUIRRUMI N°49-A”.; y como específicos elaborar el cartografiado litológico, estructural y geomorfológico, determinar la composición mineralógica microscópica de la roca caliza, realizar el modelo geológico 3D en el software Leapfrog Geo y determinar el tonelaje de reservas de CaO.

La descripción de los contenidos de los capítulos son los siguientes:

Capítulo I: Introducción, abarca el contexto del problema a resolver conjuntamente con sus objetivos e hipótesis; y se sustenta la justificación que presenta la investigación.

Capítulo II: Marco Teórico, este capítulo describe los antecedentes locales, nacionales e internacionales, además establece las bases teóricas para la investigación y define los términos básicos.

En el capítulo III, se menciona los materiales y métodos donde se detalla los pasos seguidos para desarrollar la investigación, describe la ubicación del área de

investigación, procedimiento y metodología que se utilizó, las unidades litoestratigráficas, estructuras geológicas, composición mineralógica de la roca caliza, así como todos los materiales utilizados en la investigación.

En el Capítulo IV: Análisis y discusión de resultados, se muestra el modelamiento geológico 3D geológico de la concesión de la minería no metálica “COLQUIRRUMI N°49-A”, así como también su cálculo de reserva. Y el Capítulo V, se presenta las conclusiones y recomendaciones, así como las referencias bibliográficas utilizadas en la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Internacionales

Naranjo (2017), Modelamiento geológico y estimación de recursos, yacimiento La Niña, Tongoy, Cementos Melón SA. Desarrolló un planteamiento minero de mejor calidad en el yacimiento generando un nuevo modelo geológico y cálculo de recursos de CaCO₃. Donde concluyó un recurso medido para ConA de 15.02 millones de toneladas con una ley media del 90.6%, para ConB se obtienen 13.9 millones de toneladas con una ley media del 75.3%, resultando un total de 28.94 millones toneladas.

Santos (2014), Estimación de recursos en el depósito oro–cobre–plata de Canahuire, proyecto Chucapaca. Estimó los recursos minerales del depósito en los dominios de mineralización 200 y 300. En la cual concluyó el inventario de recursos minerales para los dominios 200 y 300, define 5.1 Moz con una ley 1.94 g/t de Aueq para la categoría indicado y 759 koz con ley de 1.81 g/t Aueq en categoría inferidos, todos esto cálculos se realizaron para un cut-off de 0.6 g/t Aueq. Y el inventario total de recursos minerales para las categorías indicado e inferido definen 5.78 Moz con una ley de 1.88 g/t Aueq para un cut-off de 0.6g/t.

Velarde (2016), Estimación de Reservas Minerales y Propuesta de Diseño Preliminar de Explotación del Bloque 2 del sector “X7. Evaluó las reservas del bloque de explotación mediante un método geométrico para la valoración del depósito mineral. Donde concluyó que la reserva total del bloque tiene alrededor de 6658 toneladas de roca mineralizada, de las cuales 1458 toneladas se categorizaron como reservas probadas, y que los costos generales para la estimación de reservas resultan en alrededor de \$5,100.00, con dimensiones similares al bloque de explotación del presente proyecto.

2.1.2. Nacionales

Arribasplata (2020), Cálculo de reservas para determinar la vida útil de La Cantera Mabeisa – Ferreñafe. Calculó las reservas de la cantera, y describió la geología local. Donde concluyó que las reservas cuentan con una cantidad de 930,964.38 m³ conglomerados, teniendo en cuenta el ritmo de explotación diaria en la que se encuentra, la cantera tendría aproximadamente una vida útil de 25 años, y al describir la geología local y regional de la zona se puede presenciar que predominan los depósitos de tipo aluvial Qr-al que constituye principalmente de gravas, arenas y arenas limosas.

Blas & Damián (2021), Evaluación geológica para el cálculo de reservas y estimación de recursos minerales del prospecto minero Calmar. Determinó la geología factible para el cálculo de reservas y estimación de recursos del proyecto Calamar. Concluyendo que las calizas de interés prospectivo son netamente jurásicas (grupo Pucará), están poco deformadas y tienen baja presencia de secuencias dolomíticas y sílice. Además, que el cálculo de las reservas indicadas es de 954059.167TM y las reservas inferidas son 143400.833TM.

Martell (2021), Estimación de reservas minerales de oro y plata de la veta Filomena – Sancos – Lucanas - Ayacucho. Desarrolló la estimación de las reservas de mineral de Au y Ag de la veta filomena. La cual obtuvo como reservas probadas 83,433 TMS con leyes de 0.521 Oz/Tc Au y 0.796 Oz/Tc Ag; y reservas probables 28,374 TMS con leyes de 0.556 Oz/Tc Au y 0.823 Oz/Tc Ag; haciendo un total de 111,808 TMS con leyes de 0.530 Oz/Tc Au y 0.803 Oz/Tc Ag.

2.1.3. Locales

Boñón (2024), Modelamiento hidrogeológico del acuífero libre mediante software Modflow en La Colpa, determinó las zonas de recarga y descarga que controlan el balance hídrico del acuífero libre, y la relación de la precipitación y evapotranspiración sobre el acuífero libre de la colpa. Donde Las zonas de recarga en la microcuenca ocurren en el margen Suroeste en afloramiento de roca fracturada, y la descarga en la parte central de la microcuenca, con una napa freática cercana a la superficie entre 0.5 y 4.0m en la margen central sureste, y la precipitación anual en la microcuenca La Colpa es mayor a la evapotranspiración,

generando un valor de excedente hídrico de 497.7 mm de altura, y la evapotranspiración potencial es de 71.1mm. de altura, se da por la vegetación en la microcuenca, donde hay plantas con raíces no mayores a 45cm. de profundidad en su mayoría

Maza (2017), Estimación de reservas minerales de oro y plata en la veta Karina - Los Pircos, Santa Cruz - Cajamarca. Estimó que la Veta Karina cuenta con una reserva total de 2720 Ton de Au y Ag, ésta Veta incrementará un año más la vida útil del Proyecto Los Pircos, aportando un promedio de 220 Ton/mes; además el tonelaje de mineral explotable de la Veta Karina es de 107 toneladas probadas, la ley ponderada de los 7 bloques de la Veta Karina es de 17.94 Au gr/ton y 20.47 Ag oz/ton y se obtuvo una la ley de corte de 17.25 Au gr/ton.

Vergara (2017), Estimación de reservas probables de yacimientos no metálicos en arcillas del distrito de Llacanora - Cajamarca. Trabajo con imágenes Landsat 7 por el método de desmezcla lineal del espectro y cartografiado espectral para identificar zonas con presencia de depósitos de arcillas. Donde concluyó que los depósitos de arcillas se encuentran en las Formaciones Carhuaz e Inca pertenecientes al período Cretácico Inferior, así mismo en los depósitos lacustres pertenecientes al período cuaternario; y el tonelaje total calculado fue de 401,327.554 T.M. y representa la estimación de reservas probables.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. DEPÓSITO MINERAL

Según Gandhi & Sarkar, (2016), un yacimiento es una acumulación de una masa sólida y bastante continua de mena con ganga, que se distingue claramente por su forma y carácter de las rocas que la albergan. Un depósito mineral puede incluir uno o varios yacimientos. Los yacimientos se distinguen por su forma: (1) los yacimientos isométricos, (2) los yacimientos planos - laminados, vetas y lentes, y (3) Los cuerpos mineralizados alargados en una dirección se denominan columna con mineral o chimeneas de sección transversal ovalada.

2.2.1.1. Depósitos sedimentarios

Se originan a partir de procesos superficiales o cercanos a la superficie, como la evaporación (evaporitas: la mayoría de los depósitos de yeso, halita, etc.); de la extracción bioquímica y la precipitación, normalmente en masas de agua cerradas. Más del 90% de los depósitos de hierro del mundo se encuentran en formaciones de hierro bandeado (BIF); o por concentración física de partículas sólidas procedentes de la meteorización de minerales primarios y transportadas por corrientes de agua (placeres, que producen pepitas de oro, diamantes, etc.); la lixiviación de la roca deja minerales residuales (lateritas, Al, Ni, Fe). El carbón es un depósito mineral sedimentario. Muchas rocas de construcción, como la caliza y la arenisca, también pertenecen a este grupo. (Gandhi & Sarkar, 2016)

2.2.2. RECURSOS NO METÁLICOS

Gandhi & Sarkar (2016), manifiestan que los minerales no metálicos o industriales son materiales minerales que, aunque valiosos, no se utilizan principalmente como fuentes de metales o como combustibles. Varias rocas y minerales tienen un uso doble o múltiple (por ejemplo, el rutilo es una mena de metal "titanio" y también es un mineral industrial cuando se utiliza como fuente de TiO₂ para pigmentos). Los recursos no metálicos son importantes para la economía de un país. La aparición de minerales y rocas industriales abarca todas las apariciones geológicas. Muchos minerales y rocas pueden utilizarse en su estado natural tras su extracción, con o sin procesamiento, pero también pueden utilizarse tras algún tratamiento complejo. Los minerales no metálicos no son tan duros y no tienen brillo ni lustre propios. Como estos recursos se dan en cantidades abundantes, son menos caros.

Las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas se utilizan para la construcción (piedra dimensional) o como roca triturada y para ciertos usos especiales. Entre los minerales alógenos (clásticos) que se encuentran en las acumulaciones sedimentarias figuran la ilmenita, el rutilo, el circón, el cuarzo, la monacita y algunas gemas. Los minerales resultantes de la acción química o biogénica incluyen la caliza y las fosforitas. Estos pueden implicar precipitación química debida a cambios ambientales, como evaporación, cambio de pH, cambios de temperatura u otros factores que alteren el equilibrio, así como diagénesis. Los minerales evaporados o sedimentos químicos incluyen sales (NaCl y KCl), yeso, anhidrita, boruros y nitratos. Los minerales de las rocas metamórficas incluyen la calcita, la dolomita del mármol; minerales refractarios como la cianita, la sillimanita y el asbesto; abrasivos y/o gemas como los granates; y otros minerales como el talco y la esteatita.

Las piedras preciosas, además de su valor como joyas, tienen muchas aplicaciones industriales importantes. Las piedras preciosas incluyen una serie de minerales, a saber, diamantes, rubíes, esmeraldas, berilos, granates, topacios y circones, y algunas de ellas se utilizan con frecuencia como abrasivos debido a su dureza natural. Los diamantes, al ser la sustancia más dura, se utilizan en brocas y sierras diseñadas para cortar roca y acero. (Gandhi & Sarkar, 2016)

2.2.2.1. Usos de minerales no metálicos

Según Gandhi & Sarkar (2016), los minerales no metálicos y su uso en diversas industrias pueden agruparse del siguiente modo:

- Materiales de construcción: piedra, grava, arena, granito, caliza, mármol (para actividades de construcción, cemento, hormigón), material volcánico (fuente de grava), yeso.
- Agricultura: nitrato, fosfato de roca, compuestos de potasio (fuente importante de fertilizantes)
- Industrial: grafito (lubricante), halita (conservante alimentario), azufre (fertilizante, ácido), baritina (lodo de perforación), fluorita (pasta de dientes, teflón, acero, plásticos), bentonita (cemento, perforación de pozos petrolíferos), piedra pómez (abrasivo)
- Artículos domésticos: arena silíceo (artículos de vidrio), talco (lubricante, polvo cosmético), borato (limpieza).

2.2.3. ROCA CALIZA

Según Haldar (2020), las calizas son rocas carbonatadas compuestas predominantemente por fragmentos esqueléticos orgánicos de organismos marinos, como corales, foraminíferos y moluscos, y, en menor medida, de origen inorgánico, en el que el componente dominante es la calcita. Sus principales materiales son los minerales calcita y aragonito, que son diferentes formas cristalinas del carbonato cálcico (CaCO_3).

2.2.3.1. Composición mineral y condiciones físicas, químicas y biológicas para la cimentación de caliza

Los depósitos calcáreos están compuestos de calcita, aragonito y calcita, o sólo de uno o dos de estos minerales carbonatados, los sedimentos calcáreos litificados (caliza) contienen en su mayoría sólo calcita. Los otros dos minerales, el aragonito y la calcita magnésica, se transforman fácilmente en calcita estable durante los procesos diagenéticos. La caliza dolomítica compuesta de calcita y dolomita se forma por dolomitización diagenética tardía. La calcita, el aragonito y la calcita magnésica son excretados principalmente por el mar o por el agua dulce que contiene hidrógeno de Ca mediante procesos bioquímicos u orgánicos, en menor medida e inorgánicos. (Haldar, 2020)

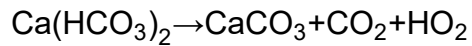
La secreción de calcita o aragonito depende principalmente de las relaciones molares de Mg/Ca. La secreción de aragonito es posible en todos los mares cálidos poco profundos con una elevada relación molar de Mg/Ca en comparación con la relación normal. La relación en los océanos del mundo es de 5,26. La calcita y la calcita con bajo contenido en magnesio segregan a una temperatura de unos 20°C y con una relación molar de Mg/Ca < 1 , como ocurre en los lagos y ríos de agua dulce. La excreción de calcita con alto contenido en magnesio del agua de mar está regulada principalmente por la tendencia de los organismos a construir sus esqueletos a partir de calcita magnesiana. El porcentaje de MgCO_3 isomórfico mezclado en la calcita magnesiana depende de la temperatura del agua de mar. El agua más caliente puede contener un alto porcentaje de calcita magnesiana de hasta 28 mol. % MgCO_3 . (Haldar, 2020)

Se puede concluir lo siguiente:

- El aragonito se excreta en el mar cálido y poco profundo con una alta proporción de Mg/Ca.

- La calcita y la calcita con bajo contenido en magnesio se excretan en el mar frío o profundo, donde las temperaturas son más bajas, así como en lagos y ríos.

La excreción de carbonato de Ca de una solución saturada en hidrogeno-carbonato de calcio tiene lugar según la siguiente reacción química:



Es evidente a partir de esta reacción química anterior que las secreciones de calcita o aragonito en agua que contiene carbonato de calcio-hidrógeno disuelto tienen lugar, si del carbonato de hidrógeno de alguna manera se elimina CO₂ o agua. La eliminación de CO₂ del mar o del agua dulce en la naturaleza puede ser causada por lo siguiente:

- Procesos bacteriológicos y fotosintéticos de plantas y cianobacterias (bacterias azul-verdosas y algas azul-verdosas).
- Calentamiento del agua
- Reducción de la presión atmosférica
- Pulverización de agua en gotas en las olas o cascadas
- La evaporación.

La extracción de carbonato por musgos y plantas acuáticas mediante procesos fotosintéticos contribuye a la formación de materia calcárea. Se ha establecido claramente el origen biogénico de la mayor parte del carbonato cálcico marino y de algunos de agua dulce. El origen inorgánico de muchas precipitaciones calcáreas marinas y superficiales es difícil de demostrar. (Haldar, 2020)

2.2.3.2. Clasificación de las calizas

Según Haldar (2020), las calizas se clasifican en tres tipos principales a saber: Marinas; Agua dulce; y Terrestre con respecto al origen.

Las calizas marinas son el tipo más común de rocas carbonatadas originadas en el mar. En la actualidad existen varias clasificaciones de calizas marinas en el mundo, siendo la más aplicada por Dunham (1962) y Embry y Klovan (1972). Según sus componentes se agrupan en dos tipos:

- Aloquímicos: agrupa todos los granos (esqueletales y no-esqueletales) y

conforman el "esqueleto" de las rocas.

- Ortoquímicos (fase de unión o pasta): agrupa la matriz y el cemento.

La matriz (micrita) es el carbonato autigénico intracuencial con un tamaño de partícula < 4 mm. Y el cemento es el componente autigénico de las rocas carbonáticas. En función del tamaño de cristal diferenciamos esparita (>30 mm); microesparita (entre 30 y 4 mm); y cementos micríticos, si el cemento tiene tamaño de cristal < 4 mm.

La clasificación de Dunham (1962) es más aplicable para describir el campo específico de deposición y determinar las características clave de la caliza (Fig. 2.2). Esta clasificación se basa en las características estructurales, la presencia o ausencia de barro carbonatado, la proporción relativa de granos y barro, los signos de unión organogénica del esqueleto sobre su desarrollo, la litificación en el lugar de deposición y la posición de crecimiento.

La caliza con los componentes estructurales primarios no esqueléticos y los granos esqueléticos/barro de carbonato recristalizados, cambiados y convertidos en masa cristalina de calcita se denominan "caliza cristalina".

Componentes originales no unidos en el momento de la deposición					Componentes originales unidos en la deposición			
<10% Componentes con dimensiones >2mm			>10% Componentes >2mm		Organismos de litificación en el hábitat y en posición de crecimiento o de unión de sus componentes por la actividad vital			
Las rocas contienen barro-micrita		Sin barro	Sin granos soportado, granos nadan en el barro = soporte barroso	Los granos tienen soporte en los poros de los granos se segrega cemento				
<10% componentes con diámetro de 0,03 - 2mm	>10% componentes con diámetro de 0,03 - 2mm	Grano soportado			Boundstone			
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framstone
La caliza barro-micrita					Cemento			

Figura 2.1. Clasificación de las calizas. Según Dunham, 1962, con actualizaciones Embry & Klovan, 1972.

Además de la forma cristalina ya mencionada de las calizas, Dunham (1962) distingue otros cinco tipos básicos de calizas, a saber:

- Caliza Mudstone que contiene barro carbonatado y menos del 10% de los diámetros de grano entre 0,03 y 2 mm.
- Caliza Wackestone que contiene lodo de cal y 10% - 50% de grano, que "nada" en el barro, o un soporte barroso, no granuloso.
- Caliza Packstone que contiene granos, que tienen soporte granular, tocándose entre sí y apoyándose, y barro de cal en poros intergranulares.
- Caliza Grainstone, no contiene lodo de cal, pero sólo los granos que tienen el apoyo mutuo, y el cemento de calcita secreta en los poros intergranulares.
- Caliza Boundstone que contiene componentes fósiles esqueléticos primarios ligados con la sedimentación, litificados sobre su hábitat en la posición de crecimiento o los componentes individuales relacionados con organismos, con la sedimentación y formación de biostromo, biohermo o estromatolito.

La clasificación de Dunham (1962) fue actualizada por Embry y Klovan (1972) introduciendo dos nuevos tipos de rocas: floatstone y rudstone, que contienen más de un 10% de grano de diámetro > 2 mm. Los boundstones se dividen en tres nuevos tipos: bafflestone, bindstone y framestone, dependiendo de la estructura y de la forma en que los organismos intervienen en la formación de estas rocas (Fig. 2.2).

2.2.3.3. Diagénesis de la caliza

Según Moore (1989), la diagénesis es el proceso de endurecimiento de sedimentos sueltos en rocas sedimentarias duras y compactas. Los sedimentos carbonatados puros y sueltos formarán caliza, y los sedimentos carbonatados orgánicos sueltos variados, rocas calizas esqueléticas mediante un proceso diagenético.

Haldar (2020), manifiesta que las rocas calizas sólidas de la actualidad se formaron por procesos diagenéticos tempranos y tardíos mediante la conversión de agua saturada primaria dura y lodo calcáreo blando, y granos bajo ubicación específica, zonas y condiciones ambientales específicas como:

- Procesos diagenéticos en zona marina (1 en Fig. 2.3)
- Procesos diagenéticos en la zona de evaporación (2 en la Fig. 2.3)
- Procesos diagenéticos en condiciones de zona mixta con agua meteórica y marina (3 en Fig. 2.3)
- Procesos diagenéticos en condiciones de zona meteórica y vadosa (4a y 4b en la Fig. 2.3)
- Procesos diagenéticos en superposición a mayor profundidad (5 en la Fig. 2.3).

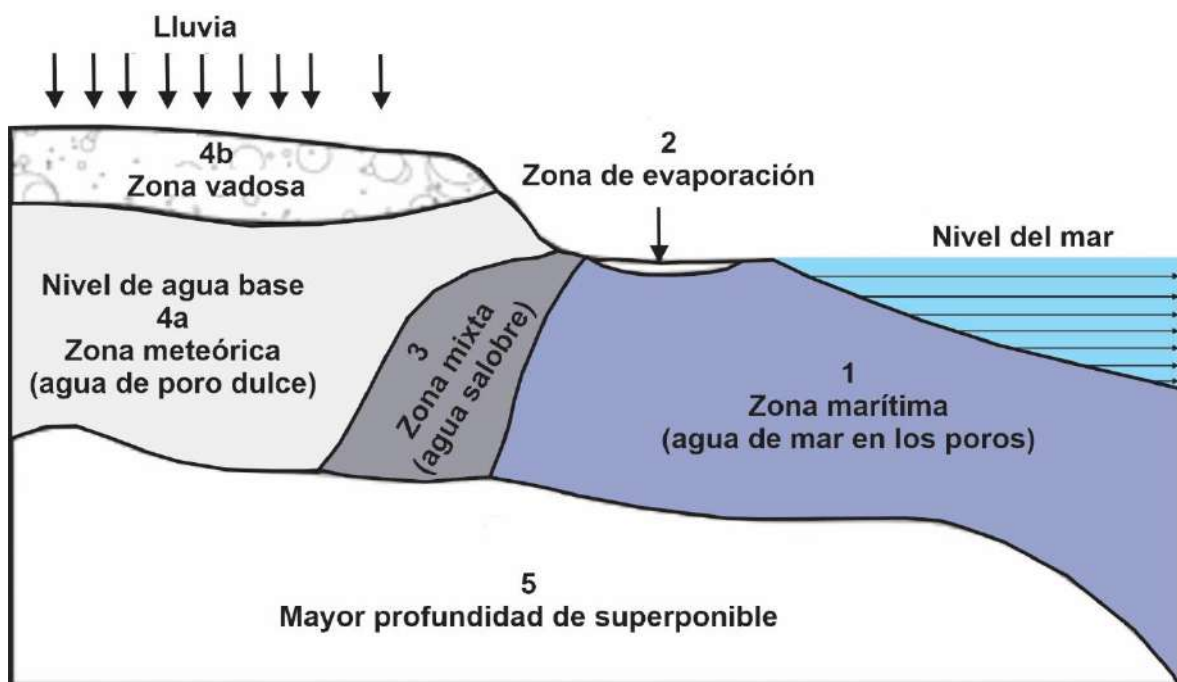


Figura 2.2. Diagrama esquemático de las zonas diagenéticas de los sedimentos carbonatados (Haldar, 2020).

Los procesos diagenéticos en la zona marina tienen lugar en sedimentos que se empapan de agua de mar en el fondo del mar poco profundo o más profundo, en las llanuras mareales y en las costas. Los procesos diagenéticos dependen en gran medida de la profundidad del agua y de la situación geográfica, en las llanuras mareales y en las costas en entornos marinos abiertos. Otro factor importante es el clima de la zona. La temperatura y la presión del agua de mar desempeñan un papel importante en el proceso diagenético de los sedimentos calcáreos mediante el descenso del agua caliente de la superficie a partes más frías del océano en profundidad. Los procesos fotosintéticos de plantas y animales marinos, que contienen CO_2 disuelto en el agua en forma de carbonato de hidrógeno, modifican aún más los procesos diagenéticos. Las grandes diferencias en las condiciones físicas y químicas que prevalecen en la zona diagenética marina en las zonas menos profundas y en las profundidades suelen distinguir entre dos zonas diagenéticas marinas principales: la zona diagenética de aguas poco profundas y la zona diagenética de aguas profundas (Haldar, 2020), como se indica a continuación:

- La zona diagenética de aguas someras es el área significativa para los procesos diagenéticos de cementación o secreción de aragonito fibroso y cemento de Mg-calcita en los poros de los depósitos carbonatados.
- La zona diagenética profunda se caracteriza por el agua de los poros no saturada de aragonito. Sólo el cemento de calcita en mosaico (en bloques) segrega con la disolución de aragonito por encima de la línea límite de profundidad de compensación de carbonatos (CCD). No hay secreción o cemento de calcita por debajo de esta línea CCD con la disolución de ingredientes de calcita.

La diagénesis por convección térmica “Kohout” en plataforma carbonatada es la circulación de agua subterránea salina en las profundidades de las plataformas carbonatadas. En la zona diagenética profunda, el proceso de dolomitización es muy lento y se produce debido a la convección térmica y a la saturación del agua de mar con respecto a la dolomita. (Haldar, 2020)

2.2.4. ÓXIDO DE CALCIO (CAL)

Gonzales & Ticona (2016), manifiestan que la cal se puede obtener normalmente por descomposición térmica de materiales como la roca caliza, que contiene carbonato de calcio (CaCO_3), material extraído de depósitos sedimentarios llamados caliches. Se somete a temperaturas muy altas, que oscilan entre 900 y 1000°C, en un horno. El proceso, llamado calcinación, libera una molécula de dióxido de carbono (CO_2), resultando el material llamado óxido de calcio (CaO), de color blanco y muy cáustico (quema los tejidos orgánicos) normalmente contiene también óxido de magnesio, óxido de silicio y pequeñas cantidades de óxidos de aluminio y hierro. Sin embargo, el proceso puede ser reversible, ya que, al enfriarse la cal, comienza a absorber nuevamente el CO_2 del aire, y después de un tiempo, vuelve a convertirse en CaCO_3 o carbonato de calcio.

2.2.4.1. Tipos de cal

Según Hernández et al. (1995), los tipos de cal son:

- Cal Viva: Se obtiene de la calcinación de la caliza que, al desprender anhídrido carbónico, se transforma en óxido de calcio. La cal viva debe ser capaz de combinarse con el agua, para transformarse de óxido a hidróxido y una vez apagada (hidratada), se aplique en la construcción.
- Cal hidratada: Se conoce con el nombre comercial de cal hidratada a la especie química de hidróxido de calcio, la cual es una base fuerte formada por el metal calcio unido a dos grupos hidróxidos.
- Cal hidráulica: Cal compuesta principalmente de hidróxido de calcio, sílica (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3) o mezclas sintéticas de composición similar. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer incluso debajo del agua.

2.2.4.2. Características fisicoquímicas de la cal viva

Los antecedentes fisicoquímicos recopilados, corresponden a los distintos tipos teóricos de cal que existen (Hernández et al., 1995).

Tabla 2.1. Características fisicoquímicas de los distintos tipos de cal viva.

Tipos de cal	Unidad	Calcítica	Dolomítica	Magnesiana
Nombre químico		Oxido de calcio	Oxido doble de calcio-magnesio	Oxido de magnesio
Formula química		CaO	CaO.MgO	MgO
Peso molecular	gr./mol	56.08	96.40	40.32
Punto de fusión	°C	2.570		2.800
Índice de refracción		1.838		1.736
Calor de solución	Kcal	+18.33		
Formación cristalina		Cúbica		Cúbica
Solubilidad a 0°C	gr./lt.	1.40		
Solubilidad a 100°C	gr./lt.	0.54		
Peso específico		3.2 - 3.4	3.2 - 3.4	3.65
Densidad en granza	gr./lt.	881 - 961	881 - 961	
Calor específico a 100°F	BTU/lb	0.19	0.21	
Angulo de reposo			50 – 55°	50 – 55°
Calor carbonatación	Cal/mol	43.300		28.900
Calor form. ΔH a 25°C	Kcal/mol	-151.7		-235.58
Energía libre ΔG a 25°C	Kcal/mol	-144.3		
Porcentaje de CaO puro	%	100	58.17	

Fuente: Tomado de National Lime Association (1988).

2.2.4.3. Usos y Aplicaciones de la cal viva

Según Gonzales & Ticona (2016), la cal viva es uno de los productos más conocidos desde la antigüedad y con más aplicaciones diversas, de manera que cubre prácticamente todos los campos de la actividad humana (económica) como son:

- **Industria:** En la siderurgia, Metalurgia, Química, Carburo cálcico (acetileno), Papel, Farmacéutica, Alimentaria, Vidrio y curtidos.
- **Construcción:** En la infraestructuras y edificación.
- **Protección del Medio Ambiente:** En el tratamiento de aguas de consumo (potabilización), tratamiento de aguas residuales y de lodos, re mineralización

de agua desalinizada, depuración de gases, tratamiento de residuos y tratamiento de suelos contaminados.

- Agricultura: en la enmienda, fertilizante, compost, tratamientos fitosanitarios, biocida y alimentación animal

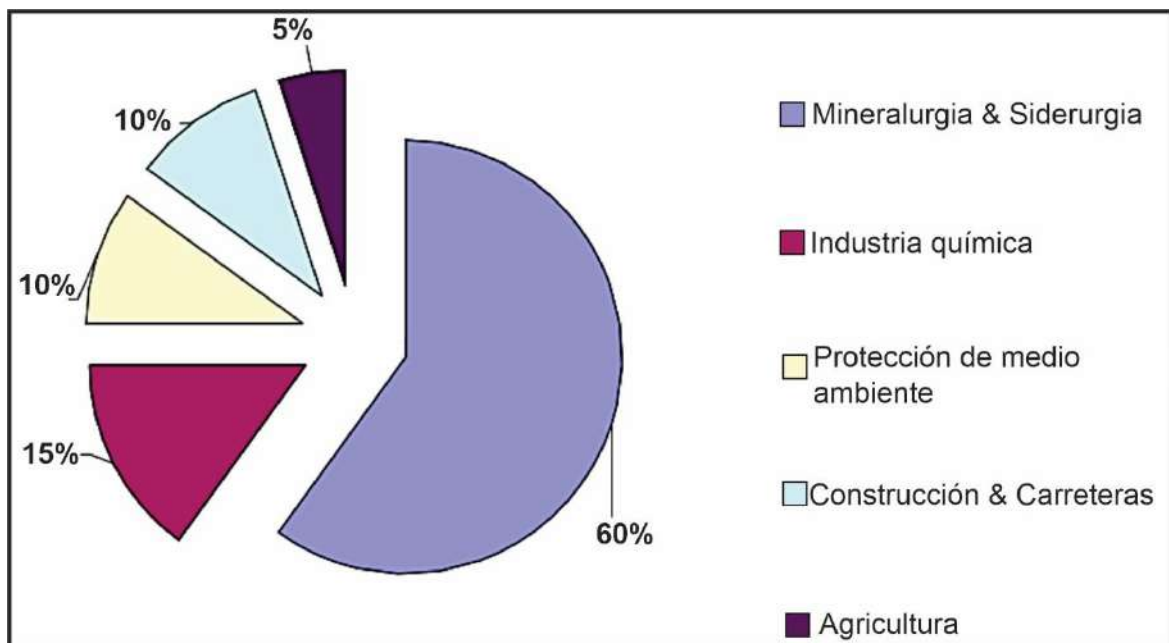


Figura 2.3. Distribución de usos de la cal (Gonzales & Ticona, 2016).

2.2.5. MODELAMIENTO 3D

La llegada de los sistemas informáticos de modelización de la tierra en 3D sugiere que existe potencial para transformar los procesos de trabajo en equipos de activos interdisciplinarios. Al compartir representaciones digitales tridimensionales comunes del subsuelo, el equipo puede iterar entre disciplinas con mayor facilidad, incorporando rápidamente nueva información a los modelos existentes. Hasta ahora, muchos equipos interdisciplinarios han hecho hincapié en la importancia de la comunicación por software, la visualización tridimensional y el acceso a los datos.

Los GIS 3D se han desarrollado como una nueva plataforma en la que todos los especialistas en la materia, junto con el grupo de control de la organización, pueden mejorar su valor mediante actividades concretas de interpretación e identificación. En la actualidad es concebible que herramientas multifacéticas de consulta espacial en 3D puedan expresar adecuadamente el esquema de exploración local y analizar

y corroborar los resultados de la consulta a través de la perforación, la cartografía en 3D, o mediante el ejercicio de pruebas de validación.(Gandhi & Sarkar, 2016)

La nueva innovación de programación extiende a 3D todas las ventajas de la cartografía GIS 2D al facilitar la elaboración de modelos comunes de la tierra, como se muestra en la Fig. 2.5. La innovación del modelo de tierra común permite la representación expresa de datos de exploración espacial 2D y 3D. El resultado es un modelo terrestre espacial predecible en términos de geología, geofísica y geoquímica, que constituyen individualmente subconjuntos del modelo terrestre común. (Gandhi & Sarkar, 2016)

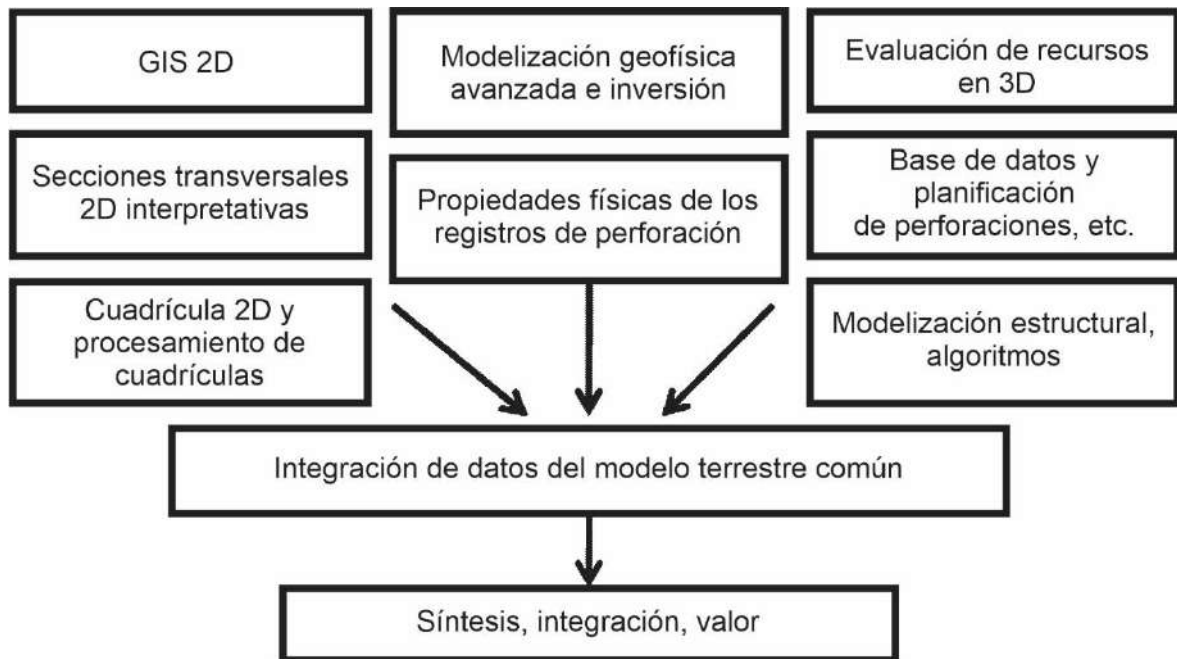


Figura 2.4. El modelo terrestre común toma como entrada todos los datos convencionales de exploración espacial y proporciona una integración explícita de todos los componentes en un modelo único de la Tierra coherente con todos los datos de entrada (Gandhi & Sarka, 2016)

Los modelos geológicos 3D se han utilizado como herramientas de exploración e interpretación, y para la delineación de cuerpos mineralizados. Los modelos resultantes pueden visualizarse, compartirse, modificarse y consultarse. Estos modelos pueden utilizarse para delinear la trayectoria de perforación y como marco geológico de fondo para la interpretación de datos geofísicos.

Un avance importante en el campo de la exploración minera es el concepto de “modelo terrestre común”, que es un esquema cuantitativo de la Tierra con consistencia de datos, comprobable mediante sondeos y limitado por el refinamiento a medida que llegan nuevos datos. En el que el conocimiento experto de un depósito mineral se captura y almacena en un GIS 3D con el objetivo de que el explorador pueda utilizarlo. En general, el modelo terrestre común es un instrumento para atribuir el espacio 3D normalmente impartido a todos los fragmentos significativos de datos que se espera que hagan importante una actividad de búsqueda de minerales en 3D (Fig. 2.6). La información de un yacimiento mineral o de una zona de potencial geológico evidente se extrae y almacena en formato GIS 3D que permite la integración, visualización, superposición y salida final de los datos como mapa de potencial mineral. (Gandhi & Sarkar, 2016)

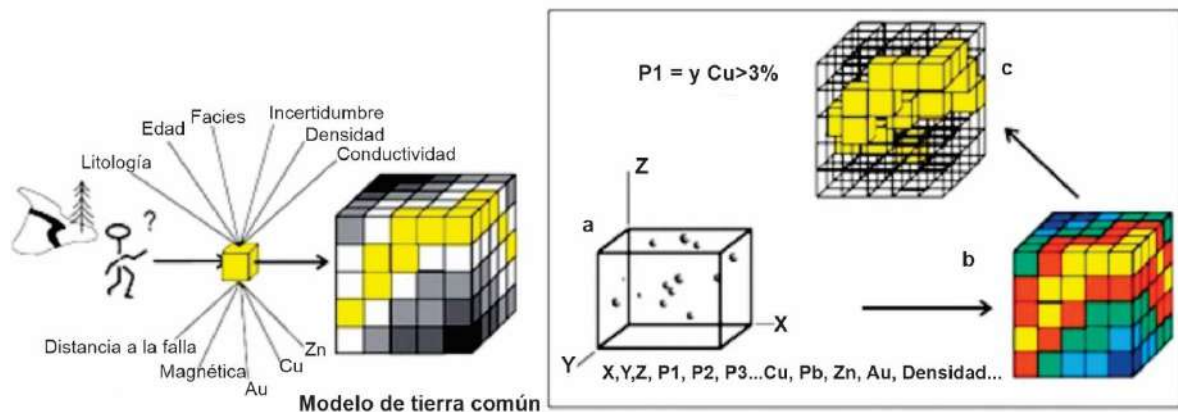


Figura 2. 5.(Izquierda) Concepto de modelo terrestre común. Requisitos con tamaños de celda que varían en dimensión, regularidad y tamaño (Derecha); Consulta geoespacial utilizando una propiedad P1, un código de litología y una abundancia de Cu >3 wt%. (a) El conjunto de datos de partida, (b) Combina todos estos parámetros estimados en el modelo común de la tierra, (c) Un conjunto seleccionado, resultante de una consulta para la que los criterios son verdaderos (de Kemp, 2007).

2.2.5.1. Geomodelación SIG 3D

Gandhi & Sarkar, (2016), manifiesta que el GIS 3D proporciona un medio de innovación clave en el que se puede intentar la modelización geológica de forma exhaustiva y cuantitativa. Puede proporcionar comprensiones basadas en el conocimiento y en los datos que pueden intentarse mediante pruebas de aceptación

cruzada/perforación directa de objetivos. La geología cuantitativa sugiere interconectar datos geológicos, geoquímicos y geofísicos. Diversa geo información temática captada a diferentes escalas, desde la regional hasta la de yacimiento, conduce al desarrollo de modelos geológicos capaces de visualizar diferentes parámetros espaciales de depósitos minerales en 3D.

Una exploración SIG en 3D permite utilizar todos y cada uno de los parámetros accesibles para inferir objetivos coordinados en 3D. Este enfoque permite determinar objetivos en profundidad y se transforma en prácticas de exploración ingeniosas y exhaustivas. La metodología puede combinar la geología y los modelos de depósitos minerales mediante geofísica para incorporar las cualidades físicas de las rocas y su relación con la geología y los tipos de roca de una zona antes de la obtención de imágenes del subsuelo.

2.2.5.2. Leapfrog Geo

Cabrera (2025), Leapfrog Geo es un software de modelamiento geológico en 3D que permite construir modelos a partir de múltiples datos: Topografía, cartografiado superficial, datos estructurales, perforaciones, geoquímica y geofísica. Este software caracteriza por:

- Su interfaz intuitiva
- Sus herramientas diseñadas para geólogos
- Sus procesos funcionales que ahorran tiempo
- Su capacidad para construir modelos rápidamente y con precisión

Además, visualiza con rapidez modelos 3D con claridad y comprensión, incluso de los datos más complejos. Las herramientas interactivas de visualización 2D y 3D ayudan a analizar los datos y a detectar correlaciones y patrones. Se ve un modelo desde cualquier ángulo y detecta tendencias y errores. Analiza datos utilizando herramientas estadísticas como gráficos de dispersión, gráficos Q-Q, diagramas de caja e histogramas. Visualiza datos estructurales en 2D o 3D. y Crea una escena utilizando distintos modelos para ver sus relaciones.

2.2.6. CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS MINERALES

Según Gandhi & Sarkar (2016), los recursos minerales se clasifican en función del grado de conocimiento geológico de continuidad y la consideración de parámetros de los análisis tecno-económico. La clasificación está regulada por leyes, normas y estándares industriales. Se han propuesto numerosos esquemas en todo el mundo; sin embargo, CIM, JORC, UNFC, SEC, SAMREC están en moda en la industria minera mundial.

La clasificación de los recursos minerales es el proceso de categorización de los depósitos minerales en función de su seguridad geológica y su valor comercial. La caracterización de los activos minerales es el procedimiento de clasificación de los depósitos minerales con respecto a la continuidad de la mineralización y el valor de mercado. Los depósitos minerales pueden clasificarse como (1) recursos que podrían llegar a ser extraíbles de forma rentable en un futuro previsible y (2) reservas que están asociadas con un alto grado de confianza geológica y actualmente extraíbles legal, técnica y económicamente. De manera similar, en términos mineros, un yacimiento tiene esencialmente un componente económico conocido como reserva, con o sin recursos adicionales. (Gandhi & Sarkar, 2016)

2.2.6.1. Recursos minerales

Según JORC (2012), Un 'Recurso Mineral' es una concentración u ocurrencia de material sólido de interés económico dentro o sobre la corteza terrestre en tal forma, ley (o calidad) y cantidad que hay expectativas razonables para una eventual extracción económica. La ubicación, cantidad, ley (o calidad), continuidad y otras características geológicas de un Recurso Mineral son conocidas, estimadas o interpretadas a partir de evidencia y conocimiento geológico específico, incluyendo muestreo. Los Recursos Minerales se subdividen en orden de creciente confianza geológica en las categorías Inferido, Indicado y Medido.

2.2.6.2. Reserva de mineral

Una "Reserva de Mena" es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido y/o Indicado. Incluye dilución de materiales y tolerancias por pérdidas que se puedan producir cuando el material es minado o extraído y es definido por estudios apropiados a nivel de Factibilidad o PreFactibilidad que

consideran la aplicación de Factores Modificadores y demuestran que, al momento de reportar, la extracción podría ser razonablemente justificada. El punto de referencia en el cual se definen las Reservas, generalmente el punto donde el mineral es entregado a la planta de proceso, debe ser declarado. Es importante que, en todas las situaciones donde el punto de referencia sea diferente, como por ejemplo para un producto vendible, una declaración aclaratoria sea incluida para asegurar que el lector esté totalmente informado de lo que está siendo reportado. (JORC, 2012)

Los recursos son convertibles en reservas aplicando factores modificadores como los geológicos y mineros, metalúrgicos, económicos, medioambientales, de marketing, jurídicos, políticos y sociales. Algunas multinacionales mineras explican los recursos/reservas minerales como se indica a continuación:

- **Recurso mineral:** La parte de un volumen mineralizado de roca que actualmente se espera que sea capaz de una eventual extracción económica, pero que aún no se ha demostrado que lo es.
- **Reservas minerales:** La parte de un volumen mineralizado que se estima capaz de una explotación legal y económica. Casi siempre es un subconjunto más pequeño de los recursos minerales.
- **Recurso de primer orden:** Deposito mineral o grupo de depósitos excepcionales que pueden albergar una o varias explotaciones mineras de gran envergadura, larga vida útil y bajo coste.

2.2.6.3. Sistema de clasificación convencional

El grado de control de las estimaciones de tonelaje y ley puede clasificarse cualitativamente utilizando una terminología adecuada. Con el fin de aumentar la entrada de exploración creando un alto nivel de confianza y viabilidad de los análisis tecno-económica, la categorización se ha agrupado en "reservas económicas", y "recursos condicionales sub - económicos". Las reservas de mineral económicas y los recursos sub - económicos se subdividen a su vez en desarrolladas, probadas, probables y posibles. (Haldar, 2020)

- Las reservas "desarrolladas", se ha completado la perforación de definición o

delineación del espacio cercano. El riesgo de error en el tonelaje y la ley es mínimo. La confianza de la estimación es del ~90%.

- Las reservas "probadas" o "medidas" se estiman a partir de muestras de afloramientos, trincheras, niveles de desarrollo y perforaciones diamantinas. El depósito se expone mediante trincheras o pozos de prueba para explotación a cielo abierto y desarrollo de uno o dos niveles para perforación subterránea. La confianza de la estimación es del ~80%.
- La estimación de las reservas "probables" o "indicadas" se basa esencialmente en perforaciones superficiales y subterráneas de gran amplitud. La confianza de la estimación es del ~70%.
- Los recursos "posibles" o "inferidos" se basan en pocas muestras dispersas en la extensión del depósito mineral. Habría suficientes evidencias de un entorno mineralizado dentro de un amplio marco geológico con una confianza del ~50%.

2.2.6.4. Comité Mixto de Reservas de Mineral (JORC)

Según Gandhi & Sarkar (2016), el código JORC proporciona un marco obligatorio para la categorización de las estimaciones de tonelaje y ley según lo indicado por el creciente grado de conocimiento geológico de continuidad y sobre la consideración de parámetros de análisis tecno-económicos y establece especificaciones mínimas para los Informes Abiertos de resultados de Exploración, Recursos y Reservas. Los informes abiertos elaborados con arreglo al Código JORC son informes elaborados con el objetivo final de evaluar a los especialistas financieros o especuladores potenciales y sus asesores.

Haldar (2020), manifiesta que el JORC tiene debidamente en cuenta factores mineros, metalúrgicos, técnicos, económicos, de marketing, jurídicos, sociales, medioambientales y gubernamentales (Fig. 2.8). El esquema imparte una lista de comprobación de la autenticidad en cada nivel. Los recursos minerales son concentraciones u ocurrencias de prospectos minerales que eventualmente pueden convertirse en fuentes de extracción económica, se clasifica en la categoría inferida.

Resultados de la exploración		
Aumento del nivel de conocimientos geológicos y de confianza ↓	Recursos minerales (in situ)	Reservas de mineral (explotables)
	Inferido	Posible
	Indicados	Probables
	Medidos	Provdados
	Consideración de factores económicos, mineros, metalúrgicos, comerciales, jurídicos, sociales, medioambientales y gubernamentales →	

Figura 2.6. Código JORC (Joint Ore Reserve Committee) desarrollado por profesionales del AusIMM que muestra la relación entre recursos minerales y reservas minerales (Haldar, 2020).

Por otra parte, las reservas minerales son la parte económicamente explotable del mineral medido y/o indicado. Incluye la dilución y las reservas por pérdidas de mineral, que probablemente se produzcan cuando se extraiga el material. La relación entre recursos minerales y reservas minerales se presenta en la (Fig. 2.8).

2.2.6.5. Clasificación Marco de las Naciones Unidas (UNFC)

Gandhi & Sarkar (2016), dice que se trata de un sistema de codificación de bloques de reservas minerales en función de parámetros geológicos, de viabilidad y económicos. La clasificación refleja directamente el estado de la investigación en las fases de exploración y viabilidad junto con la economía de un bloque/reserva mineral. El sistema UNFC se muestra en la Fig. 2.9. Esta agrupación de casos para (1) explicar las cuestiones semánticas ya existentes (2) proporcionar una correspondencia de los diversos tipos de depósitos de carbón y minerales, y (3) ofrecer una documentación clara y explícita de las clases de recursos/reservas que ayudaría al procesamiento automatizado de datos y al intercambio de información.

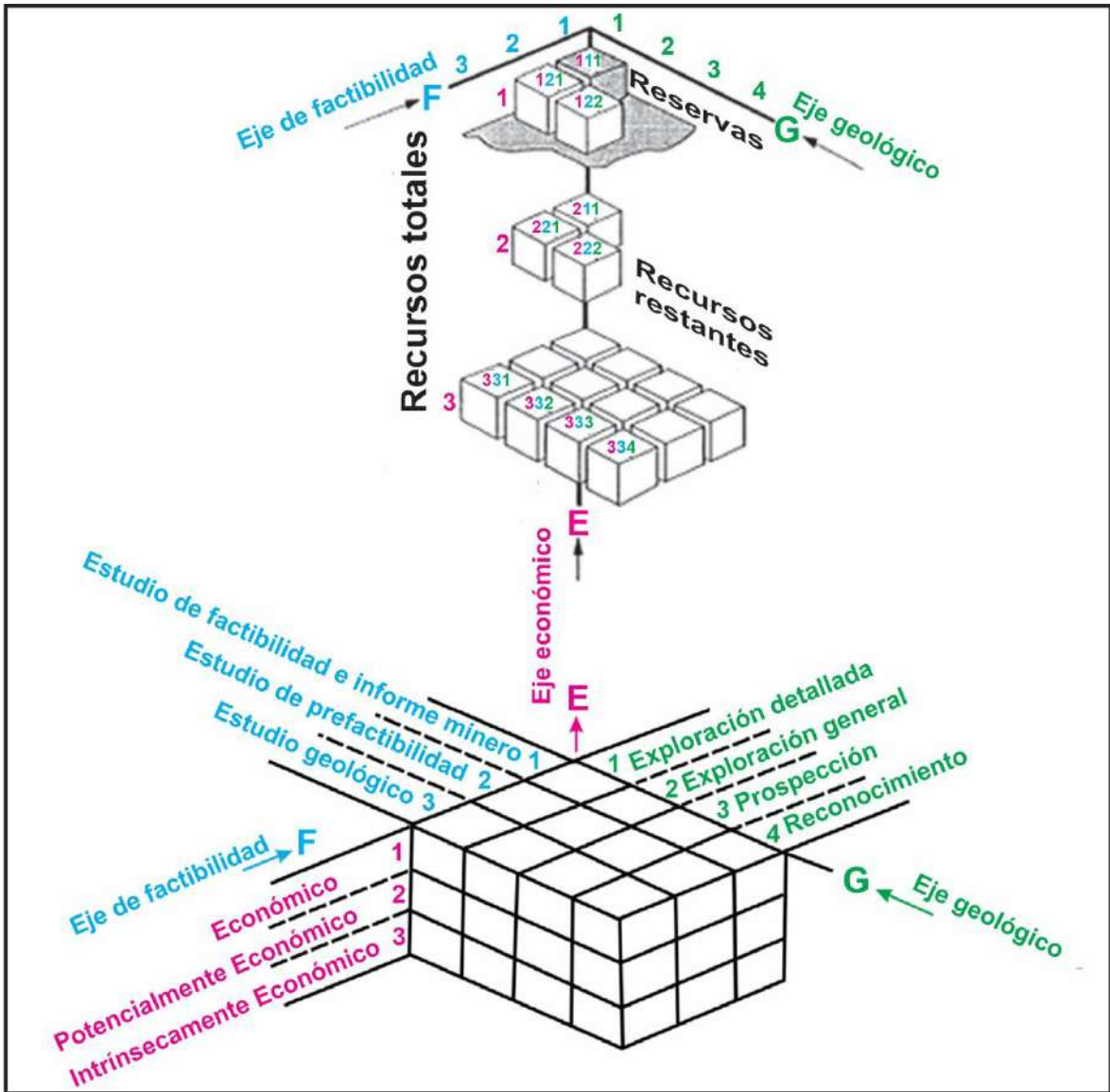


Figura 2.7. Sistema de clasificación de la UNFC (Gandhi & Sarkar, 2016).

La Tabla 2.2 resume los códigos de las distintas fases de las reservas/recursos minerales.

Tabla 2.2. Ejemplo de Conversión de la UN al Sistema CMMI utilizando Códigos.

Código	Sistema CMMI	Propuesta de la UNFC
111	Reserva probada	Reserva probada
121 & 122	Reserva probable	Reserva probable
211	Recurso medido	Recurso de factibilidad
221 & 222	Recurso indicado	Recurso de prefactibilidad
331	Recurso medido	Recurso medido
332	Recurso indicado	Recurso indicado
333	Recurso inferido	Recurso inferido
334	No existe	Recurso de reconocimiento

Fuente: tomado de Gandhi & Sarkar (2016).

Esta clasificación es la más adecuada para los proyectos de exploración que dan lugar a estudios de viabilidad, pero no abarca las minas/yacimientos en producción en fase de desarrollo, ya que no refleja el concepto de disponibilidad de mineral. Aunque el código 111 (Reserva Mineral Probada) es casi equivalente a "Reservas Desarrolladas", pero estas últimas están delimitadas por dos niveles de acarreo completamente desarrollados y están listas para la extracción. El UNFC no facilita la presupuestación de la producción, la programación, la contabilidad del mineral, la medida de la dilución ni atiende a las necesidades de desarrollo de una mina para la sustitución de mineral tonelada a tonelada. (Gandhi & Sarkar, 2016)

2.2.7. ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS

Gandhi & Sarkar (2016), manifiesta que un recurso mineral puede estimarse principalmente a partir de información geo científica con algunas aportaciones de otras disciplinas. Una reserva mineral, que es un subconjunto modificado de un recurso mineral medido o indicado, requiere la consideración de todos los factores que afectan a la extracción, incluidos los factores mineros, metalúrgicos, económicos, de comercialización, legales, medioambientales, sociales y gubernamentales, y en la mayoría de los casos debe estimarse con la aportación de una serie de disciplinas.

El objetivo de la estimación de los recursos/reservas minerales es, en primer lugar, ayudar a determinar si merece la pena explotar una propiedad y, en caso afirmativo, orientar su posterior desarrollo. Los modelos de yacimientos son la base de numerosas decisiones económicas y la exactitud de estas decisiones dependerá directamente de la precisión de la estimación de los recursos y las reservas. La capacidad de proporcionar estimaciones deseables de recursos/reservas se basa en el desarrollo de técnicas geológicas, geométricas y matemáticas estadísticas de construcción de modelos de depósitos minerales. La estimación de recursos/reservas sigue siendo un arte, que requiere práctica y criterio en su aplicación. Incluso con la potencia de las técnicas (tanto actuales como futuras), esto seguirá siendo así, debido a la complejidad geológica inherente a los depósitos minerales. (Gandhi & Sarkar, 2016)

2.2.7.1. Estimación convencional de recursos y reservas

El cálculo de la ley y el tonelaje en un depósito mineral por los métodos convencionales se realiza normalmente mediante el análisis de los datos de las muestras encontradas en un patrón poligonal, triangular, de sección transversal, de cuadrícula estratificada aleatoria (RSG), de contorno y de sección vertical longitudinal (LVS) (Fig. 2.10). La elección del método depende de la forma, dimensiones y complejidad del depósito mineral y del tipo, dimensiones y patrón de espaciado de la información de la muestra. (Gandhi & Sarkar, 2016)

Según Sarkar (1988), las áreas geométricas se les asignan leyes para las reservas basadas en promedios de ensayos de sondeos adyacentes. Al utilizar estos métodos, no se tiene en cuenta la mineralización que existe realmente entre los taladros. Estos métodos están en función de la geometría, lo que simplifica el cálculo.

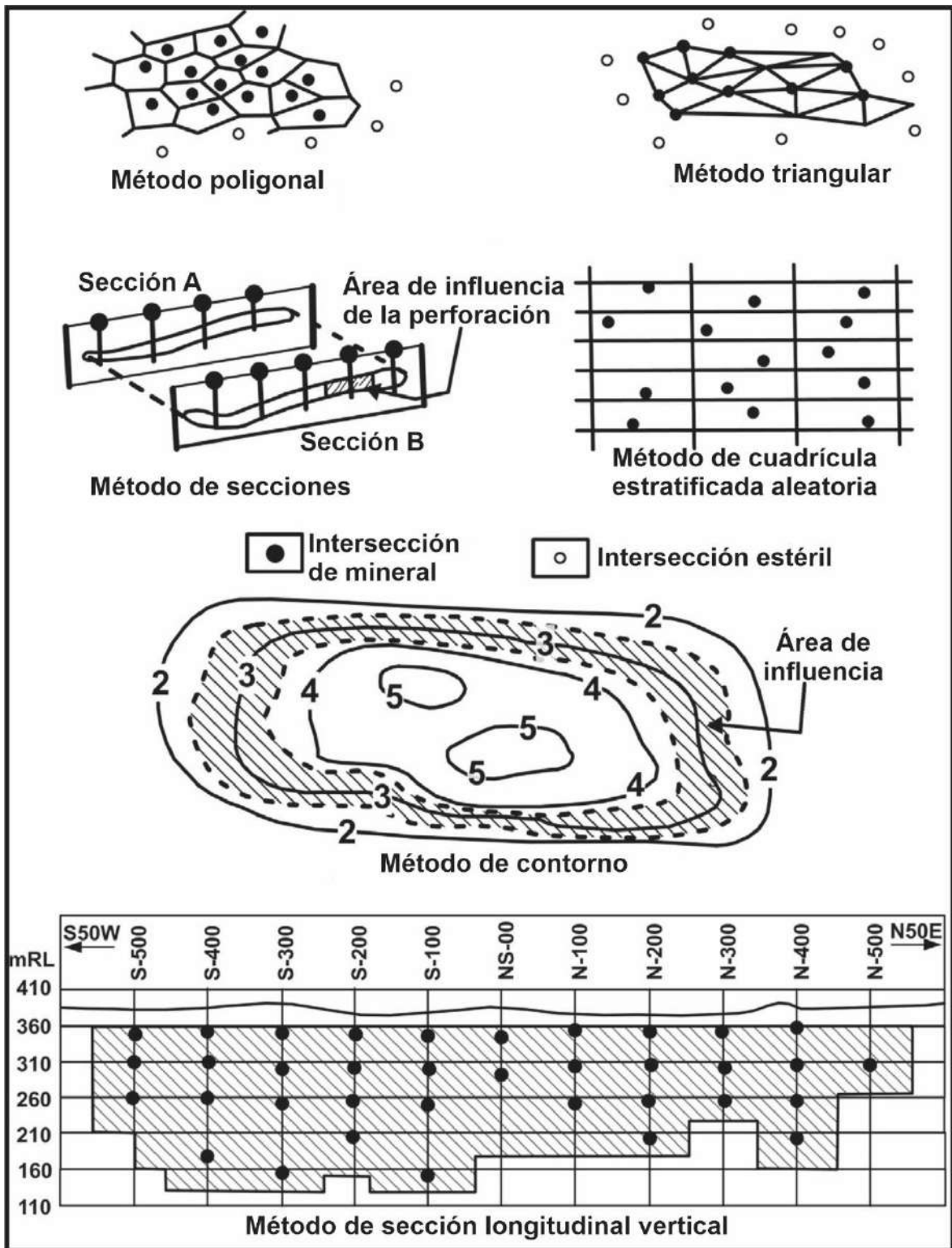


Figura 2.8. Métodos convencionales de estimación de recursos/reservas (Gandhi & Sarkar, 2016).

2.2.7.2. Estimación geoestadística de recursos y reservas

Giraldo (2002), manifiesta que la geoestadística es una rama de la estadística que trata fenómenos espaciales. Su interés primordial es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos. Esta herramienta ofrece una manera de describir la continuidad espacial, que es un rasgo distintivo esencial de muchos fenómenos naturales, y proporciona adaptaciones de las técnicas clásicas de regresión para tomar ventajas de esta continuidad.

Petitgas (1996), la define como una aplicación de la teoría de probabilidades a la estimación estadística de variables espaciales.

Cuando el objetivo es hacer predicción, la geoestadística opera básicamente en dos etapas. La primera es el análisis estructural, en la cual se describe la correlación entre puntos en el espacio. En la segunda fase se hace predicción en sitios de la región no muestreados por medio de la técnica kriging. Este es un proceso que calcula un promedio ponderado de las observaciones muestrales. Los pesos asignados a los valores muestrales son apropiadamente determinados por la estructura espacial de correlación establecida en la primera etapa y por la configuración de muestreo.

- **Modelos Teóricos de Semivarianza**

Existen diversos modelos teóricos de semivarianza que pueden ajustarse al semivariograma experimental. En general dichos modelos pueden dividirse en no acotados (lineal, logarítmico, potencial) y acotados (esférico, exponencial, gaussiano). Los del segundo grupo garantizan que la covarianza de los incrementos es finita, por lo cual son ampliamente usados cuando hay evidencia de que presentan buen ajuste. (Giraldo, 2002)

- **Método Kriging**

Según Giraldo (2002), Kriging encierra un conjunto de métodos de predicción espacial que se fundamentan en la minimización del error cuadrático medio de predicción. En la Tabla 2.3 se mencionan los tipos de kriging y algunas de sus propiedades.

Tabla 2.3. Tipos de predictores kriging y sus propiedades.

Tipo de predictor	Nombre	Propiedades
Lineal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Simple ▪ Ordinario ▪ Universal 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Son óptimos si hay normalidad multivariada ▪ Independiente de las distribuciones son los mejores predictores linealmente
No lineal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Indicador ▪ Probabilístico ▪ Log Normal, Trans-Gaussiano ▪ Disyuntivo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Son predictores óptimos

Fuente: Tomado de Giraldo, 2002.

Además Gandhi & Sarkar (2016), expresa que la técnica de kriging de bloques en 3D dentro de un límite mineralizado delineado implica (1) el cálculo de la variabilidad media de muestra a muestra de las muestras que caen dentro del radio de búsqueda; (2) la selección de las muestras más cercanas que se encuentran dentro del radio de búsqueda; (3) establecimiento de matrices de kriging que implican la creación de una matriz de semivarianza que contenga las variabilidades de muestra esperadas para cada uno de los valores de muestra de la zona, y la creación de una matriz que contenga la variabilidad media entre cada uno de los valores de muestra de la zona más cercana y el bloque; (4) establecimiento de la matriz de coeficientes de kriging; y (5) multiplicación de los coeficientes de kriging por sus respectivos valores de muestra para proporcionar estimaciones kriged (KE). La varianza de kriging (KV) se calcula a partir de la suma de los productos de los coeficientes de ponderación y sus respectivas varianzas de bloque de muestra. Se añade una constante adicional, el multiplicador de lag-rango, para minimizar la KV.

2.2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Cal. Es el producto obtenido de la calcinación de un material calcáreo (caliza, mármol, etc.), dando lugar a la formación del óxido de calcio CaO (cal viva). Cuando se agrega agua se torna en un hidrato de calcio (Dávila, 2011) .

Calcita. Mineral cuya fórmula es CO_3Ca . Cristaliza en el sistema romboédrico, es uno de los minerales más comunes de la superficie terrestre. Es el mineral esencial de las rocas calcáreas (Dávila, 2011).

Carbonáceo. Acumulación de materiales vegetales (restos de plantas), realizada en períodos geológicos pasados y que dieron lugar a la formación de carbón mineral (Dávila, 2011).

Depósito. Material consolidado o no consolidado que se ha acumulado por un proceso o agente natural (Licker, 2003).

Diagénesis. Conjunto de fenómenos que actúan en el proceso de formación de las rocas, desde el inicio de su depósito. Los procesos diagenéticos actúan sobre un depósito sedimentario, hasta dar lugar a la formación de una roca, a veces hasta llegar al metamorfismo. Ejm. la arcilla se transforma en argilita o lutita, el limo en limolita, el fango en fangolita, la arena en arenisca, los cantos rodados en conglomerados, etc. En la diagénesis intervienen las condiciones de presión, temperatura, tiempo y los elementos cementantes individuales. (Dávila, 2011)

Estimación de recursos minerales. no son cálculos precisos, dependen de la interpretación de información limitada sobre la ubicación, forma y continuidad del depósito, y de los resultados de muestreo disponibles. El reporte de las cifras de tonelaje y tenor o calidad, deben reflejar la incertidumbre relativa de la estimación, redondeando a cifras significativas apropiadas, y en el caso de los Recursos Minerales Inferidos, por el uso de términos como «aproximadamente». Para enfatizar la naturaleza imprecisa de una estimación de Recursos Minerales, el resultado final siempre debe ser referido como una estimación y no como un cálculo. (CCRR, 2018)

Geoestadística. Rama de la estadística aplicada que se centra en la descripción y el análisis matemáticos de las observaciones geológicas (Licker, 2003).

Ley promedio. Contenido puro de metal en relación con el mineral trabajado, generalmente dado en porcentaje u onzas/tonelada (Dávila, 2011).

Mineral. Sustancia generalmente inorgánica que se produce de forma natural y que suele tener una estructura cristalina cuyas características de dureza, lustre, color, clivaje, fractura y densidad relativa pueden utilizarse para identificarla. Cada mineral tiene una composición química característica. Las rocas están compuestas de minerales. En términos más generales, a veces se denomina "minerales" a ciertas sustancias orgánicas obtenidas mediante la minería. (Allaby, 2008)

Sedimento. Material fragmentario originado por la erosión y/o alteración de las rocas preexistentes susceptible de ser transportado y depositado en los fondos marinos, fondos lacustres y depresiones continentales. Los sedimentos se clasifican de acuerdo al ambiente de deposición, al tipo de deposición y a la granulometría. (Dávila, 2011)

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Geográfica.

El área de investigación se encuentra delimitado por nueve vértices con las coordenadas en el sistema Unidad Técnica de Medida (UTM), Datum WGS-84 (ver Plano 01, de Ubicación). Y las coordenadas de los vértices se describe en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Vértices del área de investigación.

Vértice	Norte	Este
1	9257314.11	770849.97
2	9256838.58	770626.68
3	9256886.86	769965.24
4	9257715.22	770025.70
5	9257695.50	770295.80
6	9257302.92	770260.39
7	9257278.57	770593.97
8	9257497.90	770773.28
9	9257393.30	771042.82

3.1.2. Política

El área de estudio se sitúa en el Distrito de Bambamarca. Provincia de Hualgayoc, y Región de Cajamarca.

3.1.3. Accesibilidad

El acceso para llegar al área de investigación es:

Desde la ciudad de Cajamarca se sigue la ruta hacia la ciudad de Bambamarca (120 km.), pasando por los campamentos de las empresas Mineras Yanacocha, Gold Fields, La Cima y el distrito de Hualgayoc. Finalmente 9 Km antes de llegar a

la ciudad de Bambamarca se encuentra la minera no metálica ““COLQUIRRUMI N°49-A””.

Desde la carretera Cajamarca – Bambamarca, hacia las instalaciones de la empresa minera no metálica es de 3 minutos para lo cual la empresa toma medidas de seguridad para cada trabajador y para las visitas respectivas.

En la Tabla 3.2 se describe acceso, tiempo y distancia para llegar al proyecto minero.

Tabla 3.2. Acceso al área de investigación.

Tramo	Distancia (Km)	Tipo de Vía	Tiempo
Cajamarca - Hualgayoc	93	Asfaltada	144 min
Hualgayoc - Proyecto	15	Carretera Asfaltada/afirmada (por tramos)	18 min
Proyecto – Bambamarca	12	Carretera Asfaltada/afirmada (por tramos)	15 min



Figura 3.1. Acceso terrestre para llegar al área de investigación desde la ciudad de Cajamarca.

3.2. PROCEDIMIENTOS

3.2.1. Etapa preliminar

Esta investigación inicia con la recopilación de antecedentes teóricos, y la selección de bibliografía especificada especialmente en cálculos de reserva para proceder al desarrollo del proyecto. También se desarrolló un análisis de imágenes satelitales del área de investigación, dándole énfasis en la interpretación del relieve de la superficie terrestre.

3.2.2. Etapa de campo

Se procedió a reconocer el área de investigación, para identificar y cartografiar la litología de la Formación Cajamarca de la cual se desarrolló los cálculos de reserva. En el aspecto litológico se identificó los afloramientos rocosos y el tipo de roca (composición, textura, mineralización y alteración) que presentan. Además, se tomó mediciones de rumbo y buzamiento de los estratos y toma de coordenadas con el GPS en el sistema UTM. Datum WGS-84.

3.2.3. Etapa de gabinete

En el procesamiento de los datos obtenidos de campo se analizó con el software ArcGis para la elaboración de planos y perfiles. Posteriormente se elaboró un modelo geológico en 3D en el software Leapfrog Geo para determinar volúmenes de los macizos rocosos de caliza y hacer su respectivo cálculo de reserva. Finalmente se hizo la discusión de resultados obtenidos y la elaboración final del documento de tesis.

3.2.4. Metodología

En la metodología utilizada se detalló el tipo de investigación, según el nivel, el diseño, su naturaleza, y su finalidad. Todos estos aspectos desarrollados en la presente investigación se describen en Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Clasificación y Tipo de investigación.

Clasificación	Tipos de investigación
1. Según el nivel	Descriptiva: El nivel de la investigación es descriptiva, porque identifica y caracteriza la litología, geomorfología y estructuras geológicas.
2. Según el diseño	Transversal: El diseño de la investigación es transeccional en el tiempo debido a que se estudió en un determinado tiempo el cálculo de reserva de la minera no metálica "COLQUIRRUMI N°49-A"
3. Según su naturaleza	Cualitativa – cuantitativa: La naturaleza de la investigación es cualitativa debido a que se basa en sucesos complejos en su medio natural, con información cualitativa como las características de Formación Cajamarca especialmente en el porcentaje de óxido de calcio de la roca caliza, y cuantitativa por el cálculo de reserva del óxido de calcio.
4. Según la finalidad	Aplicativa: Según la finalidad de la investigación, esta es aplicativa, porque se utilizaron conocimientos teóricos ya existentes para determinar el cálculo de reserva. El cual es uso de explotación de óxido de calcio como yacimiento no metálico.

Fuente: modificado de Arias (2012).

3.2.4.1. Población de estudio

El afloramiento rocoso de la Formación Cajamarca, que comprende ±48.33 Has. de área de la concesión de la minera no metálica "COLQUIRRUMI N°49-A", localizada en el caserío Apán Bajo, Distrito de Bambamarca.

3.2.4.2. Muestra

Litología, estructuras geológicas y geomorfología.

3.2.4.3. Unidad de análisis

Está constituida por la roca Caliza de la Formación Cajamarca, el porcentaje de óxido de calcio CaO en toneladas y modelamiento geológico en 3D.

3.2.5. Identificación de variables

Para la investigación se ha identificado como variables independientes modelamiento geológico 3D, porcentaje de CaO; y como variable dependiente el cálculo de reserva.

3.2.6. Técnicas

Las técnicas para la recolección de datos son directas en campo a partir de la observación geológica del área, identificación y descripción de litología, geomorfología y estructuras geológicas teniendo en cuenta la medición de azimut y buzamientos con la brújula Geo Brunton de las estratificaciones.

Al mismo tiempo se dio la toma de coordenadas con GPS en el sistema UTM. Datum WGS-84, para plotear en los planos el afloramiento de rocas y de estructuras. La toma fotográfica se desarrolló para evidencia del trabajo en campo y una mejor referencia del lugar de investigación. Por último, el análisis e interpretación para el modelamiento en 3D de la geología y de la reserva de roca caliza se llevó a cabo en el ordenador con los softwares ArcGis y Leapfrog Geo.

3.2.7 Instrumentos y equipos

En el desarrollo de la presente investigación se utilizaron diversos instrumentos y equipos (Tabla 3.4), que hicieron posible la toma de datos y el análisis e interpretación de estos datos.

Tabla 3.4. Descripción de Instrumentos y equipos.

Instrumentos	Descripción
Planos Satelital y topográfico a escala 1/4000	Para cartografiar en el área de investigación la litología y estructuras presentes
Libreta de campo	Anotar datos medidos de estructuras, hacer croquis o dibujos observados en campo y anotar algunas observaciones.
Protactor de escalas 1/1000 y 1/2000	Instrumento complementario para plotear datos en los planos a una escala determinada.
Picota de geólogo	Para extraer muestras de mano de rocas.
Lupa de aumento 10x	Observar la textura y mineralogía de las rocas.
Lápiz rayador	Identificar la dureza de algunos minerales.
Ácido clorhídrico de 40%	Detectar rocas con contenido de carbonatos.
Equipos	Descripción
Brújula Geo Brunton	Para medir orientaciones y buzamientos de las estratificaciones, fracturas y sacar pendientes.
GPS Garmin navegador	Ubicar estructuras geológicas y puntos de control dentro del área de investigación.
Cámara fotográfica digital de 32MP	Tomar fotografías para tener evidencia del trabajo en campo e ilustrar las mejores exposiciones de las estructuras.
Laptop DELL	Para desarrollar todo el trabajo en gabinete y el informe final de la presente tesis.

3.3. GEOMORFOLOGÍA

El área de investigación geomorfológicamente se clasificó según su pendiente (ver Plano 04, Geomorfológico). Además, presenta una altitud mínima de 2940 m.s.n.m. y una altitud máxima de 3185 m.s.n.m.

Tabla 3.5. Clasificación de geomorfología.

Geoforma	Pendiente
Planicie	0° - 8°
Ladera	8° - 20°
Lomada	20° - 50°
Escarpe	> 50°

Fuente: Tomado de Rodríguez (2014).

También se clasificó teniendo en cuenta su ambiente morfogenético, donde se clasifica de la siguiente manera:

- Ambiente denudacional: Este ambiente abarca la mayor área en la investigación teniendo como componentes morfogenéticos a la planicie, ladera y lomada.
- Ambiente estructural: Este ambiente está definido específicamente por un solo componente morfogenético (escarpe), producto de la actividad tectónica (ver Foto 3.2.)

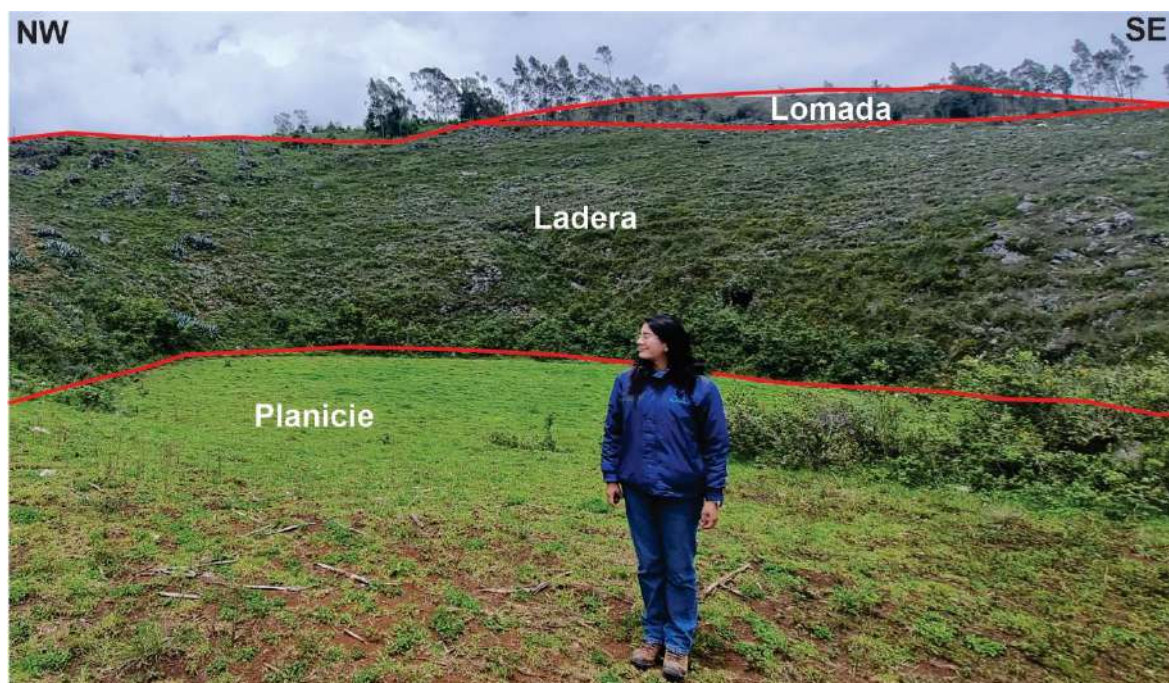


Foto 3.1. Vista de las geoformas: Planicie 0°-8°, Ladera 8°-20°, Lomada 20°-50°. Estas geoformas se encuentran al NW del área de investigación sobre la Formación Cajamarca.



Foto 3.2. Vista de la geofoma del tipo Escarpe $> 50^\circ$. Esta geofoma se encuentra al SE del área de investigación donde también se observa la estratificación de los estratos de la Formación Cajamarca.

3.4. GEOLOGÍA LOCAL

3.4.1. Grupo Quilquiñán

Litológicamente está constituido por calizas grises con intercalaciones de limolitas, en algunos estratos se ve la presencia de arcillas. Las intercalaciones de los estratos de calizas margosas de este grupo son gruesos en el base intercalado con estratos delgados de arcillitas, hacia el tope el espesor de los estratos aumenta para entrar en contacto agradacional a Formación Cajamarca. En el área de investigación el Grupo Quilquiñán se encuentra mayormente cubiertas por suelo o terrenos de cultivo.

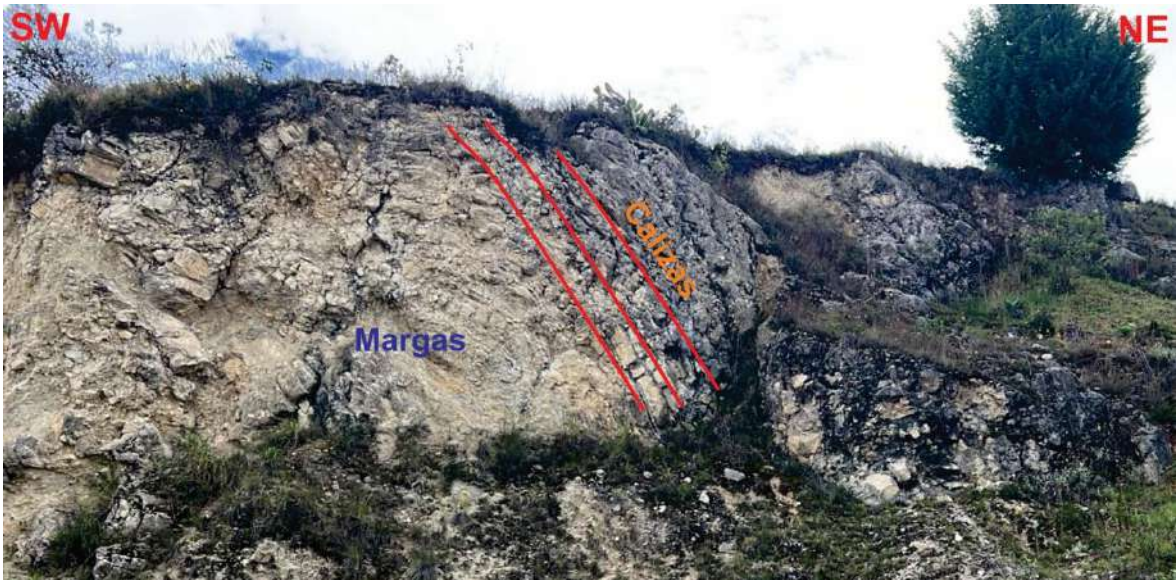


Foto 3.3. En la foto se puede observar un afloramiento rocoso de estratos delgados de calizas claras nodulares intercaladas con margas de color pardo-amarillentas. También se puede observar que el afloramiento está fuertemente fracturada y alterada.

3.4.2. Formación Cajamarca

Esta Formación geológica litológicamente está constituida por calizas mudstone en base a la clasificación visual de Dunham (1962), de color gris claro a blanquecino, los estratos de esta Formación poseen un espesor mayor a 60cm, cuyos afloramientos en superficie exhiben una meteorización kárstica con presencia de lenares. En el área de investigación esta litología alberga las reservas que contiene porcentajes altos de óxido de calcio "CaO". Además, esta Formación suprayace concordantemente sobre el Grupo Quilquiñán y con la misma relación infrayace a la Formación Celendín. El grosor de toda la Formación Cajamarca varía entre los 600 y 700 m, formado en un ambiente marino muy profundo.



Foto 3.4. (a) Afloramiento de calizas macizas de la Formación Cajamarca. (b) Muestra de mano de roca caliza, que según la clasificación visual de Dunham es una caliza mudstone.

3.4.3. Depósitos cuaternarios

Producto de la fuerte erosión en las rocas Cretácicas, se tiene depósitos Cuaternarios recientes de tipo coluvial-aluvial, los sedimentos se encuentran compuestos por cantos, gravas de formas subredondeadas a redondeadas, con matriz de limos y arenas de coloraciones rojizas y amarillentas debido a la contaminación de sustancias con minerales FeMg disueltos por los flujos de agua, así como por la meteorización de las rocas existentes del área de investigación.



Foto 3.5. En la foto se observa depósitos cuaternarios coluviales compuesto de arenas, limos, arcillas y cantos. En el área el espesor de estos depósitos varía entre 1m a 10m.

3.5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

3.5.1. Diaclasas

En el área de investigación se distinguió 2 familias de diaclasas, las intersecciones de estos conjuntos por lo general forman una Letra “X” (Foto 3.6). La distribución de las diaclasas varía según el espesor de los estratos, siendo así que el espaciamiento entre diaclasas es de mayor longitud en la Formación Cajamarca respecto al Grupo Quilquiñán.

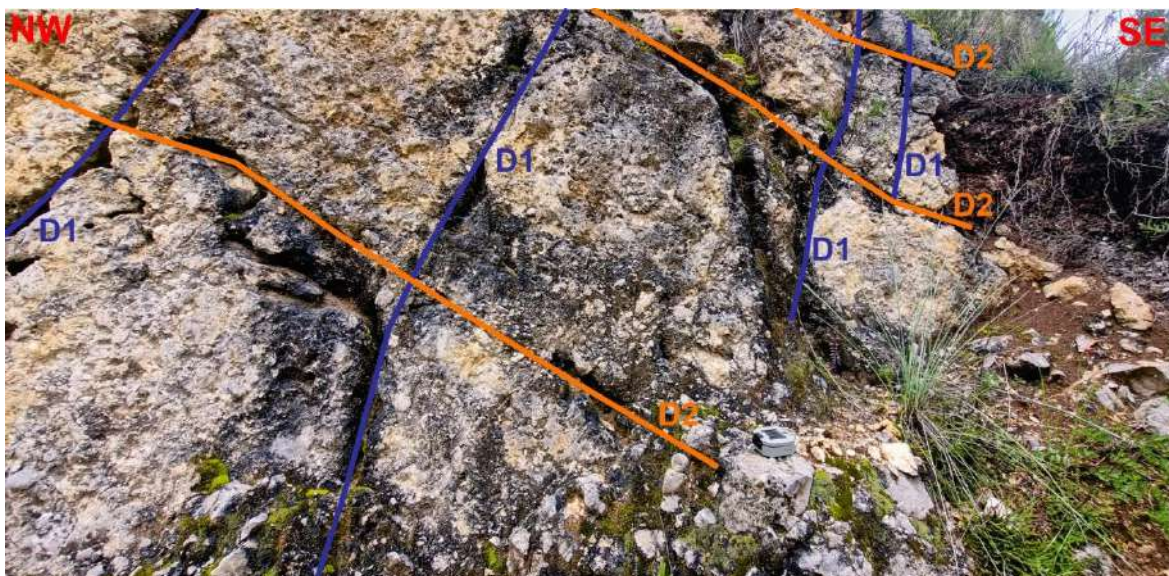


Foto 3.6. Familias de diaclasas (naranja: N185° de rumbo y 76°NW de buzamiento, azul: N96° de rumbo y 85°SW de buzamiento) en plano de estrato de la Formación Cajamarca.

Algunas diaclasas se encuentran rellenas de minerales denominadas venillas. En el área de investigación estas venillas son carbonatos (Calcita). Además, el relleno de las venas es del tipo en bloque y en algunos casos se encuentran oxidadas producto de la alteración.



Foto 3.7. En la foto se observa una venilla de calcita en la Formación Cajamarca, con $N145^\circ$ de rumbo y $44^\circ SW$ de buzamiento.

3.5.2. Fallas



Foto 3.8. Planos de falla con fibras recristalizadas (indicador cinemático) en roca caliza de la Formación Cajamarca. (a) Falla dextral con componente normal, ubicado en rocas de la Formación Cajamarca, su plano de falla tiene como rumbo de $N160^\circ$ y $60^\circ SW$ de buzamiento.

3.6. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Tras el cartografiado litológico se identificó sectores potenciales de roca caliza con alto porcentaje de CaO, la cual se procedió a recolectar una muestra representativa y se realizó la descripción macroscópica; las muestras fueron llevadas al laboratorio donde se determinó la composición mineralógica, físicos, químicos, difracción de rayos x, combustibilidad, reactividad y distribución granulométrica, que a continuación se detallara:

3.6.1. Estudio macroscópico

La muestra de roca caliza que fue sometida a los análisis presenta una muestra homogénea con textura microcristalina y de color marrón amarillento pálido.

Muestra de roca carbonatada



Foto 3.9. (a) Muestra de roca carbonatada tal como se recibió. (b) Muestra de roca carbonatada tras la trituración.

Muestra de Cal quemada



Foto 3.10. (a) Muestra de cal calcinada a 1050°C durante 3h. (b) Muestra de cal tras la prueba de degradación.

3.6.2. Análisis químico-físicos y mineralógicos

La clasificación y pruebas físico-mecánicas de la roca caliza presentan:

- Clasificación química: Caliza
- Densidad real o absoluta: 2.72g/cm³
- Humedad máxima: 1.1%
- Ensayo de degradación a 10 mm: <2%
- Suciedad en la superficie de la roca: sin polvo

Y los análisis químicos y mineralógicos se detallan en las Tablas 3.6 y 3.7.

Tabla 3.6. Análisis químico.

Análisis químico (XRF-WDS)	Muestra	Formula	%
Pérdida en el encendido	TM-01	L.o.i	43.83
Cuarzo	TM-46	SiO ₂	1.22
Aluminio	TM-46	Al ₂ O ₃	0.29
Hierro	TM-46	Fe ₂ O ₃	0.15
Calcio	TM-46	CaO	53.55
Magnesio	TM-46	MgO	0.64
Sulfato	TM-46	SO ₃	0.09
Sodio	TM-46	Na ₂ O	0.01
Potasio	TM-46	K ₂ O	0.14
Manganeso	TM-46	MnO	0.01
Bario	TM-46	BaO	<0.01
Estroncio	TM-46	SrO	0.04
Fosforo	TM-46	P ₂ O ₅	0.04
Titanio	TM-46	TiO ₂	0.01
Cloruro	TM-46	Cl ⁻	<0.01
Total			100
Humedad	TM-03	H ₂ O	0.10
Residuo insoluble	TM-43	Ins Res	
Carbonatos (expresados en CO ₂)	TM-02	CO ₂	

Fuente: CIMPROGETTI (2023).

Tabla 3.7. Análisis mineralógico.

Análisis mineralógico (XRD-QPA)	Muestra	Formula	%
Calcita	TM-47	α-CaCO ₃	98.2
Cuarzo	TM-47	SiO ₂	1.2
Clinocloro	TM-47	ND	0.4
Illita	TM-47	ND	0.2
Total			100

Fuente: CIMPROGETTI (2023).

3.6.3. Difracción de rayos X (XDR)

La muestra de roca caliza se llevó a un análisis de difracción de rayos X para determinar su composición mineralógica como se muestra en la Figura 3.2.

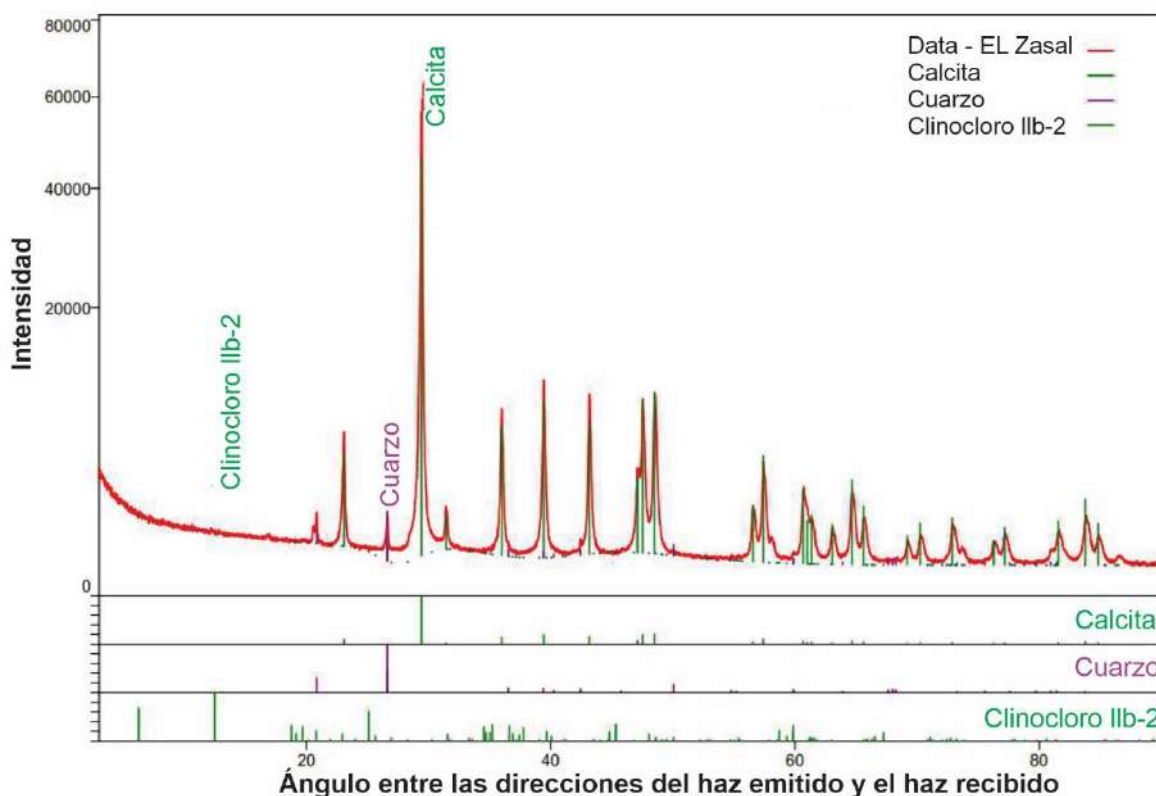


Figura 3.2. Resultados del XDR, en la cual se observa que la muestra presenta altos porcentajes de Calcita, seguido por de cuarzo y clinocloro.

3.6.4. Combustibilidad y análisis de la cal viva

Los Análisis físico-mecánico de la roca caliza presenta: Un ensayo de dilatación a 700 °C: 0%, Ensayo de degradación (pérdida de peso a 10 mm): 28%, Ensayo de degradación (pérdida de peso a 19 mm): 40.7%, y Prueba de caída: 37.6%. A continuación, se detalla el análisis térmico (TG-DTG) en muestra masiva (100 g), y la prueba de sobrecombustión a 1300°C.

Tabla 3.8. Porcentaje de calcinado.

T(°C)	800	850	900	950	1000	1050	1100	1200
L.o.i. (%)		2.5		12.1		29.6		43.8
% calcinado		5.6		27.7		67.7		100

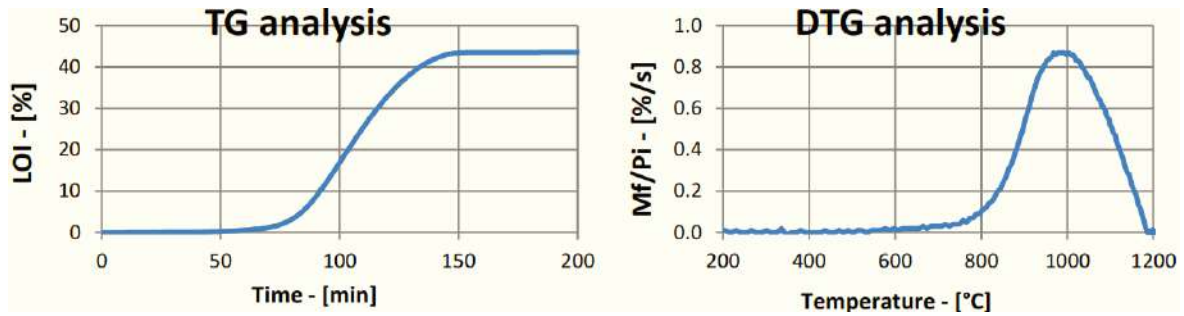


Figura 3.3. Gráfico de análisis térmico por TG y DTG.



Figura 3.4. Prueba de sobrecombustión a 1300 °C.

3.6.5. Reactividad

El análisis fisicoquímico de la cal presenta: Temperatura de combustión a 1050°C, temperatura máxima de apagado a 73.5°C, un aumento de temperatura a 40 °C en 1.8min, y un índice de cal disponible a 92.5%.

Para esto se desarrolló el Método de ensayo de apagado, la cual su procedimiento es: Se añaden 150 g de cal a tiempo cero en un termo que contiene 600 mL de agua a 20 °C; la lechada de cal se mantiene en movimiento mediante un agitador a la velocidad de 300 rpm. La muestra de roca caliza se quema en mufla a 1050 °C durante 3+3 hora.

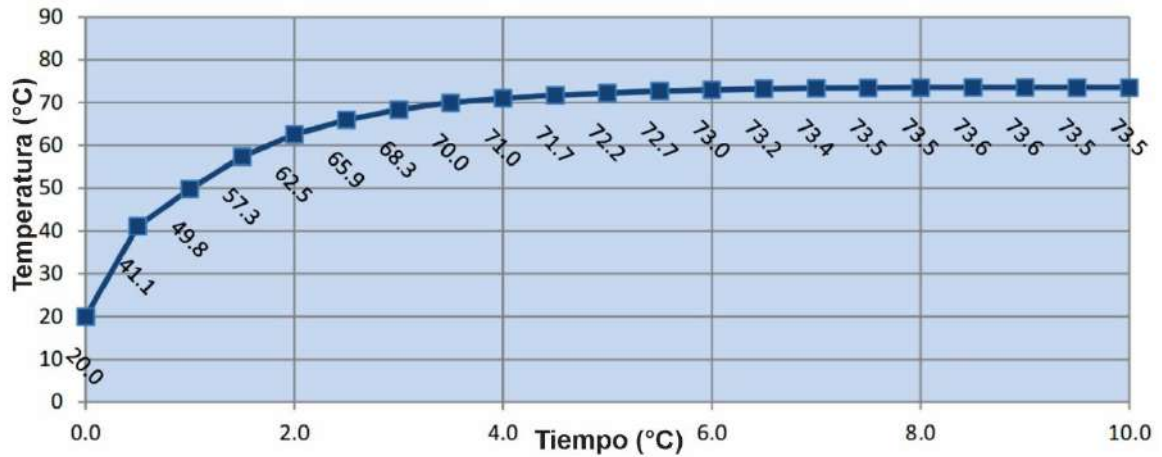


Figura 3.5. Gráfico de aumento de temperatura de la por el método de ensayo de apagado.

3.6.6. Forma de la roca y distribución granulométrica

La forma, tamaño y distribución granulométrica de la roca se describe en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Forma y tamaño de la roca.

Granulometría	Longitud	Anchura	Espesor	Alargamiento	Llanura	Forma	esfericidad
mm	49	35	8	1.40	4.38	PL	0.577
mm	47	39	28	1.21	1.39	ED	0.781
mm	48	40	22	1.20	1.82	PL	0.755
mm	48	48	15	1.00	3.20	PL	0.680
mm	86	37	31	2.32	1.19	ST	0.732
mm	51	38	31	1.34	1.23	ED	0.783
mm	55	37	24	1.49	1.54	ED	0.756
mm	51	34	25	1.50	1.36	ED	0.767
mm	64	42	22	1.52	1.91	PL	0.725
mm	46	32	30	1.44	1.07	ED	0.786
mm	49	32	18	1.53	1.78	PL	0.735
mm	49	37	17	1.32	2.18	PL	0.720
Media	54	38	23	1.44	1.92	IR	0.733
Leyenda				FS= Palo plano formado			
ED= Equidimensional				IR= Irregular			
ST= Adhesivo				UNI= Uniforme			
PL= En forma de placa							
Alargamiento crítico y planeidad > 2				Índice crítico de esfericidad <0,7			
Distribución granulométrica aproximada				32	48	mm	

Fuente: CIMPROGETTI (2023).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este capítulo describe: los resultados del modelamiento en 3D del área de investigación con la generación de bloques en 3D de la litología y de las reservas que contiene la concesión minera no metálica “COLQUIRRUMI N°49-A”; para luego hallar su cálculo de reserva teniendo en cuenta el volumen del bloque en 3D de la reserva y de las propiedades físicas de la roca caliza; y por último el análisis sobre la contratación de la hipótesis planteada al inicio.

4.1. MODELAMIENTO EN 3D

El modelamiento en 3D se llevó a cabo en el software Leapfrog Geo, donde se utilizó imágenes satelitales Alos Palsar para generar la topografía del área de investigación y así generar la superficie en 3D de su relieve terrestre, como se presentó en la Fig. 4.1 (ver anexo Modelos N°01 y N°02).

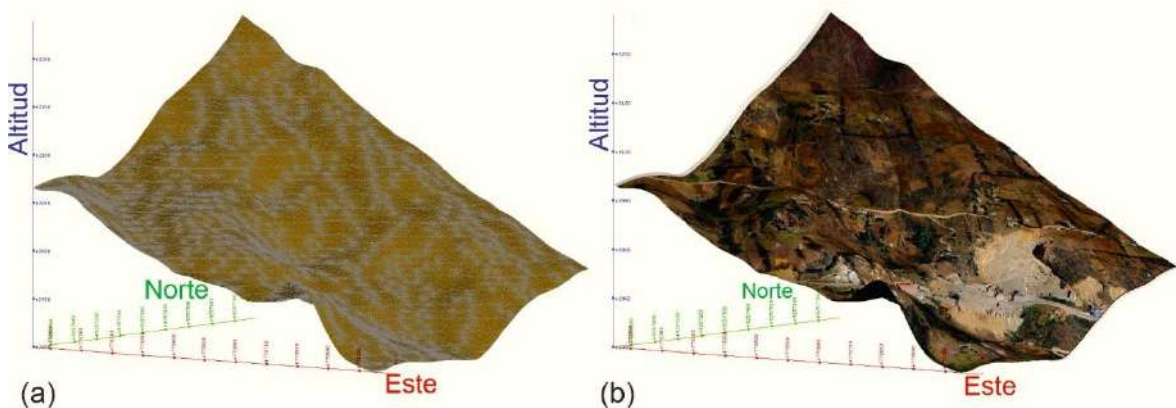


Figura 4.1. (a) Superficie en 3D del área de investigación, (b) Superficie en 3D solapado con imagen satelital del área.

Luego, para generar los bloques tridimensionales de la litología y de las reservas de la concesión minera no metálica COLQUIRRUMI N°49-A, se generaron perfiles geológicos interpretados con la información del cartografiado en superficie, estos perfiles tienen orientación SW-NE y NW-SE (Figs. 4.2. y 4.3).

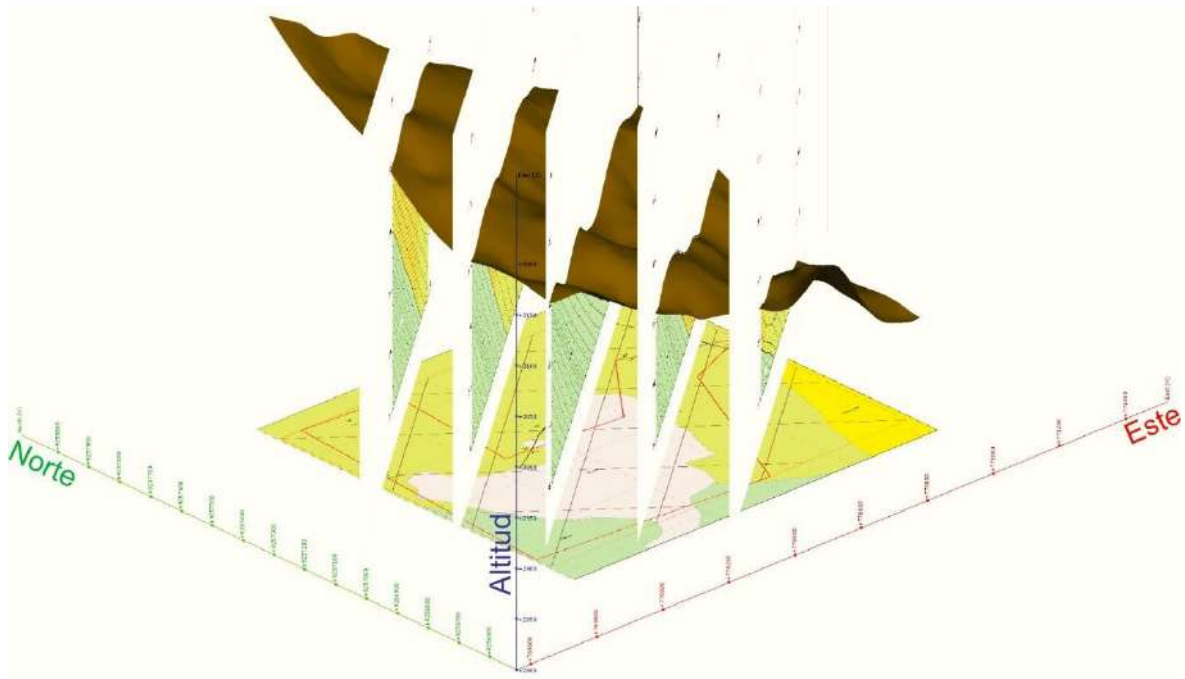


Figura 4.2. Vista de la superficie en 3D del área con los perfiles geológicos de orientación SW-NE (Ver Anexo Modelos N°03).

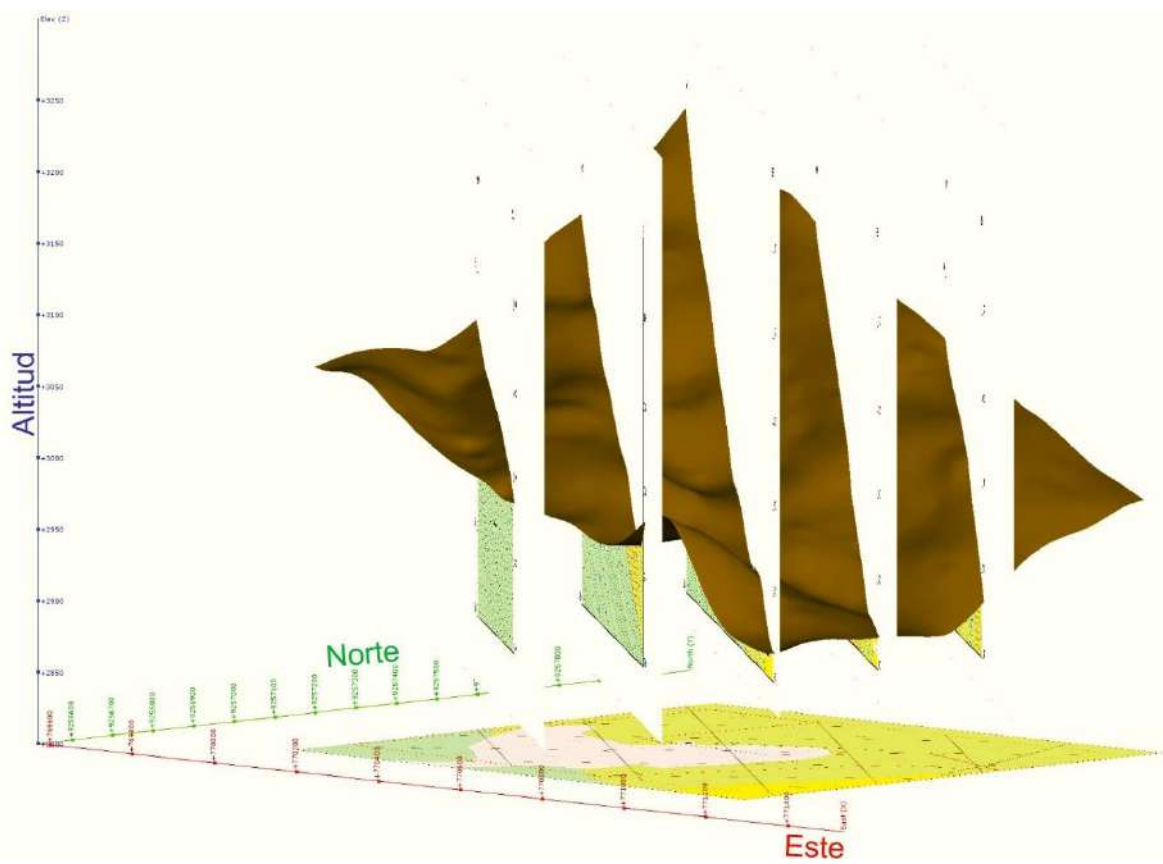


Figura 4.3. Vista de la superficie en 3D del área con los perfiles geológicos de orientación NW-SE (Ver Anexo Modelos N°04).

Finalmente se hizo el modelamiento geológico en 3D del área, donde se obtuvieron el volumen en metros cúbicos de cada sólido de la litología y de las reservas, esto se muestra en las siguientes figuras:

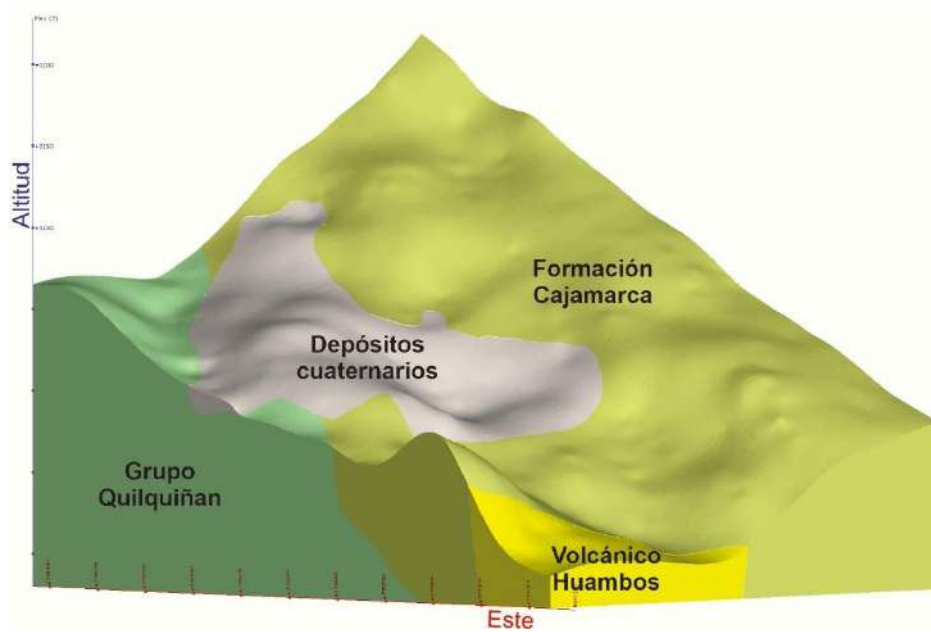


Figura 4.4. Vista del modelamiento geológico en 3D del área (Ver Modelos N°05).

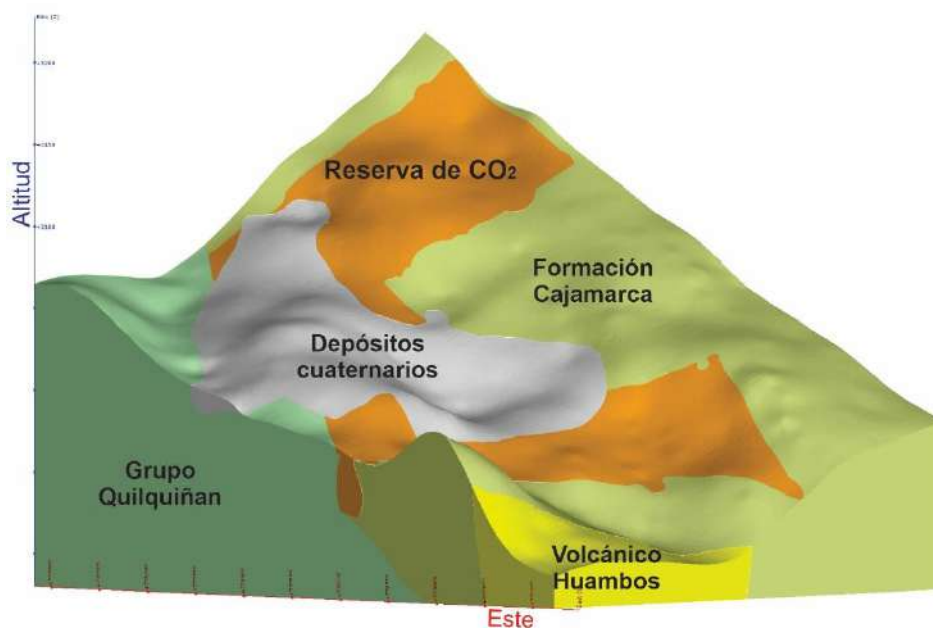


Figura 4.5. Vista de los sólidos de la litología y de la reserva probable de la concesión minera no metálica COLQUIRRUMI N°49-A (Ver Anexo Modelos N°06).

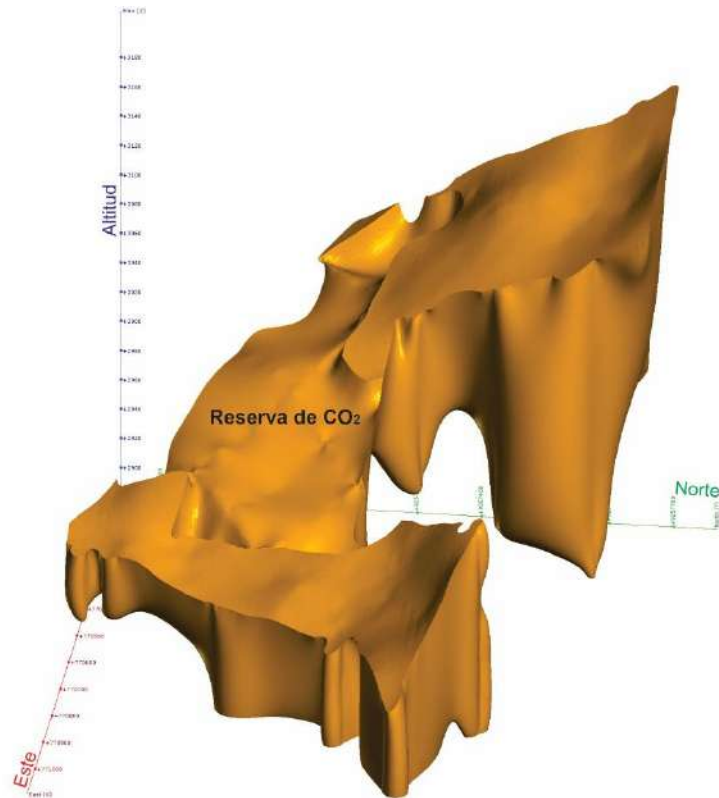


Figura 4.6. Vista tridimensional del solido de las reservas de concesión minera no metálica COLQUIRRUMI N°49-A, la cual posee un volumen de 27962000m³ (Ver Modelos N°07).

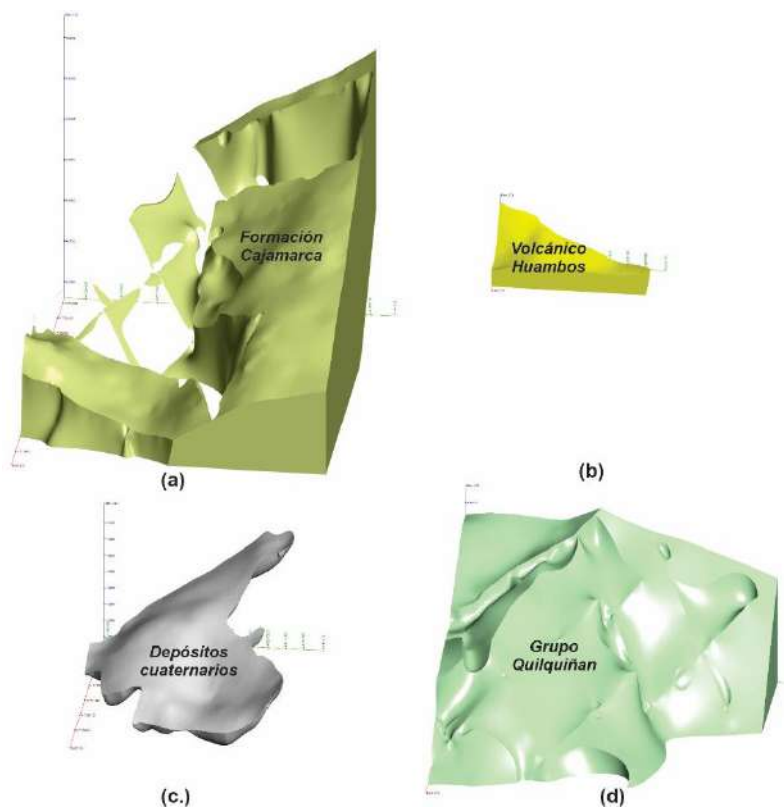


Figura 4.7. (a) solido de Formación Cajamarca, (b) solido de Volcánico Huambos, (c) solido de Depósitos cuaternarios, y (d) solido del Grupo Quilquiñan (Ver Anexo Modelos N°08).

Las reservas totales se dividieron en 2 tipos de reservas: las reservas probables (Fig. 4.8) que tienen una cota base de 2950m.s.n.m. ya que es la cota mínima donde se pueden observar afloramientos de roca caliza de la Formación Cajamarca, y las reservas posibles (Fig. 4.9.); se infiere en este estudio una cota base de 2880m.s.n.m. por interpretación de los perfiles geológicos a una profundidad de 70m de la cota mínima de superficie.

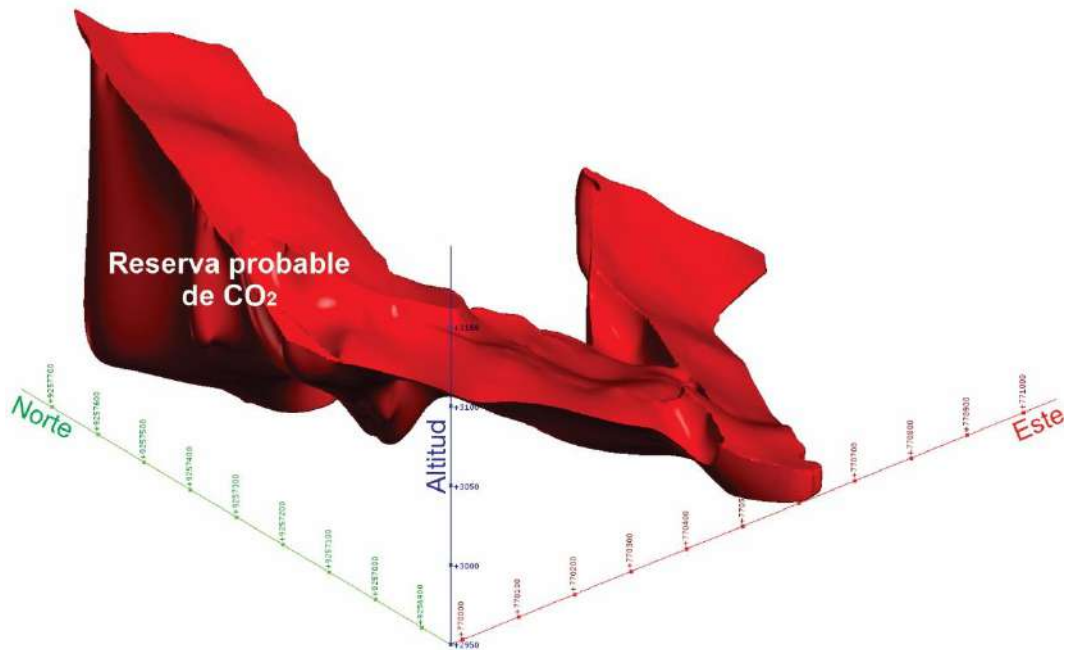


Figura 4.8. vista tridimensional del sólido de las reservas probables, la cual posee un volumen de 20985000m^3 (Ver Anexo Modelos N°09).

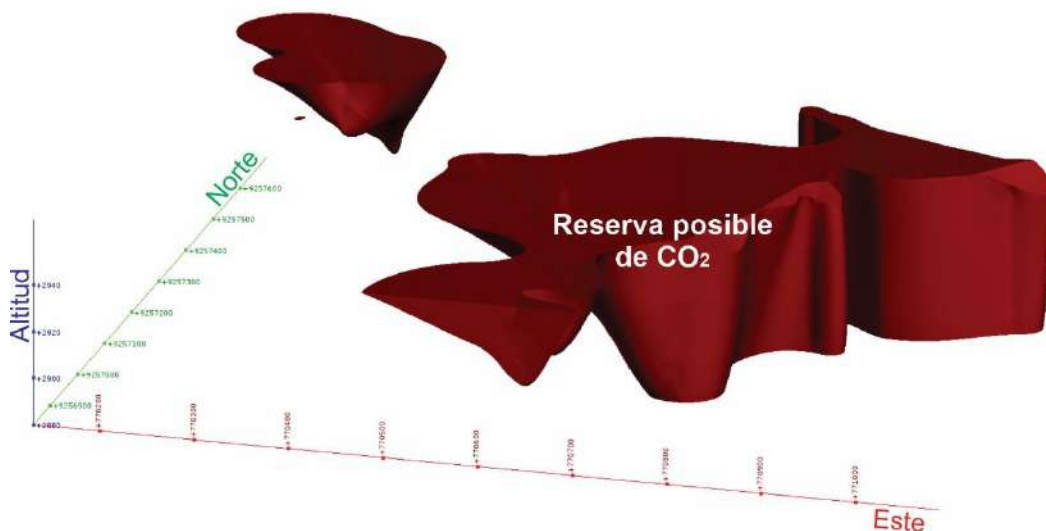


Figura 4.9. vista tridimensional del sólido de las reservas posibles, la cual posee un volumen de 6977000m^3 (Ver Anexo Modelos N°10).

4.2. CÁLCULO DE RESERVAS

El cálculo de tonelaje se realizó con el volumen de la reserva y el peso específico de la roca caliza. El volumen de la reserva probable se calculó en el software Leapfrog Geo por el método convencional de interpretación de secciones, como se describió anteriormente; la densidad de la roca caliza brindó el laboratorio CIMPROGETTI, y así este valor se usó para determinar el peso específico.

Según (Gálvez, 2014), la fórmula matemática a usar para calcular reservas en Toneladas métricas es:

$$TM = V \cdot P_e, \text{ donde:}$$

TM: Toneladas métricas de la reserva.

V: Volumen de la reserva.

P_e: Peso específico de la roca caliza.

4.2.1. Cálculo de reserva probable

La reserva probable de roca caliza en la concesión minera no metálica "COLQUIRRUMI N°49-A" es:

$$TM = V \cdot P_e$$

V: Volumen de sólido de la reserva probable (Fig.)

P_e: Peso específico de roca caliza (análisis del laboratorio CIMPROGETTI)

$$TM = 20'985,000\text{m}^3 \times 2.72 \text{ T/m}^3$$

$$TM = 57'079,200$$

Según Cabrera (2025), las toneladas de la reserva están sometidas al factor de corrección o castigo, debido a la posible presencia de zonas estériles, lo que no deberá ser menor del 10%. Por la cual consideraremos un 20% de castigo:

$$TM = 57'079,200 \times 0.80$$

$$TM = 45'663,360$$

Y teniendo en cuenta que, a una temperatura de combustión a 1050°C el porcentaje de recuperación de CaO es al 92.5 % (calculado en los análisis químicos del laboratorio CIMPROGETTI). Por lo tanto, el tonelaje de CaO es:

$$TM = 45'663,360 \times 0.925$$

$$TM = 42'238,608$$

4.2.2. Cálculo de reserva posible

La reserva posible de roca caliza en la concesión minera no metálica "COLQUIRRUMI N°49-A" es:

$$TM = V \cdot P_e$$

V: Volumen de sólido de la reserva probable (Fig.)

P_e: Peso específico de roca caliza (análisis del laboratorio CIMPROGETTI)

$$TM = 6'977,000\text{m}^3 \times 2.72 \text{ T/m}^3$$

$$TM = 18'977,440$$

Según Cabrera (2025), las toneladas de la reserva están sometidas al factor de corrección o castigo, debido a la posible presencia de zonas estériles, lo que no deberá ser menor del 10%. Por lo cual consideraremos un 20% de castigo:

$$TM = 18'977,440 \times 0.80$$

$$TM = 15'181,952$$

Y teniendo en cuenta que, a una temperatura de combustión a 1050°C el porcentaje de recuperación de CaO es al 92.5 % (calculado en los análisis químicos del laboratorio CIMPROGETTI). Por lo tanto, el tonelaje de CaO es:

$$TM = 15'181,952 \times 0.925$$

$$TM = 14'043,306$$

4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Con la investigación se ha demostrado que el modelamiento geológico en 3D permitió determinar el cálculo de las reservas de la concesión minera no metálica “COLQUIRRUMI N°49-A”, a través de la generación de los sólidos de los macizos rocosos de las calizas de la Formación Cajamarca que son reservas para la producción de CaO, estos sólidos poseen un determinado volumen de 20'985,000m³ para reserva probable y 6'977,000m³ para la reserva posible; que al ser multiplicado por el peso específico (2.72 T/m³) de la roca caliza se obtuvo el cálculo de reserva en tonelaje métricas. Además, teniendo en cuenta el porcentaje de recuperación del 92.5% de CaO de la roca caliza sometida a combustión, también se determinó el tonelaje métrico de CaO. Ahora El Zasal S.A.C. debe de incrementar su producción, haciendo un buen diseño de explotación y planeamiento de mina.

Por lo que la hipótesis inicial ha sido contrastada y verificada.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El modelamiento geológico en 3D y el cálculo de reserva de minera no metálica “COLQUIRRUMI N°49-A” determinó los sólidos tridimensionales de la litología del área de investigación, obteniéndose la reserva probable y posible de dicha concesión.

El cartografiado geológico determinó en la litología rocas calcáreas de la Formación Cajamarca y del Grupo Quilquiñana, y Depósitos cuaternarios compuestos de arenas, limos y arcillas; respecto a las estructuras geológicas se identificó dos familias de diaclasas, venillas de calcita y fallas locales de rumbo; y respecto a la geomorfología se identificó geformas como: planicies, laderas, lomadas y escarpes.

La composición mineralógica microscópica de la roca caliza, la cual presenta los siguientes minerales: calcita (98.02%), cuarzo (1.2%), clinocloro (0.4%), y illita (0.2%).

El modelo geológico en 3D en el software Leapfrog determinó que la Formación Cajamarca posee un volumen de 80064000m³, el Grupo Quilquiñan un volumen de 52886000m³, y los Depósitos cuaternarios un volumen de 3015400m³.

Se determinó el tonelaje de reservas: la reserva probable de CaO es de 42'238,608 TM, y la reserva posible de CaO es de 14'043,306 TM.

5.2. RECOMENDACIONES

A la empresa El Zasal S.A.C. llevar a cabo una campaña de perforaciones diamantina, y de logueo geológico para reconocer la litología debajo de la cota 2950 m.s.n.m.

A la empresa El Zasal S.A.C. llevar a cabo un estudio sobre métodos de explotación de roca caliza de la concesión minera no metálica “COLQUIRRUMI N°49-A”, para que su extracción sea de manera adecuada y seguro, y así tener el mejor provecho de las rocas calizas.

A los futuros profesionales que deseen realizar investigaciones relacionadas al tema de investigación se recomienda hacer un levantamiento topográfico y líneas geofísicas, y así optimizar modelos geológicos

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Alfaro, M. (2007). Estimación de recursos mineros.

Allaby, M. (2008). Dictionary of earth sciences (Third edition). Oxford University Press Inc.

Arribasplata, C. (2020). Cálculo de reservas para determinar la vida útil de la cantera Mabeisa-Ferreñafe. Universidad César Vallejo.

Blas, A., & Damián, E. (2021). Evaluación geológica para el cálculo de reservas y estimación de recursos minerales del prospecto minero Calmar. Universidad Continental.

Boñon, C. (2024). Modelamiento hidrogeológico del acuífero libre mediante software Modflow en La Colpa. Universidad Nacional De Cajamarca.

CCRR. (2018). Estándar colombiano para el reporte público de resultados de exploración, recursos y reservas minerales.

Dávila, J. (2011). Diccionario geológico. Arthaltuna.

De Kemp, E.A., 2007. 3-D geological modelling supporting mineral exploration. In: Goodfellow, W.D. (Ed.), Mineral Deposits of Canada—A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, The Evolution of Geological Provinces and Exploration Methods, vol. 5. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, pp. 1051-1061.

Dunham, J.B., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture-U. In: Ham, W.E.K. (Ed.), Classification of Carbonate Rocks I, 1. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem., pp. 108-121.

Embry, A.F., Klovan, E.J., 1972. Absolute water depths limits of late devonian paleoecological zones. Geol. Rdsch 61, 672-686.

ESTAMIN. (2022). Boletín estadístico minero.

Gálvez, E. 2014. Tesis: “Estimación del Potencial de Reservas de Yacimientos no Metálicos en Arcillas del Distrito de Namora, Cajamarca- Perú”.

Gandhi, S., & Sarkar, B. (2016). Essentials of mineral exploration and evaluation. En Essentials of Mineral Exploration and Evaluation. Elsevier.

Gandhi, S.M., 2003. Rampura-agucha zinc-lead deposit. Geol. Soc. India., Mem. 55, 154 p.

Giraldo, R. (2002). Introducción a la geoestadística.

Gonzales, S., & Ticona, K. (2016). Evaluación de la influencia de la granulometría de piedra caliza, concentración de carbonato de calcio, tiempo de residencia y temperatura de calcinación para mejorar el rendimiento en la obtención de óxido de calcio (cal viva). Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa.

Haldar, S. (2020). Introduction to mineralogy and petrology. En Introduction to Mineralogy and Petrology (Segunda edición). Elsevier.

Hernández et al. 1995. “La Cal en la Metalurgia Extractiva” (pp. 3, 10-16), 1ª edición. Chile, Antofagasta: Universidad Católica del Norte.

JORC. (2012). Australasian code for reporting of exploration results, mineral resources and ore reserves. <http://www.jorc.org>

Licker, M. (2003). Dictionary of geology and mineralogy. McGraw-Hill.

Martell, S. (2021). Estimación de reservas minerales de oro y plata de la veta Filomena-Sancos-Lucanas-Ayacucho. Universidad Nacional De Cajamarca.

Maza, Y. (2017). Estimación de reservas minerales de oro y plata en la veta

Karina-Los Pircos, Santa Cruz-Cajamarca. Universidad Nacional De Cajamarca.

McQueen, K.G. 2009: Ore deposit types and their primary expressions,

Moore, C.H., 1989. Carbonate Diagenesis and Porosity. Development in Sedimentology, 46. Elsevier, p. 338.

Naranjo, O. (2017). Modelamiento geológico y estimación de recursos, yacimiento La Niña, Tongoy, cementos Melón SA. Universidad De Chile.

National Lime Association (1976). Chemical Lime Facts, Bulletin 214,131. 4a ed., Washington D.C. - USA.

Petitgas, P. 1996. Geostatistics and Their Applications to Fisheries Survey Data 5: 114-142. In: B. A. Megrey & E. Mosknes, (E). Computers and Fisheries Research. Chapman-Hall, Londres.

Santos, A. (2014). Estimación de recursos en el depósito oro-cobre-plata de Canahuire, proyecto Chucapaca-Perú. Universidad De Antofagasta.

Sarkar, B.C., 1988. An Integrated System for Geology-Controlled Geostatistical Evaluation (Ph.D. thesis). Imperial College of Science and Technology, London, 218 pp.

Velarde, V. (2016). Estimación de reservas minerales y propuesta de diseño preliminar de explotación del bloque 2 del sector «X7» Minas Las Paralelas utilizando herramientas informáticas. Escuela superior politécnica del litoral.

Vergara, B. (2017). Estimación de reservas probables de yacimientos no metálicos en arcillas del distrito de Llacanora-Cajamarca. Universidad Nacional De Cajamarca.

ANEXOS

A1. Resultados de laboratorio

A2. Plano de ubicación

A3. Plano topográfico

A4. Plano geológico

A5. Plano geomorfológico

A6. Perfiles

A7. Modelos en 3D

Client: CALERA EL ZASAL

Raw material: Limestone

Sample protocole: 3490

Provenance Perù

Sample name: Colquirrumi 49A

Date: 22-Oct-2023

For all future communication, kindly refer to the sample protocole number

LABORATORY TEST REPORT

ENGINEERING & TECHNOLOGY DEPARTMENT

Technological Tests Laboratory

Sample identification

Identificazione campione

Sample Protocole **3490**
Raw Material **Limestone**
Provenance **Perù**
Sample Name **Colquirrumi 49A**

22-Oct-23

date / data

**RAW MATERIAL
SUITABILITY REPORT**
*Rapporto di idoneità della
materia prima*

With reference to the Offer/Order nr. _____ for performing laboratory tests on the materials as above identified and received on _____ CIMPROGETTI S.r.l. submits the present **Raw Material Suitability Report** as guidelines for the preliminary evaluation of the project feasibility and of the plant performance guarantees.

RAW MATERIAL CHARACTERIZATION

Caratterizzazione della materia prima

Suitable for the use in the proposed plant <i>Idoneità d'impiego nell'impianto proposto</i>	Suitable, but a coarse fraction is recommended
Comments on composition and microstructure <i>Proprietà composizionali e microstrutturali</i>	Acceptable
Comments on physical and mechanical properties <i>Proprietà fisico-meccaniche</i>	Acceptable
Burning attitude and reactivity <i>Attitudine alla cottura e reattività</i>	High reactivity at 1050 °C, medium at 1150 °C

Notes

Annotazioni

G.Vola

Sample identification
Identificazione campione

Sample Protocole **3490**
Raw Material **Limestone**
Provenance **Perù**
Sample Name **Colquirrumi 49A**

22-Oct-23
date / data

**MACROSCOPICAL
INVESTIGATION**
Esame macroscopico

CARBONATE ROCK SAMPLE

campione di roccia carbonatica



Fig.1 - Carbonate rock sample as received

Campione di roccia carbonatica tal quale



Fig.2 - Carbonate rock sample after crushing

campione di roccia carbonatica dopo la frantumazione

BURNT LIME SAMPLE

campione di calce



Fig.3 - Lime sample burnt at 1050°C for 3h

Campione di calce cotto a 1050°C per 3 ore



Fig.4 - Lime sample after the degradation test

Campione di calce dopo il test di frammentazione

Preliminary notes

Annotazioni preliminari

Sample homogeneity

Omogeneità del campione

Texture

Tessitura

Munsell® Rock-Color Chart

TM-41

TM-09

Homogeneous

microcrystalline

10 YR 6/2 Pale yellowish brown

10 YR 6/6 dark yellowish orange

Sample identification

Identificazione campione

Sample Protocolo	3490
Raw Material	Limestone
Provenance	Perù
Sample Name	Colquirrumi 49A

22-Oct-23

date/data

**CHEMICO-PHYSICAL AND
MINERALOGICAL ANALYSES**

Analisi chimico-fisica e mineralogica

CHEMICAL ANALYSIS (XRF-WDS)

Analisi chimica (XRF-WDS)

		METHOD	FORMULA	DET	
		Metodo	Formula	(%)	(± U)
Loss on ignition	<i>Perdita al fuoco</i>	TM-01	L.o.i.	43.83	
Quartz	<i>Silicio</i>	TM-46	SiO ₂	1.22	
Aluminium	<i>Alluminio</i>	TM-46	Al ₂ O ₃	0.29	
Iron	<i>Ferro</i>	TM-46	Fe ₂ O ₃	0.15	
Calcium	<i>Calcio</i>	TM-46	CaO	53.55	
Magnesium	<i>Magnesio</i>	TM-46	MgO	0.64	
Sulphate	<i>Zolfo</i>	TM-46	SO ₃	0.09	
Sodium	<i>Sodio</i>	TM-46	Na ₂ O	0.01	
Potassium	<i>Potassio</i>	TM-46	K ₂ O	0.14	
Manganese	<i>Manganese</i>	TM-46	MnO	0.01	
Barium	<i>Bario</i>	TM-46	BaO	<0.01	
Strontium	<i>Stronzio</i>	TM-46	SrO	0.04	
Phosphorous	<i>Fosforo</i>	TM-46	P ₂ O ₅	0.04	
Titanium	<i>Titanio</i>	TM-46	TiO ₂	0.01	
Chloride	<i>Cloro</i>	TM-46	Cl-	<0.01	
TOTAL				100	
Moisture	<i>Umidità</i>	TM-03	H ₂ O	0.10	
Insoluble Residue	<i>Residuo Insolubile</i>	TM-43	Ins Res		
Carbonates (reported as CO ₂)	<i>Carbonati (come CO₂)</i>	TM-02	CO ₂		

MINERALOGICAL ANALYSIS (XRD-QPA)

Analisi mineralogica (XRD-QPA)

		METHOD	FORMULA	DET.	
		Metodo	Formula	(%)	(± U)
Calcite	<i>Calcite</i>	TM-47	α-CaCO ₃	98.2	
Quartz	<i>Quarzo</i>	TM-47	SiO ₂	1.2	
Clinocllore	<i>Clinocloro</i>	TM-47	ND	0.4	
Illite	<i>Illite</i>	TM-47	ND	0.2	
TOTAL				100.0	

Classification and physico-mechanical tests

Classificazione chimica e test fisico-meccanici

Chemical classification	TM-19	Limestone	(Frolova, 1959)
<i>Classificazione chimica</i>			
Real or absolute density	TM-34	(g/cm ³)	2.72
<i>Densità reale o assoluta</i>			(2.7+2.9 g/cm ³)
Maximum moisture	TM-35	(%)	1.1
<i>Umidità massima</i>			(normal range <5%)
Degradation test at 10 mm	TM-32	(%)	<2
<i>Frammentazione a 10 mm</i>			(normal range <2%, max 10%)
Dirt on stone surface	TM-36	(%)	no dust
<i>Sporcizia superficiale</i>			(normal range: <3%)

Sample identification

Identificazione campione

Sample code	3490
Sample analyzed	Limestone
Sample analyzed	Perù
Sample name	Colquirrumi 49A

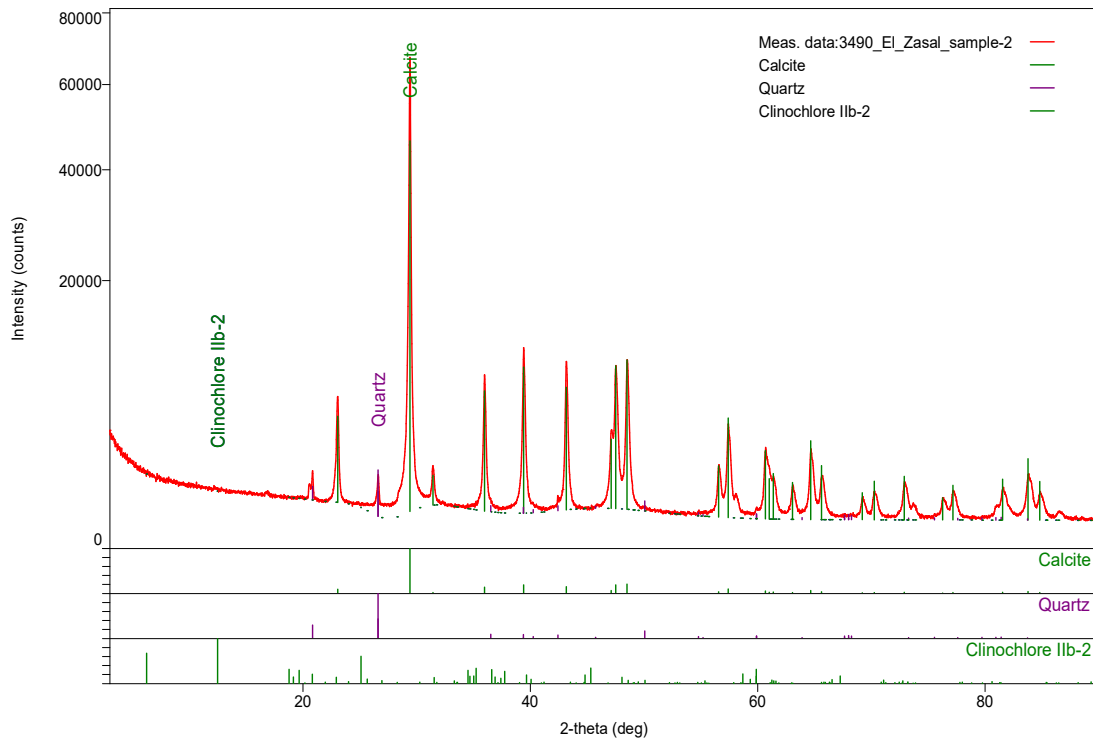
22-Oct-23

date/data

XRD PATTERN
Profilo XRD

X-RAY DIFFRACTION ANALYSIS (XRD) (TM-47)

Analisi diffrattometrica (XRD)



Notes

The Whole Pattern Profile Fitting (WPPF) by the Rietveld method was performed

using the Rigaku PDXL2 software package for the XRD-QPA analysis

Sample identification

Identificazione campione

Sample Protocole	3490
Raw Material	Limestone
Provenance	Perù
Sample Name	Colquirrumi 49A

22-Oct-23

date/data

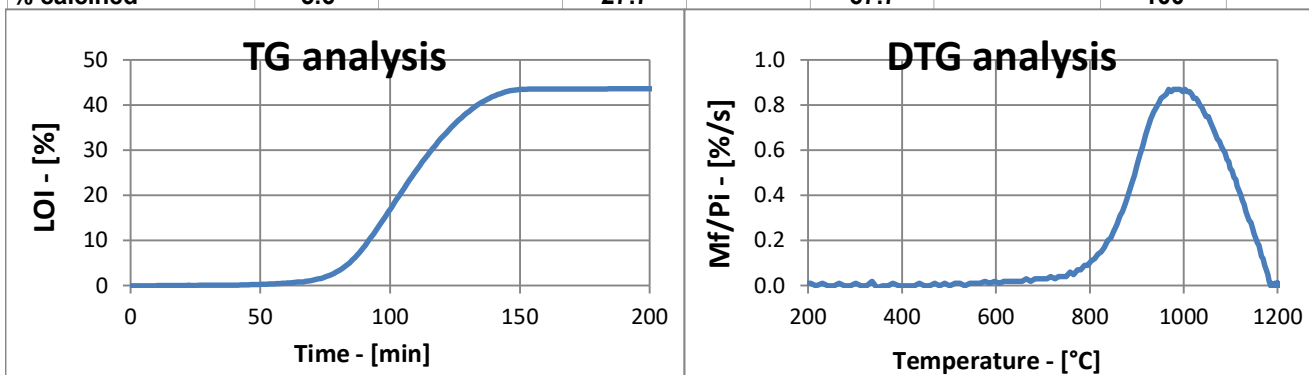
**BURNABILITY AND
ANALYSIS OF QUICKLIME**

*Attitudine alla cottura e
analisi della calce*

THERMAL ANALYSIS (TG-DTG) on massive sample (100 g) (TM-63)

Analisi termica (TG-DTG) su campione massivo (100 g)

T (°C)	800	850	900	950	1000	1050	1100	1200
L.o.i. (%)		2.5		12.1		29.6		43.8
% calcined		5.6		27.7		67.7		100



OVERBURNING TEST at 1300 °C

Test di stracottura a 1300 °C



Overburning Test (TM-31)
Test di stracottura (TM-31)

15.0 g

35.6 %

See the figure on the left
Vedi la figura a sinistra

Sticking tendency (TM-31)
Tendenza a formare blocchi (TM-31)

No Sticking	0-10 g	
Slight	10-12 g	
Low-medium	12-14 g	
Medium	14-16 g	x
High-medium	16-18 g	
High	18-20 g	
Very high	>20 g	

Physico-mechanical analysis

Analisi fisico-meccanica

Expansion test at 700 °C

Test di espansione a 700 °C

TM-40 (%) **ND** (max acceptable value <3%)

Degradation test (weight lost at 10 mm)

Test di frammentazione (perdita in peso a 10 mm)

TM-32 (%) **28.0** (recommended value <35%)

Degradation test (weight lost at 19 mm)

Test di frammentazione (perdita in peso a 19 mm)

TM-32 (%) **40.7**

Drop Test

Test di caduta a 10 mm

TM-32 (%) **37.6**

Visual inspection after thermal shock

Esame ottico in seguito allo shock termico

pale brown

Sample identification

Identificazione campione

Sample Protocole **3490**
Raw Material **Limestone**
Provenance **Perù**
Sample Name **Colquirrumi 49A**

22-Oct-23

date/data

REACTIVITY

Reattività

SLAKING TEST METHOD (EN 459-2)

Metodo di spegnimento

Procedure: 150 g of lime is added at time zero into a thermos containing 600 mL of water at 20 °C; the milk of lime is kept in movement by an agitator at the speed of 300 rpm.

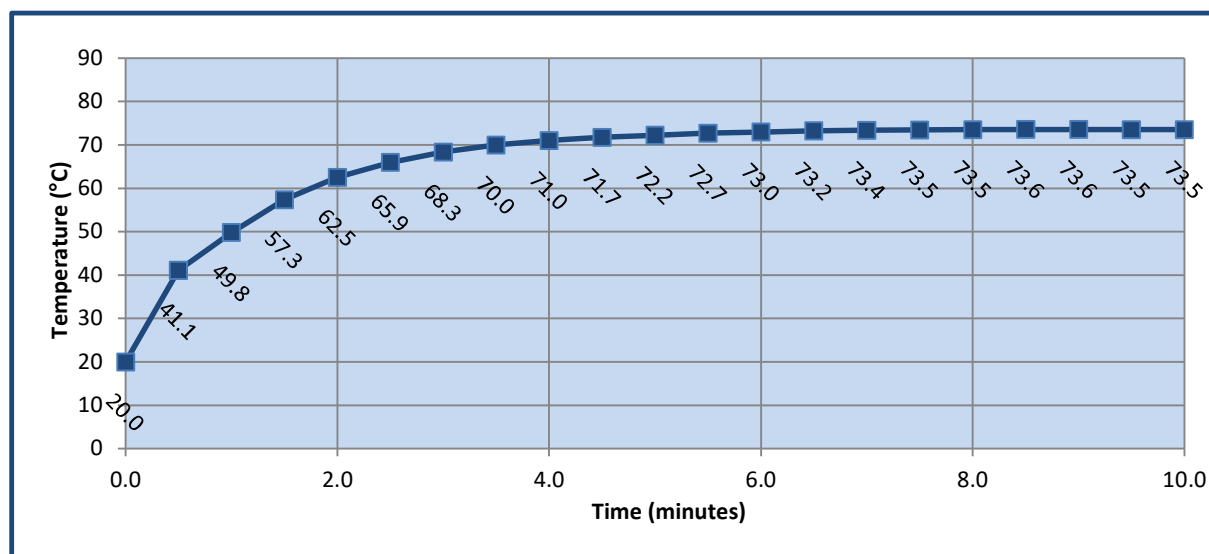
Procedura: 150 g di calce sono aggiunti al tempo zero in un termos contenente 600 mL di acqua a 20 °C; il latte di calce è tenuto in movimento da un agitatore alla velocità di 300 rpm.

X The limestone sample is burnt in muffle at 1.050 °C for 3 + 3 hours.

Calcare cotto in muffola a 1.050 °C per 3 + 3 ore.

The limestone is burnt in kiln type:

Calcare cotto in forno



Lime physico-chemical analysis

Analisi fisico-chimica della calce

Burning temperature <i>Temperatura di cottura</i>	TM-24	(°C)	1050
Maximum slaking temperature <i>Massima temperatura di spegnimento</i>	TM-24	(°C)	73.5
40 °C temperature increase (t₆₀) <i>Aumento di temperatura di 40 °C (t₆₀)</i>	TM-24	(min)	1.8
Available Lime Index <i>Indice della calce libera</i>	TM-07	(%)	92.5
Notes			

Sample identification

Identificazione campione

Sample Protocole **3490**
Raw Material **Limestone**
Provenance **Perù**
Sample Name **Colquirrumi 49A**

22-Oct-23

date/data

REACTIVITY

Reattività

SLAKING TEST METHOD (EN 459-2)

Metodo di spegnimento

Procedure: 150 g of lime is added at time zero into a thermos containing 600 mL of water at 20 °C; the milk of lime is kept in movement by an agitator at the speed of 300 rpm.

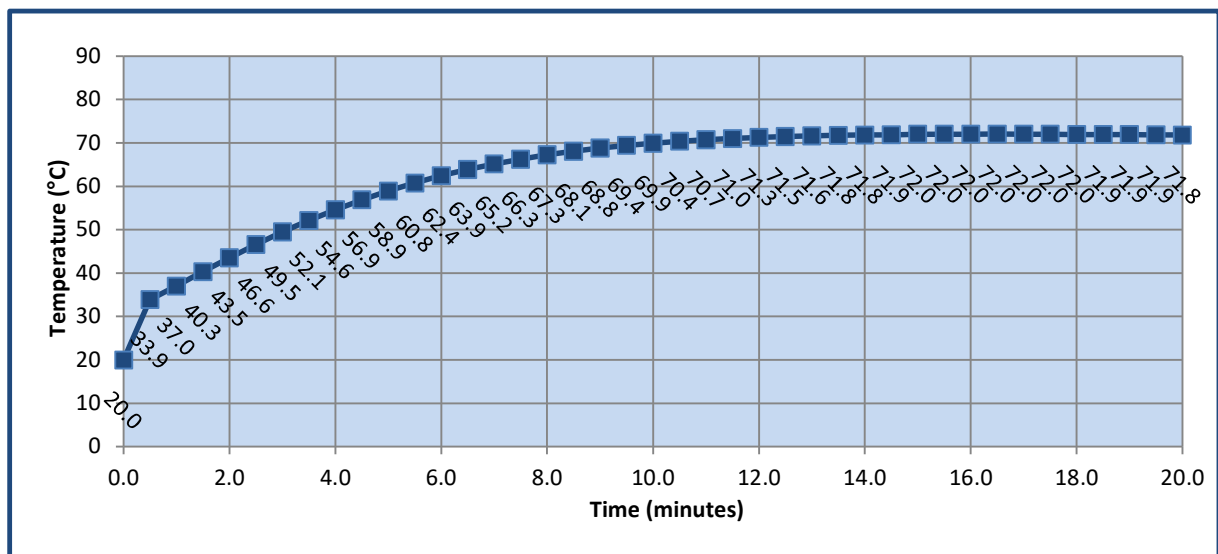
Procedura: 150 g di calce sono aggiunti al tempo zero in un termos contenente 600 mL di acqua a 20 °C; il latte di calce è tenuto in movimento da un agitatore alla velocità di 300 rpm.

X The limestone sample is burnt in muffle at 1.150 °C for 3 + 3 hours.

Calcare cotto in muffola a 1.150 °C per 3 + 3 ore.

The limestone is burnt in kiln type:

Calcare cotto in forno



Lime physico-chemical analysis

Analisi fisico-chimica della calce

Burning temperature <i>Temperatura di cottura</i>	TM-24	(°C)	1150
Maximum slaking temperature <i>Massima temperatura di spegnimento</i>	TM-24	(°C)	71.8
40 °C temperature increase (t₆₀) <i>Aumento di temperatura di 40 °C (t₆₀)</i>	TM-24	(min)	5.3
Available Lime Index <i>Indice della calce libera</i>	TM-07	(%)	
Notes			

Sample identification

Identificazione campione

Sample code	3490
Raw material	Limestone
Sample origin	Perù
Sample Name	Colquirrumi 49A

22-Oct-23

date/data

**STONE SHAPE AND
GRAIN-SIZE DISTRIBUTION**
Distribuzione granulometria e morfologia

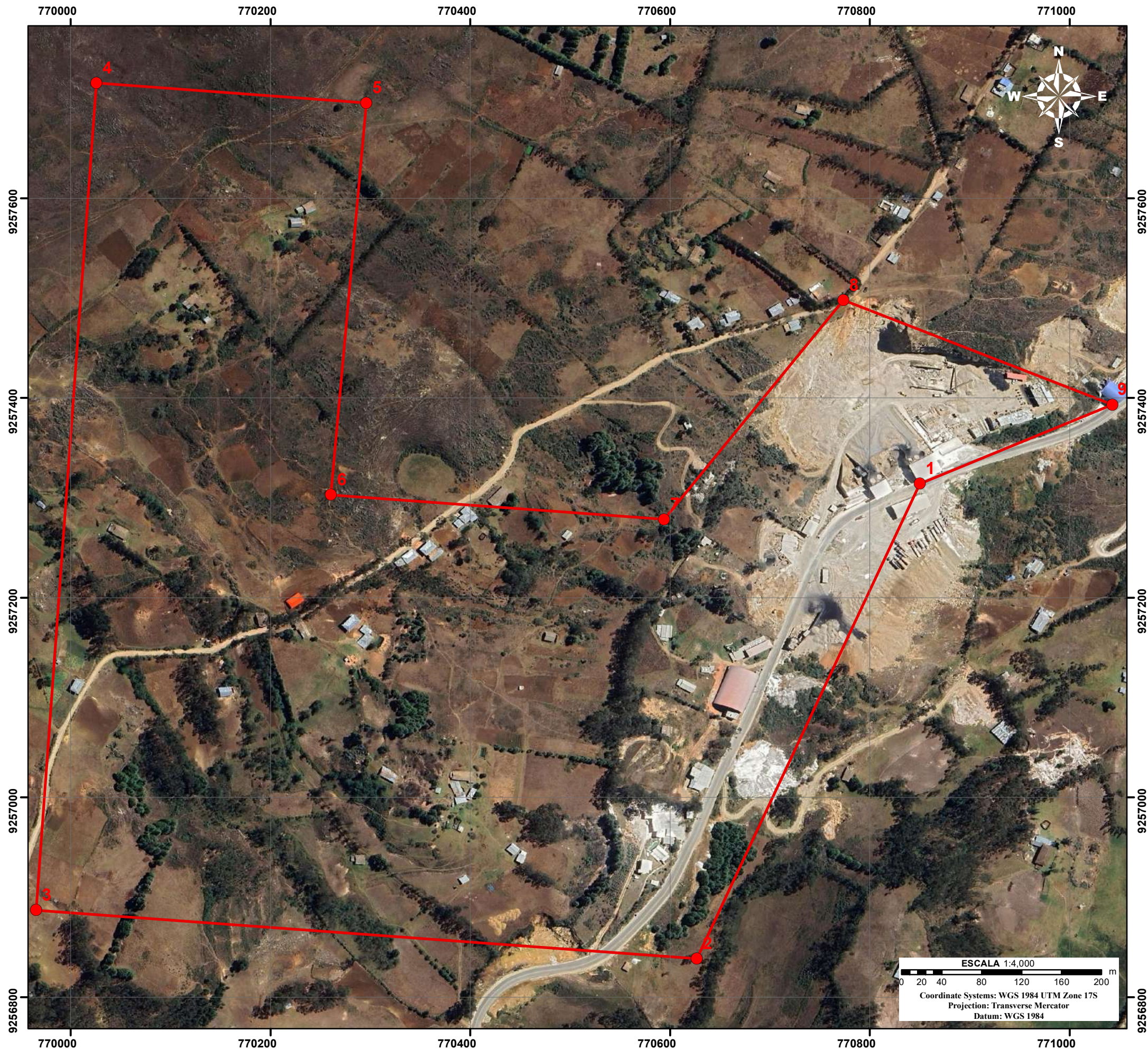
STONE SHAPE AND SIZE (TM-58)

Morfologia e dimensione dei sassi

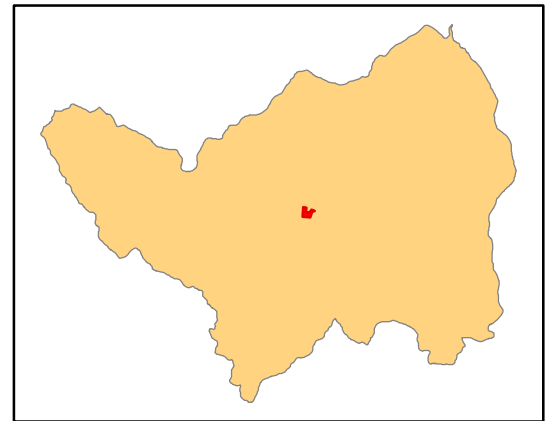
Grain-size	Length	Width	Thickness	Elongation	Flatness	Shape	Sphericity
mm	49	35	8	1.40	4.38	PL	0.577
mm	47	39	28	1.21	1.39	ED	0.781
mm	48	40	22	1.20	1.82	PL	0.755
mm	48	48	15	1.00	3.20	PL	0.680
mm	86	37	31	2.32	1.19	ST	0.732
mm	51	38	31	1.34	1.23	ED	0.783
mm	55	37	24	1.49	1.54	ED	0.756
mm	51	34	25	1.50	1.36	ED	0.767
mm	64	42	22	1.52	1.91	PL	0.725
mm	46	32	30	1.44	1.07	ED	0.786
mm	49	32	18	1.53	1.78	PL	0.735
mm	49	37	17	1.32	2.18	PL	0.720
mm							
Average	54	38	23	1.44	1.92	IR	0.733
Legend	ED =	Equidimensional	FS =	Flat Stick formed			
<i>Legenda</i>	ST =	Stickformed	IR =	Irregular			
	PL =	Plateformed	UNI =	Uniform			
Critical Elongation and Flatness > 2				Critical Sphericity Index <0.7			
Approximate grain size distribution				32	48	mm	
<i>Distribuzione granulometrica approssimativa</i>							

Notes

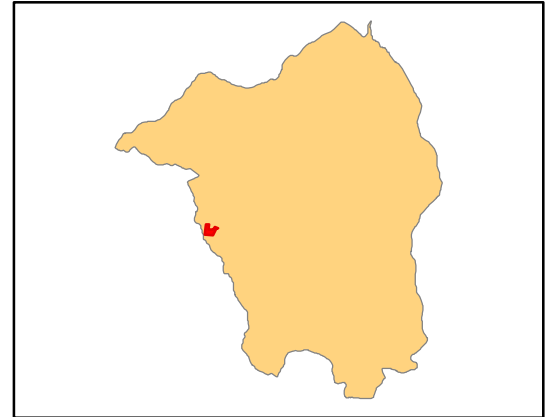
PLANO DE UBICACIÓN



Provincia de Hualgayoc



Distrito de Bambamarca



Coordenadas

Vértices	Norte	Este
1	9257314.11	770849.97
2	9256838.58	770626.68
3	9256886.86	769965.24
4	9257715.22	770025.70
5	9257695.50	770295.80
6	9257302.92	770260.39
7	9257278.57	770593.97
8	9257497.90	770773.28
9	9257393.30	771042.82

Simbología

- Vértices
- Área de investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica



TESIS: Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.

TESISTA: Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado

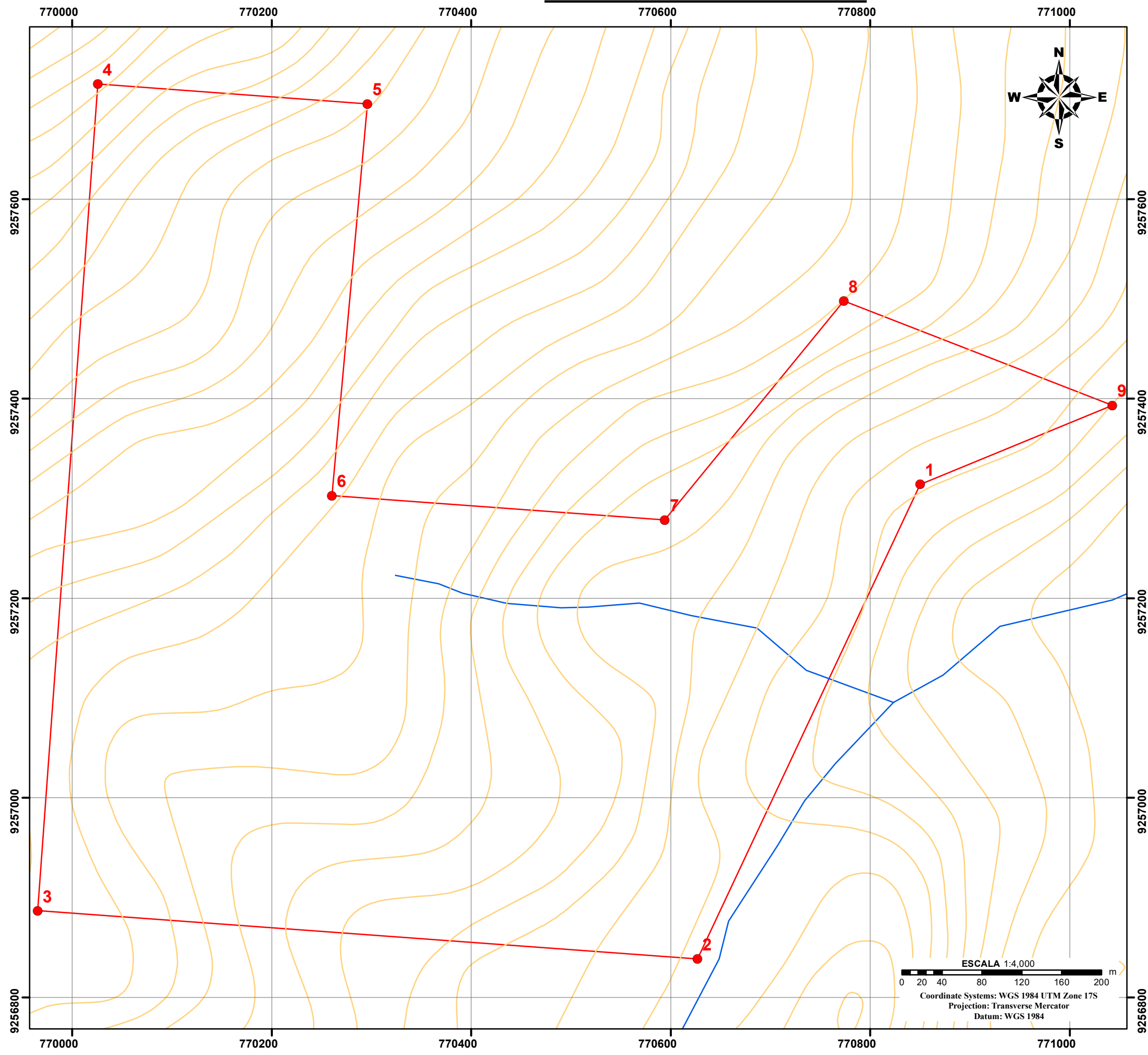
ASESOR: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani

PLANO: Ubicación ESCALA: 1:4000 Cajamarca, enero del 2025

N° PLANO
01

ESCALA 1:4.000
0 20 40 80 120 160 200 m
Coordinate Systems: WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

PLANO DE TOPOGRÁFICO



Simbología

- Vértices
- Curvas de nivel
- Drenaje
- Área de investigación

Coordenadas

Vértices	Norte	Este
1	9257314.11	770849.97
2	9256838.58	770626.68
3	9256886.86	769965.24
4	9257715.22	770025.70
5	9257695.50	770295.80
6	9257302.92	770260.39
7	9257278.57	770593.97
8	9257497.90	770773.28
9	9257393.30	771042.82

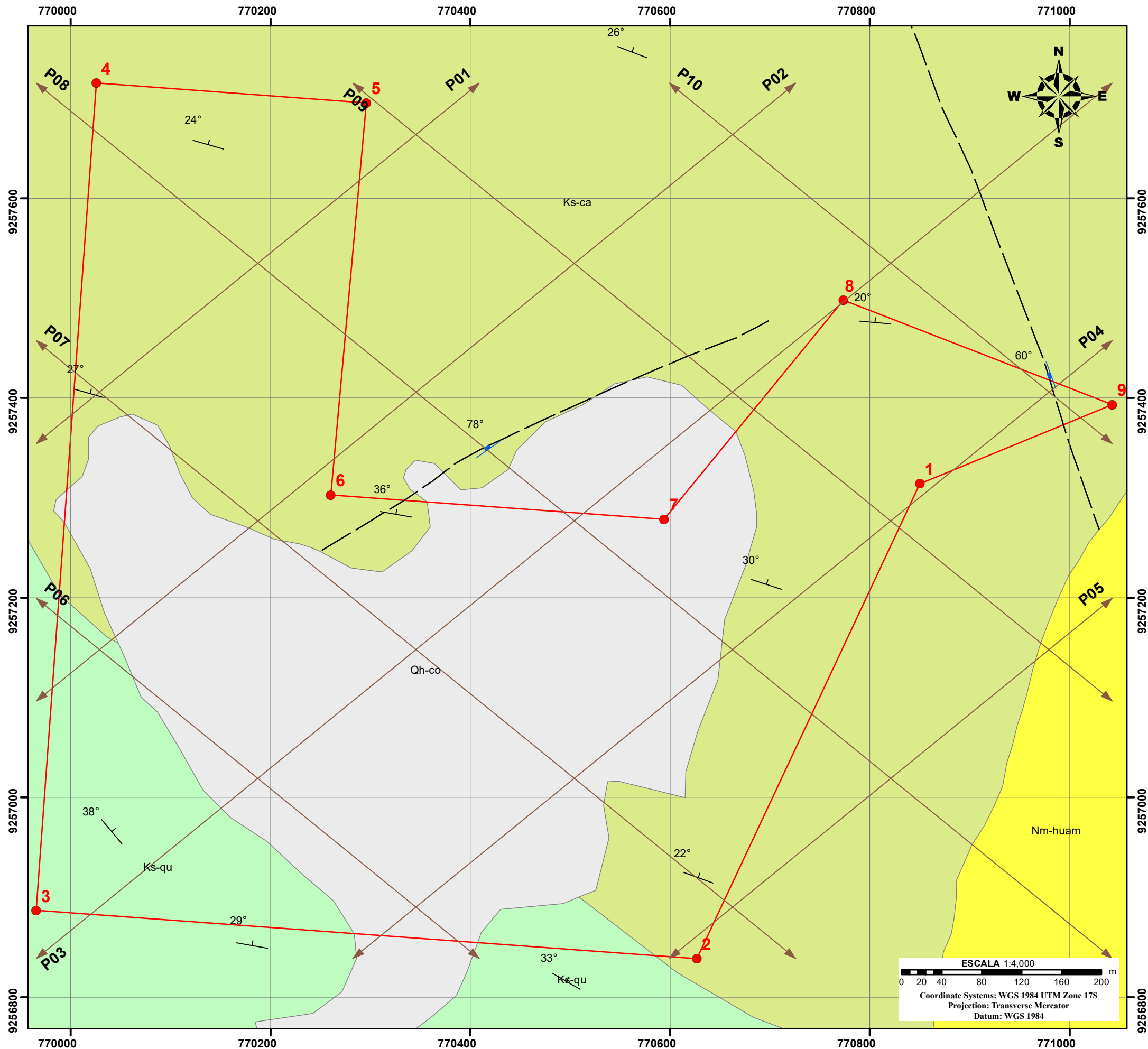
ESCALA 1:4.000

Coordinate Systems: WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica

TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.	N° PLANO 02
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado	
ASESOR:	Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
PLANO: Topográfico	ESCALA: 1:4000	

PLANO GEOLÓGICO



Simbología

- Trazo de perfiles
- Estrato
- Falla
- Vértices
- Falla inferida
- Área de investigación

Leyenda

- Depósitos cuaternarios
- Volcánico Huambos
- Formación Cajamarca
- Grupo Quilquiñán

Coordenadas

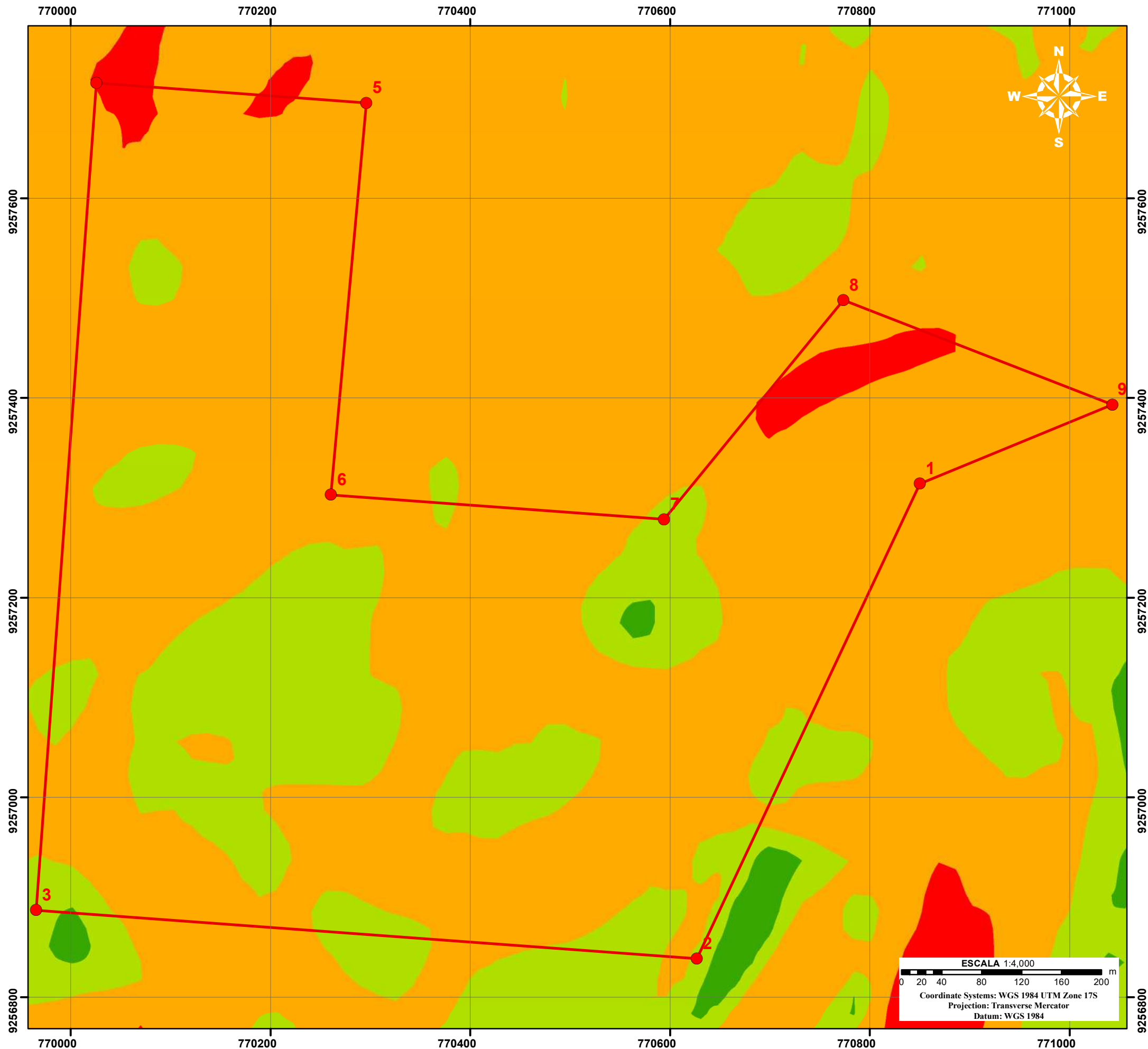
Vértices	Norte	Este
1	9257314.11	770849.97
2	9256838.58	770626.68
3	9256886.86	769965.24
4	9257715.22	770025.70
5	9257695.50	770295.80
6	9257302.92	770260.39
7	9257278.57	770593.97
8	9257497.90	770773.28
9	9257393.30	771042.82

ESCALA 1:4,000
 0 20 40 80 120 160 200 m
 Coordinate Systems: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica

TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.	N° PLANO 03
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado	
ASESOR:	Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
PLANO: Geológico	ESCALA: 1:4000	Cajamarca, enero del 2025

PLANO GEOMORFOLÓGICO



Simbología

- Vértices
- Área de investigación

Leyenda

- 0° - 8° Plancie
- 8° - 20° Ladera
- 20° - 50° Lomada
- > 50° Escarpe

Coordenadas

Vértices	Norte	Este
1	9257314.11	770849.97
2	9256838.58	770626.68
3	9256886.86	769965.24
4	9257715.22	770025.70
5	9257695.50	770295.80
6	9257302.92	770260.39
7	9257278.57	770593.97
8	9257497.90	770773.28
9	9257393.30	771042.82

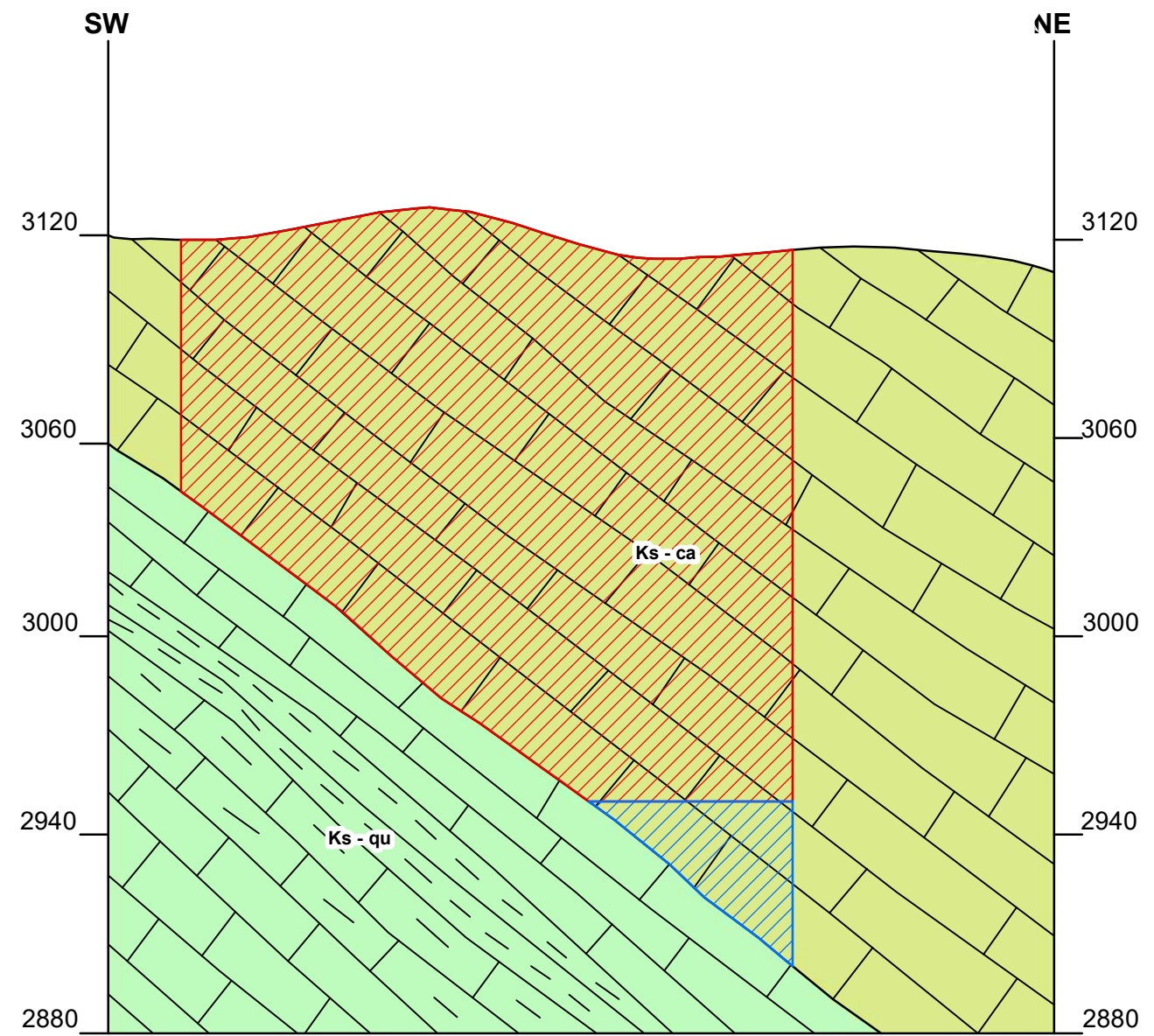
ESCALA 1:4.000

0 20 40 80 120 160 200 m

Coordinate Systems: WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica		
TESIS: Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.	TESISTA: Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado	
ASESOR: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	N° PLANO	04
PLANO: Geomorfológico	ESCALA: 1:4000	Cajamarca, enero del 2025

PERFIL N° 01

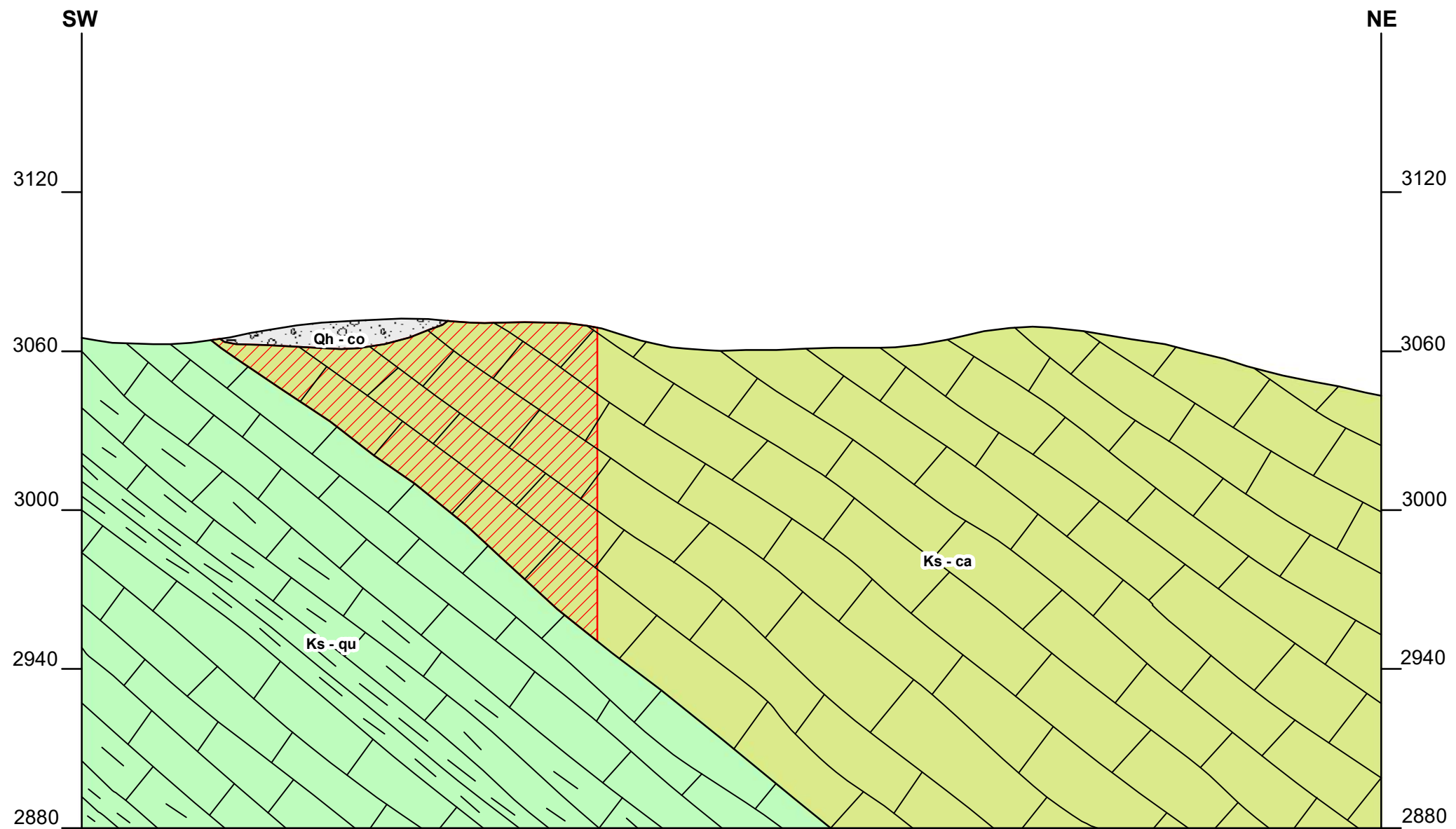





Geología	
	Formación Cajamarca
	Grupo Quilquiñán


Leyenda	
	Reserva Probable
	Reserva Posible



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica		
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.	
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado	N° PERFIL 01
ASESOR:	Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
ESCALA H: 1:4000	ESCALA V: 1:2000	Cajamarca, enero del 2025

PERFIL N° 02

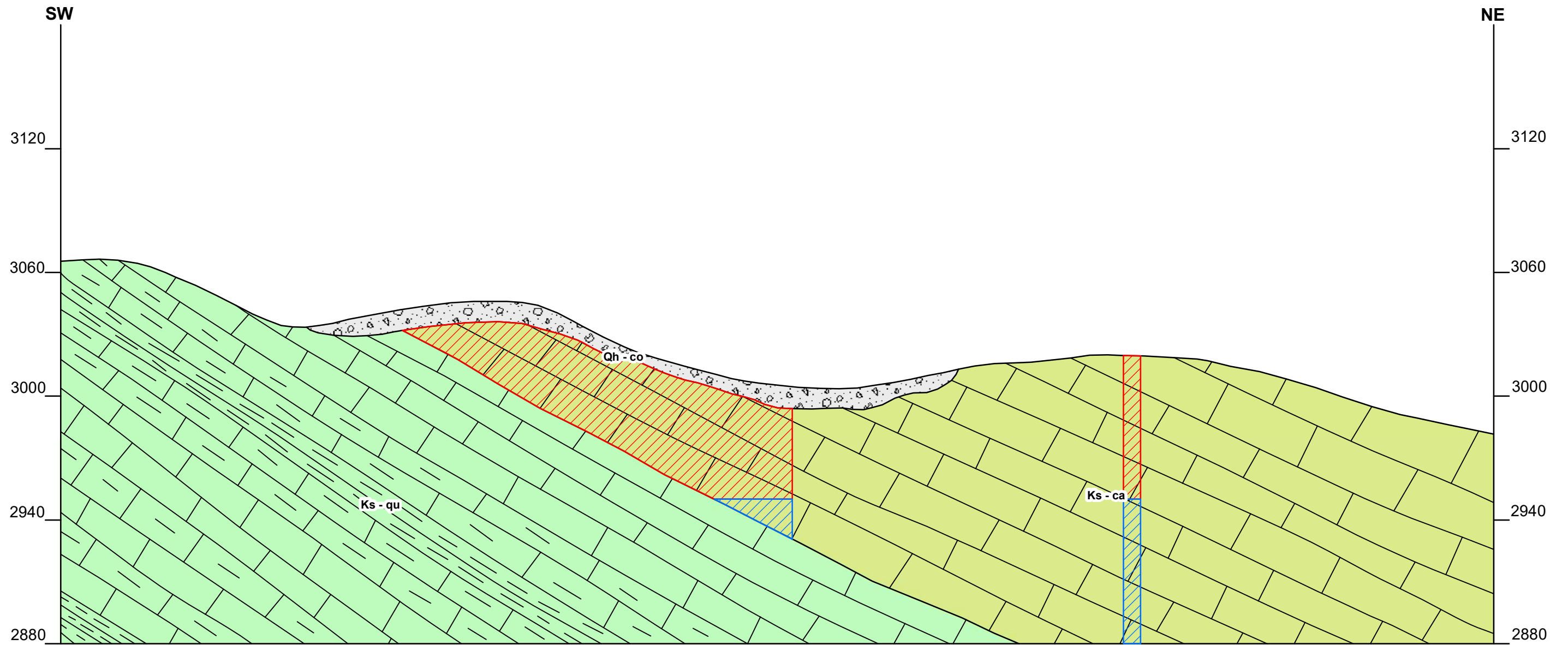


Geología	
	Depósitos cuaternarios
	Formación Cajamarca
	Grupo Quilquiñán

Leyenda	
	Reserva Probable

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica		
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.	
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado	N° PERFIL 02
ASESOR:	Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
ESCALA H: 1:4000	ESCALA V: 1:2000	Cajamarca, enero del 2025

PERFIL N° 03

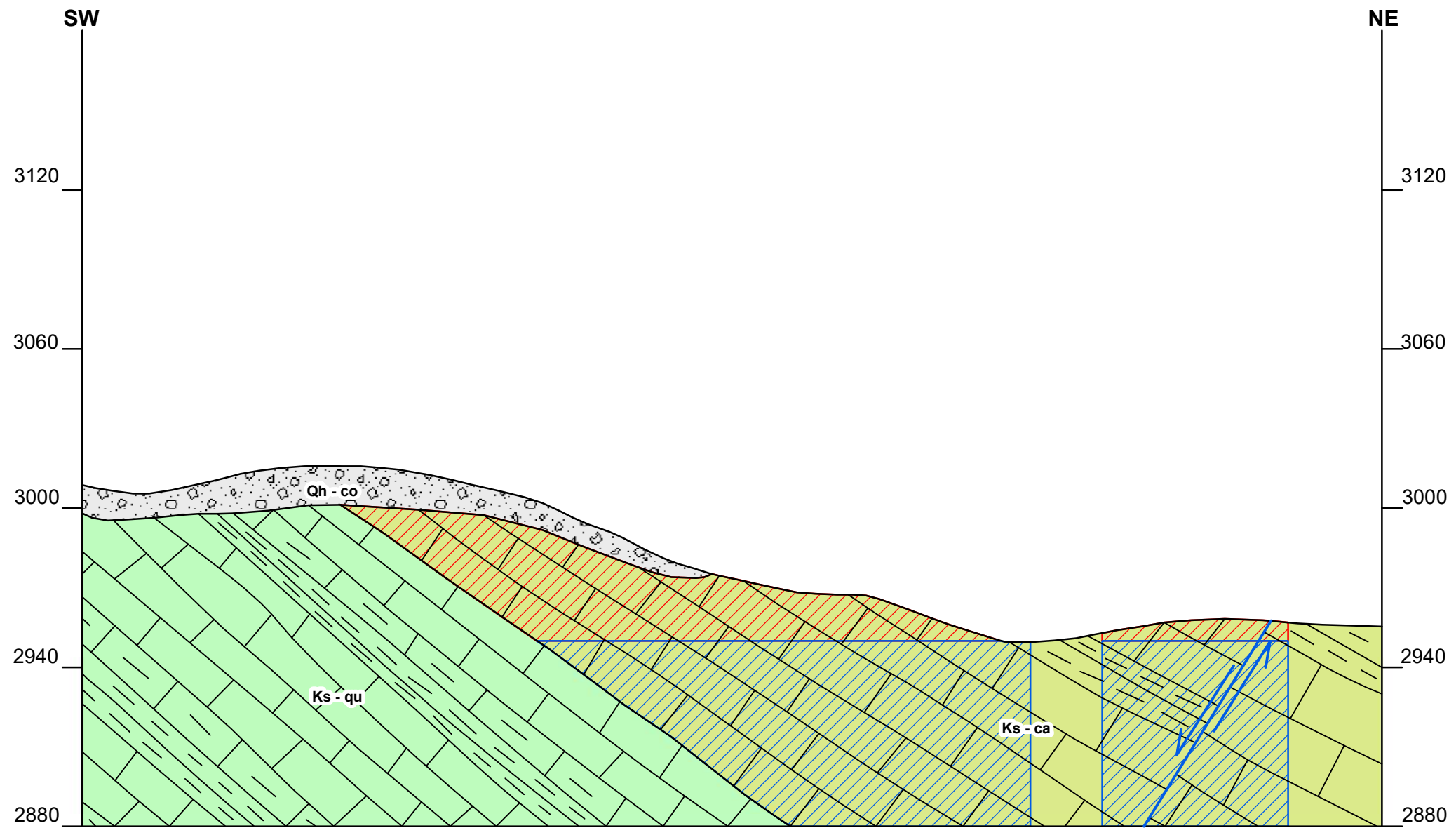


Geología	
	Depósitos cuaternarios
	Formación Cajamarca
	Grupo Quilquiñán

Leyenda	
	Reserva Probable
	Reserva Posible

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica		
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.	
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado	N° PERFIL 03
ASESOR:	Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
ESCALA H: 1:4000	ESCALA V: 1:2000	Cajamarca, enero del 2025

PERFIL N° 04

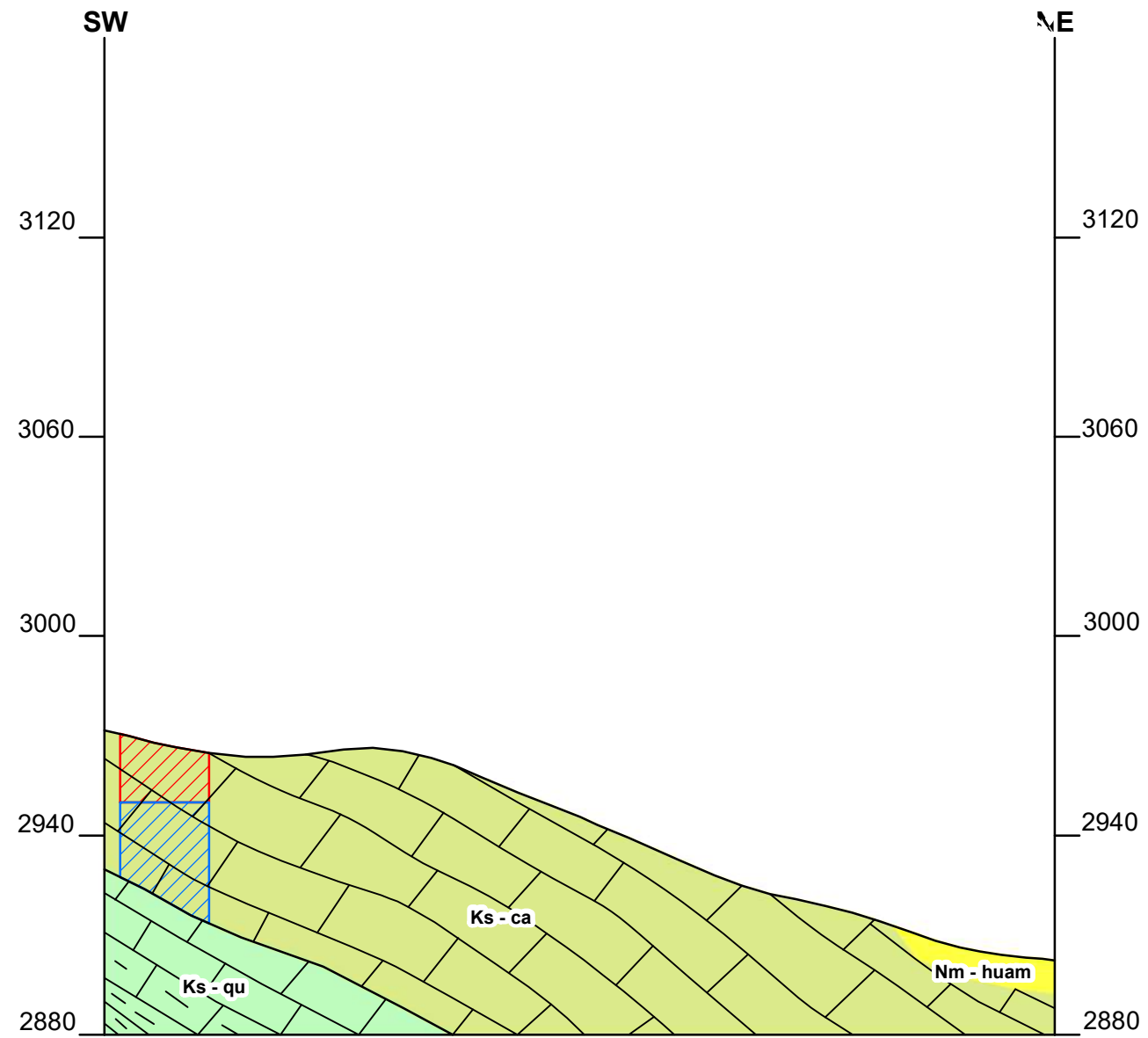


Geología	
	Depósitos cuaternarios
	Formación Cajamarca
	Grupo Quilquiñán

Leyenda	
	Falla
	Reserva Probable
	Reserva Posible

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica		
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.	
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado	N° PERFIL 04
ASESOR:	Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
ESCALA H: 1:4000	ESCALA V: 1:2000	Cajamarca, enero del 2025

PERFIL N° 05

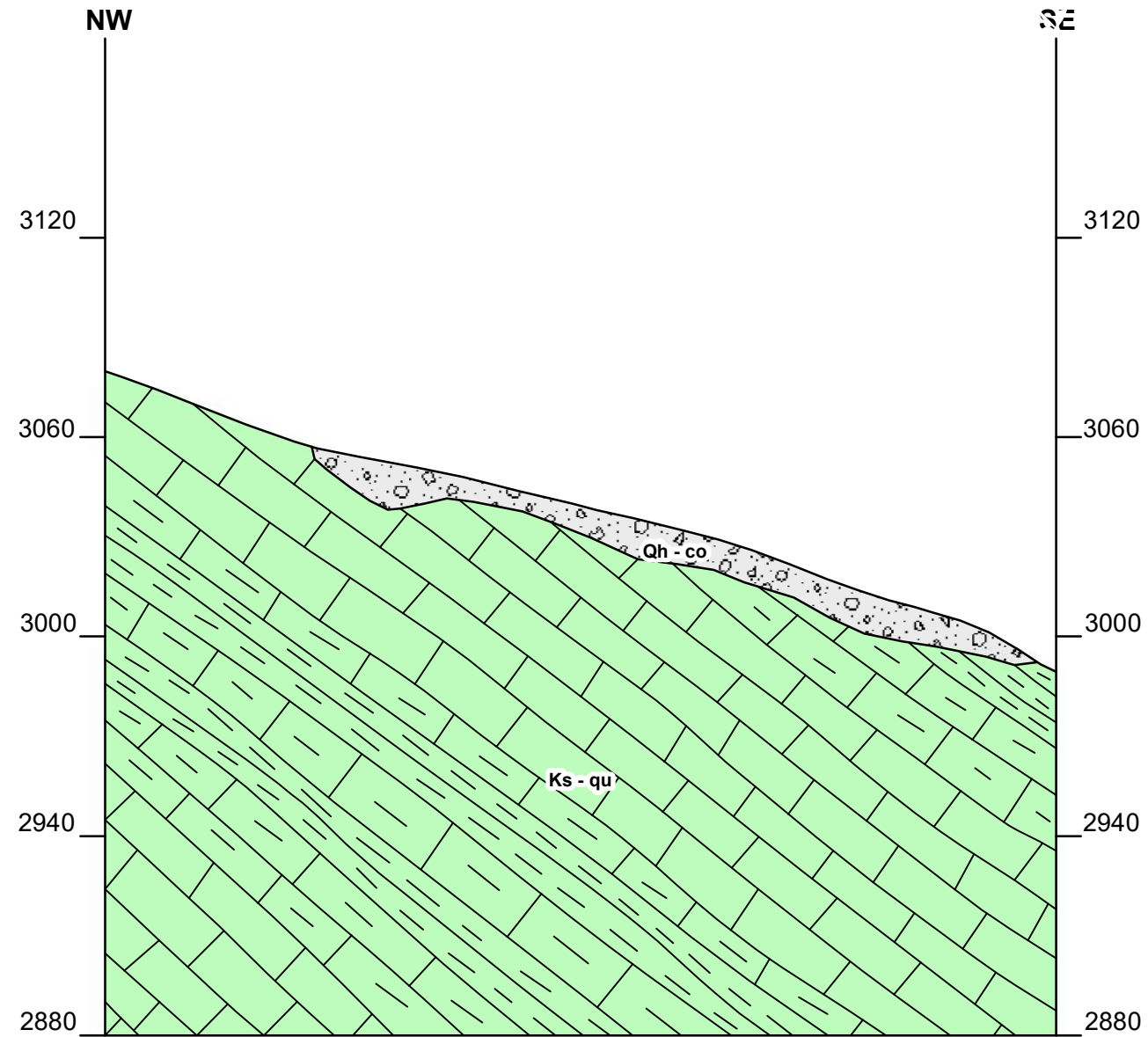


Geología	
	Volcánico Huambos
	Formación Cajamarca
	Grupo Quilquiñán

Leyenda	
	Reserva Probable
	Reserva Posible

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica		
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.	N° PERFIL 05
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado	
ASESOR:	Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
ESCALA H: 1:4000	ESCALA V: 1:2000	Cajamarca, enero del 2025

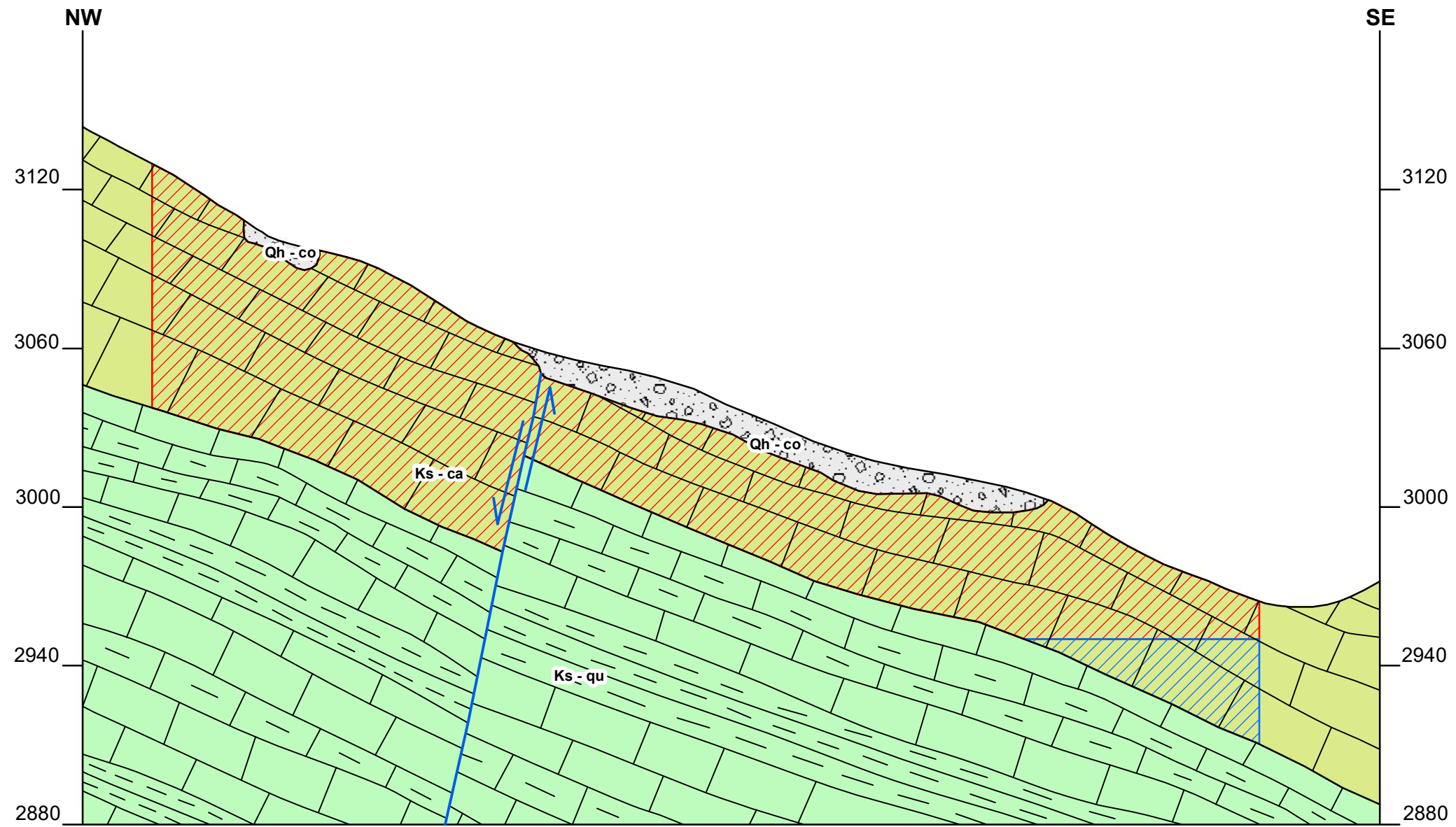
PERFIL N° 06



Geología	
	Depósitos cuaternarios
	Grupo Quilquiñán

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica		
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.	
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado	N° PERFIL 06
ASESOR:	Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
ESCALA H:	1:4000	ESCALA V: 1:2000
Cajamarca, enero del 2025		

PERFIL N° 07

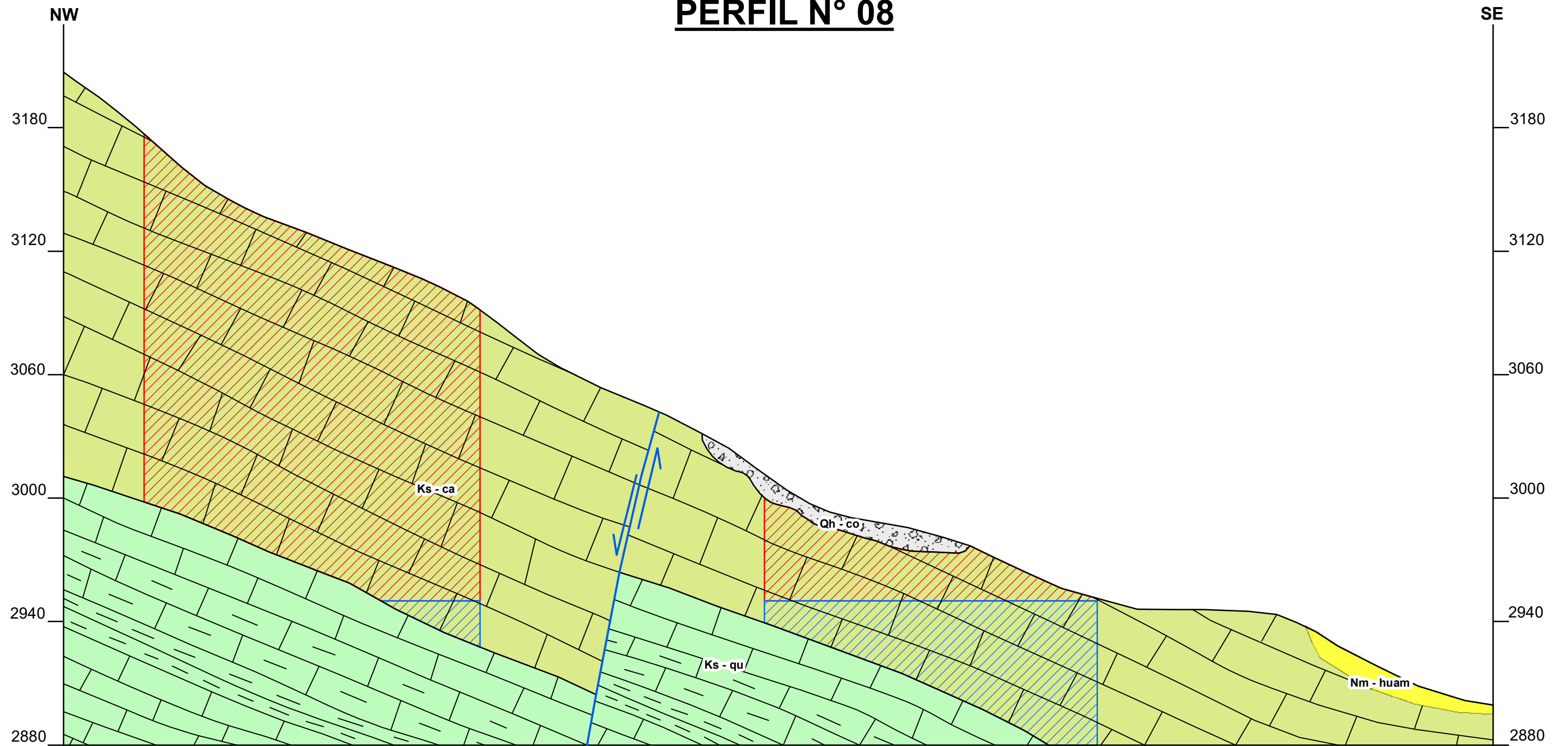


Geología	
	Depósitos cuaternarios
	Formación Cajamarca
	Grupo Quilquiñán

Leyenda	
	Falla
	Reserva Probable
	Reserva Posible

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica		
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.	
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado	N° PERFIL 07
ASESOR:	Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
ESCALA H: 1:4000	ESCALA V: 1:2000	Cajamarca, enero del 2025

PERFIL N° 08

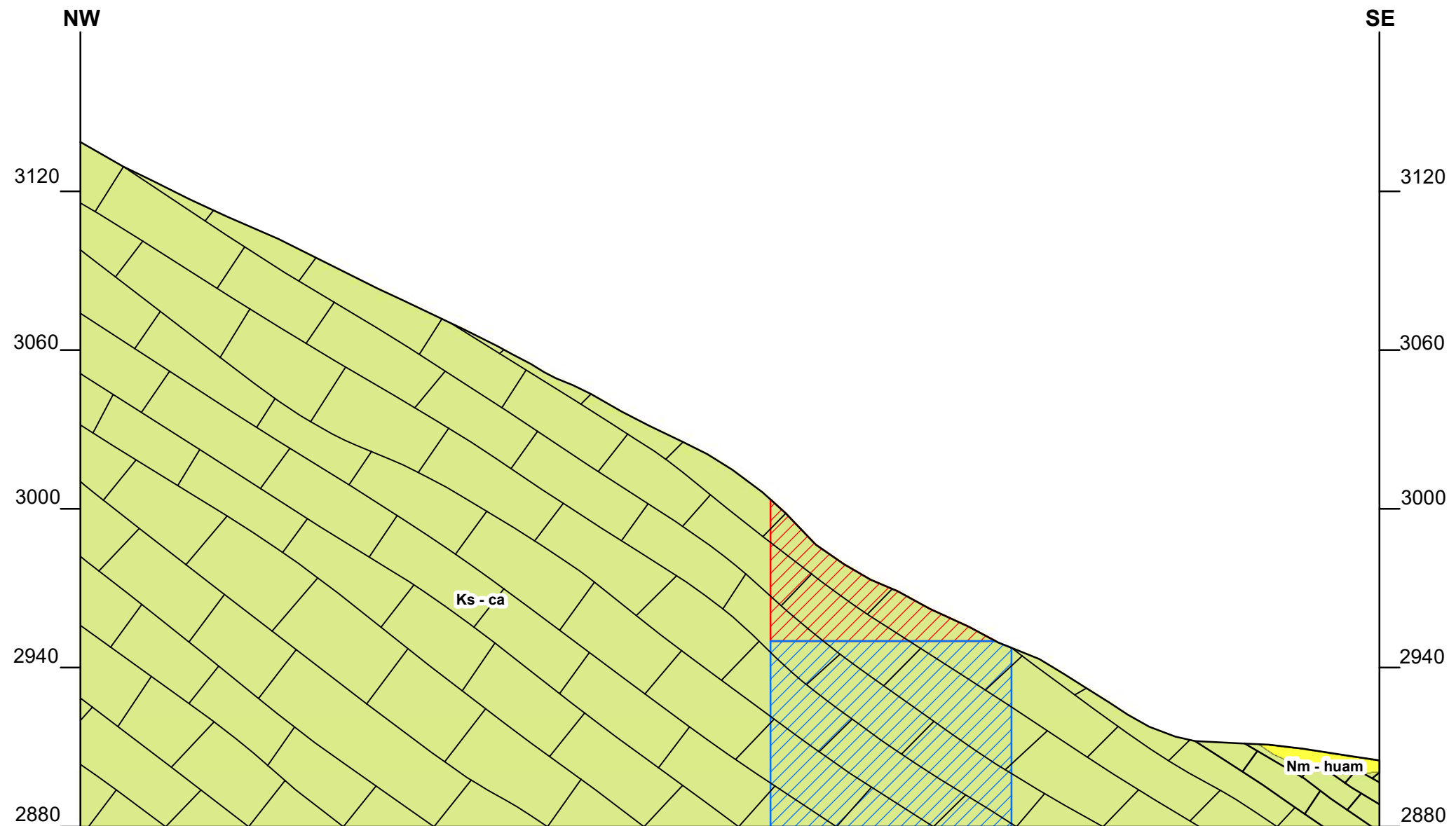


Geología	
	Depósitos cuaternarios
	Volcánico Huambos
	Formación Cajamarca
	Grupo Quilquiñán

Leyenda	
	Falla
	Reserva Probable
	Reserva Posible

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica		
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.	
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado	N° PERFIL 08
ASESOR:	Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
ESCALA H: 1:4000	ESCALA V: 1:2000	Cajamarca, enero del 2025

PERFIL N° 09

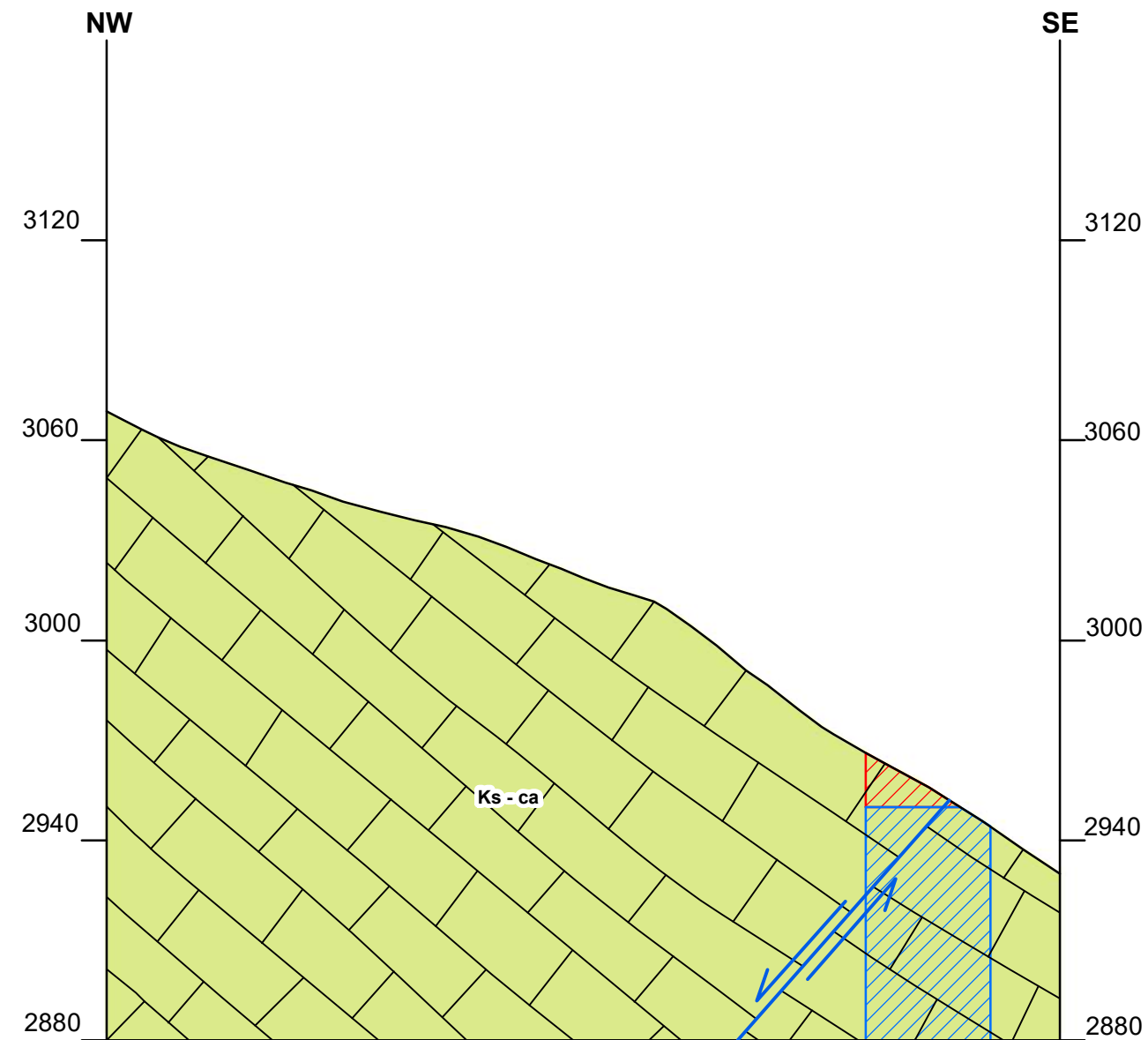


Geología	
	Volcánico Huambos
	Formación Cajamarca

Leyenda	
	Reserva Probable
	Reserva Posible

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica		
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.	
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado	N° PERFIL 09
ASESOR:	Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
ESCALA H: 1:4000	ESCALA V: 1:2000	Cajamarca, enero del 2025

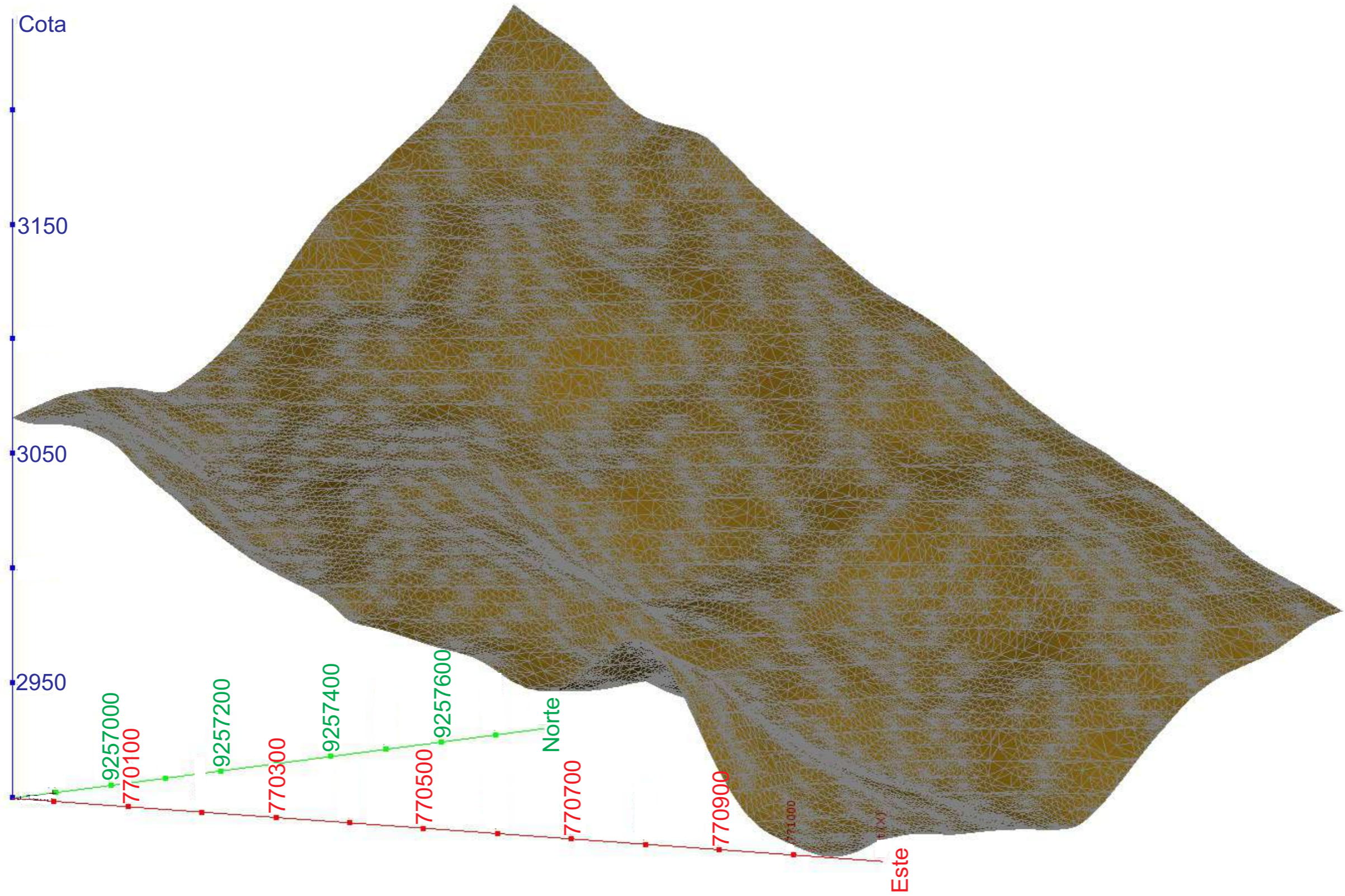
PERFIL N° 10



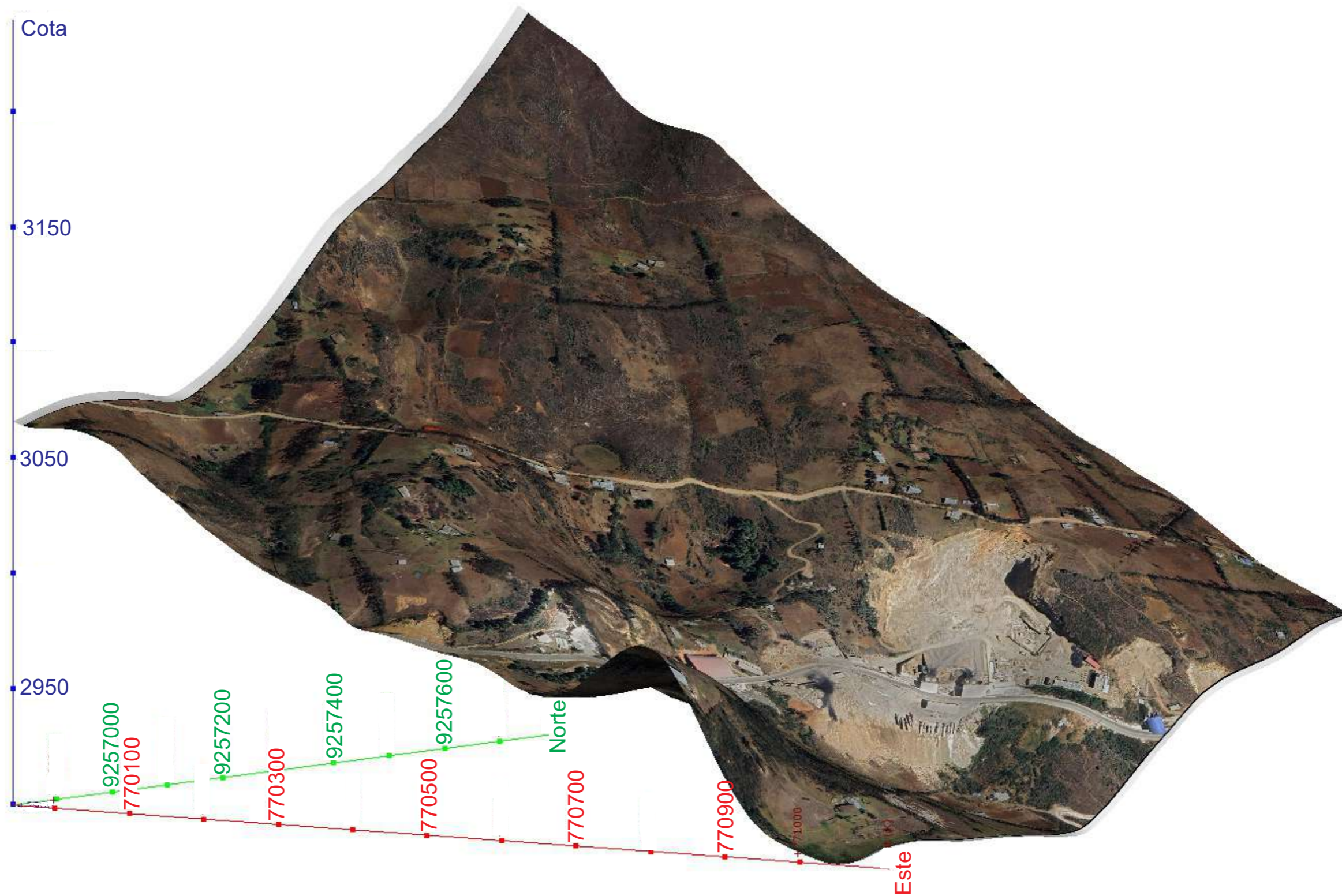
Geología	
	Formación Cajamarca

Leyenda	
	Falla
	Reserva Probable
	Reserva Posible

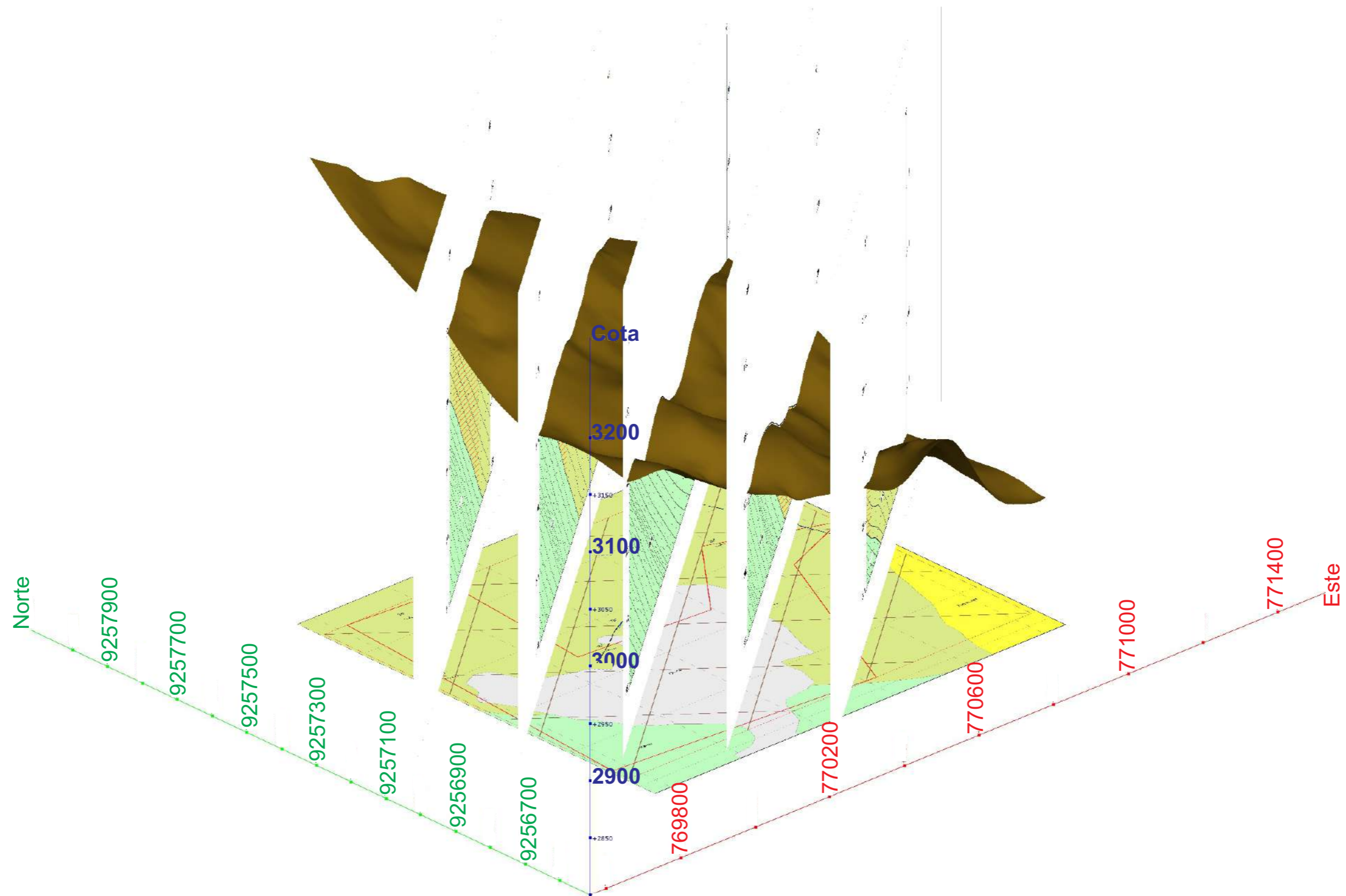
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica		
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.	
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado	N° PERFIL 10
ASESOR:	Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
ESCALA H: 1:4000	ESCALA V: 1:2000	Cajamarca, enero del 2025



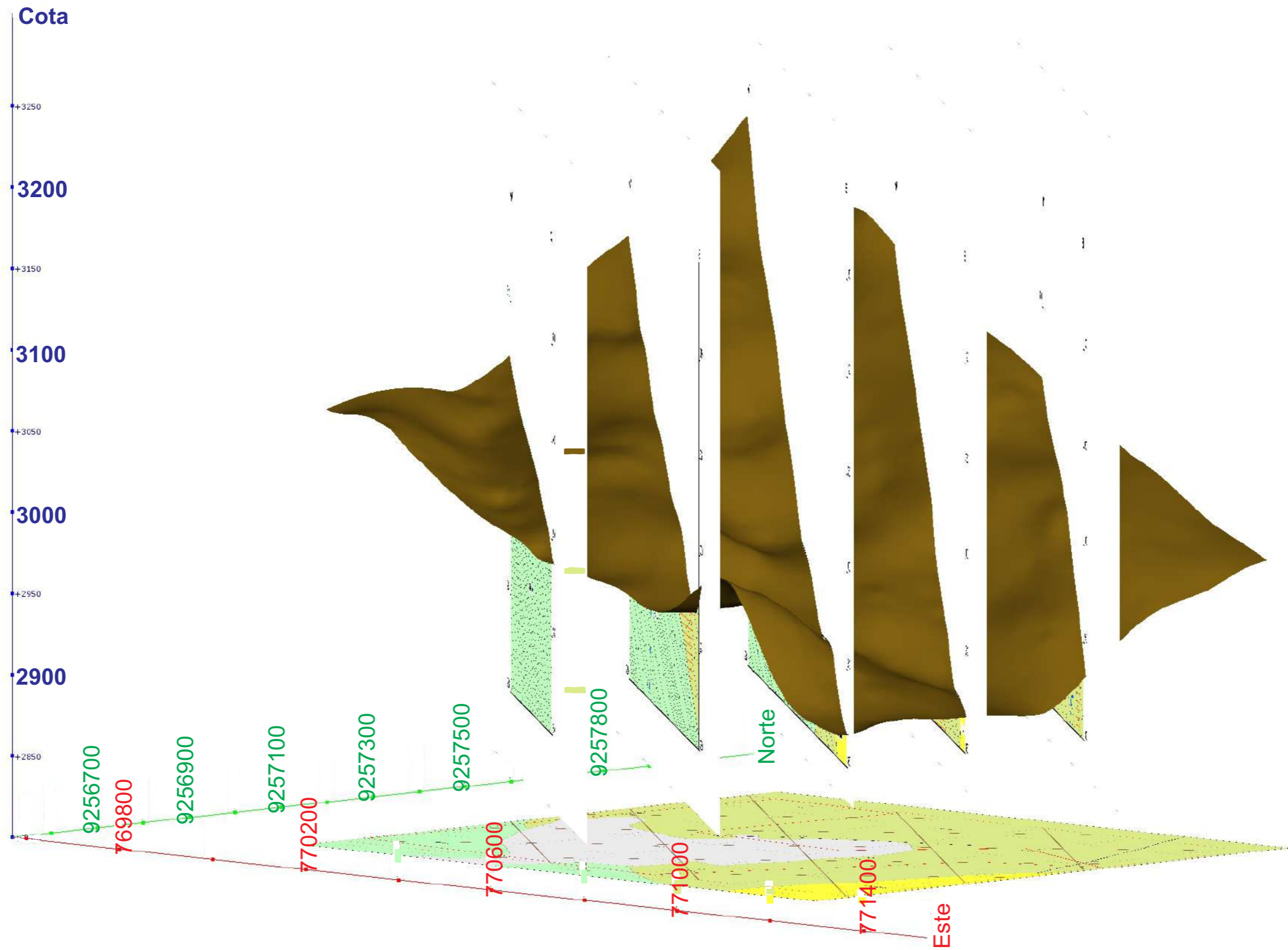
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica			
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.		
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado	N° Modelo	01
ASESOR:	Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani		
Cajamarca, enero del 2025			



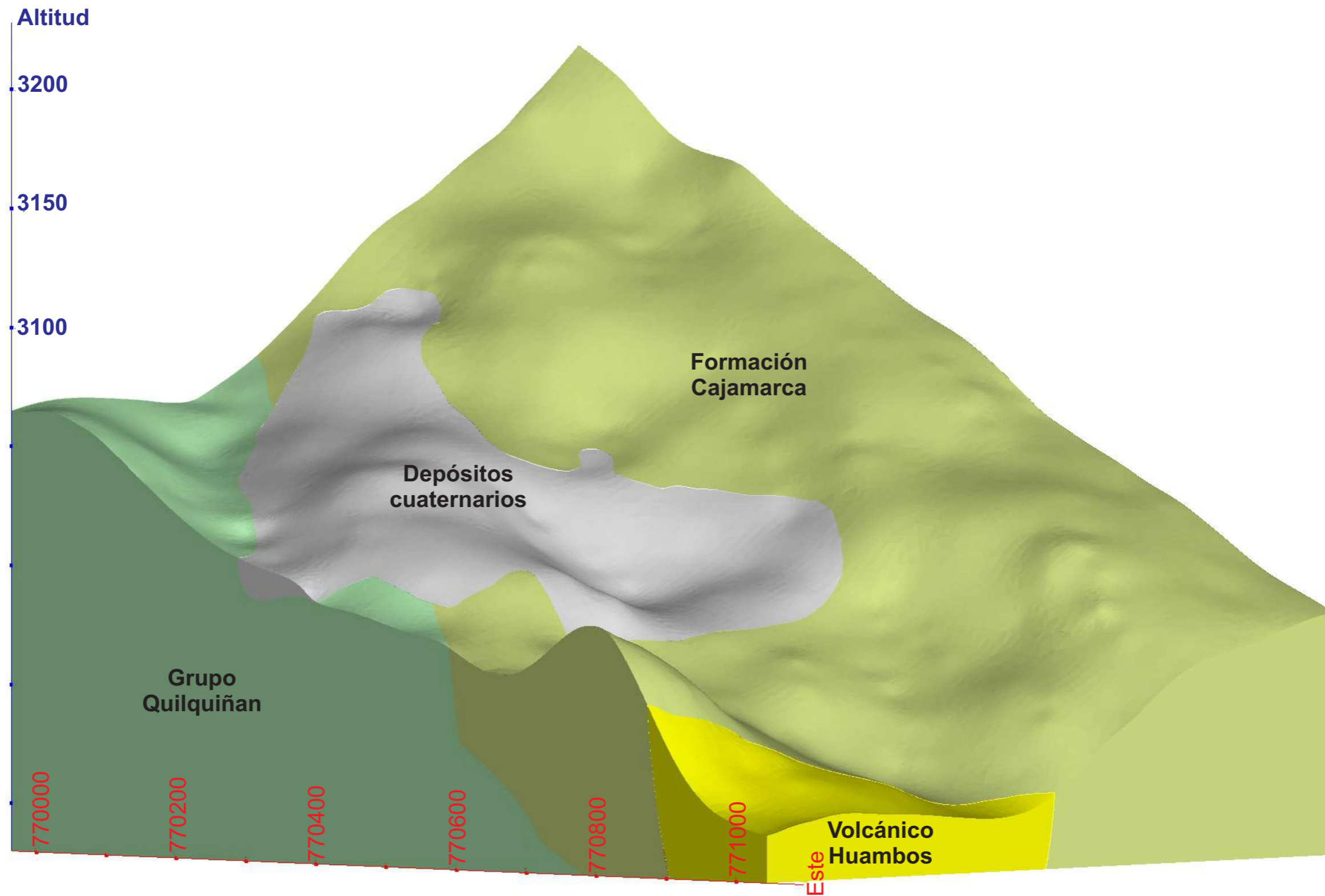
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica			
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bamamarca - Hualgayoc.		
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado		N° Modelo 02
ASESOR:	Dr. Crispin Zenón Quispe Mamani		
Cajamarca, enero del 2025			



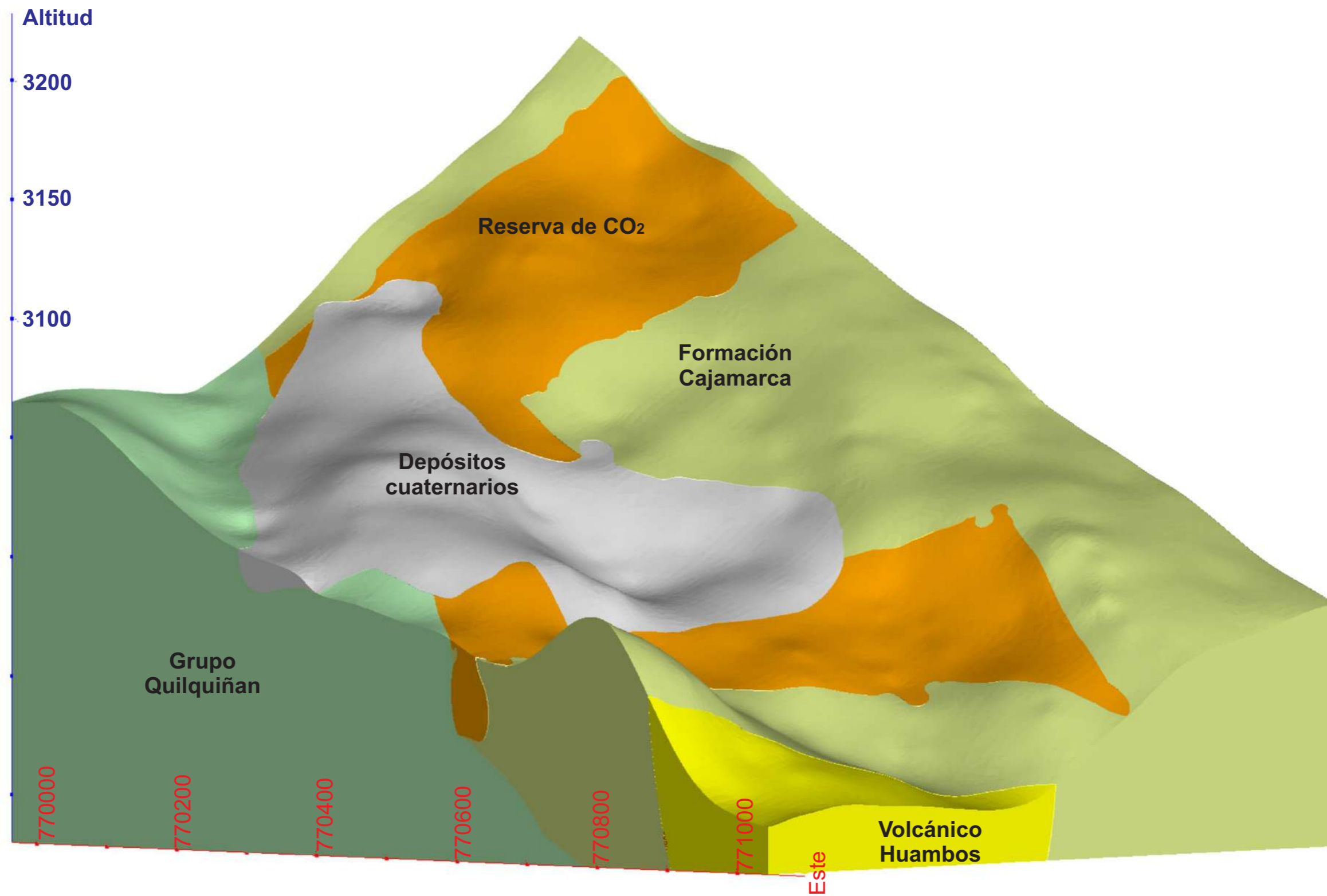
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica			
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.		
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado		N° Modelo 03
ASESOR:	Dr. Crispin Zenón Quispe Mamani		
Cajamarca, enero del 2025			



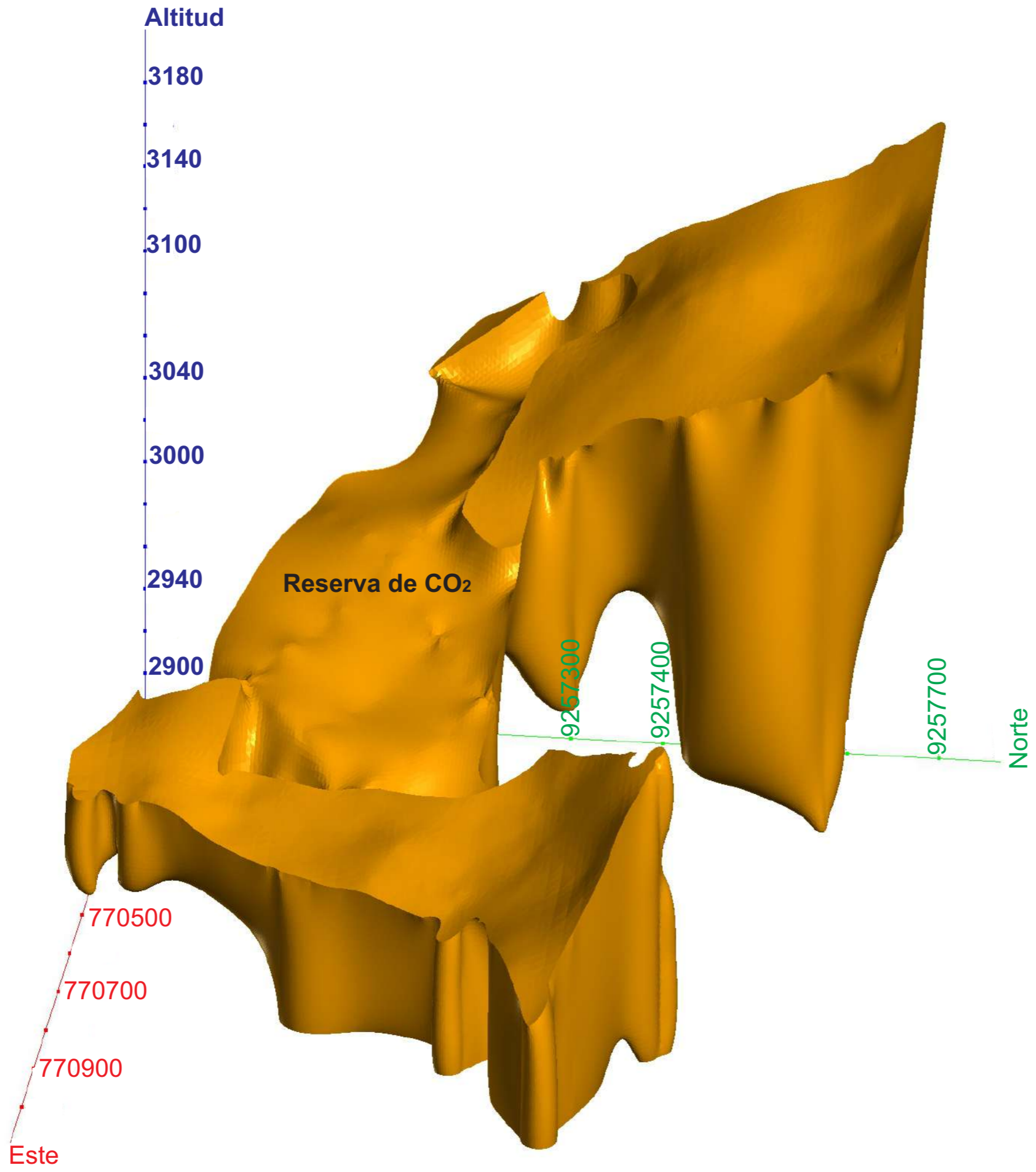
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica			
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bamamarca - Hualgayoc.		
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado		N° Modelo 04
ASESOR:	Dr. Crispin Zenón Quispe Mamani		
Cajamarca, enero del 2025			



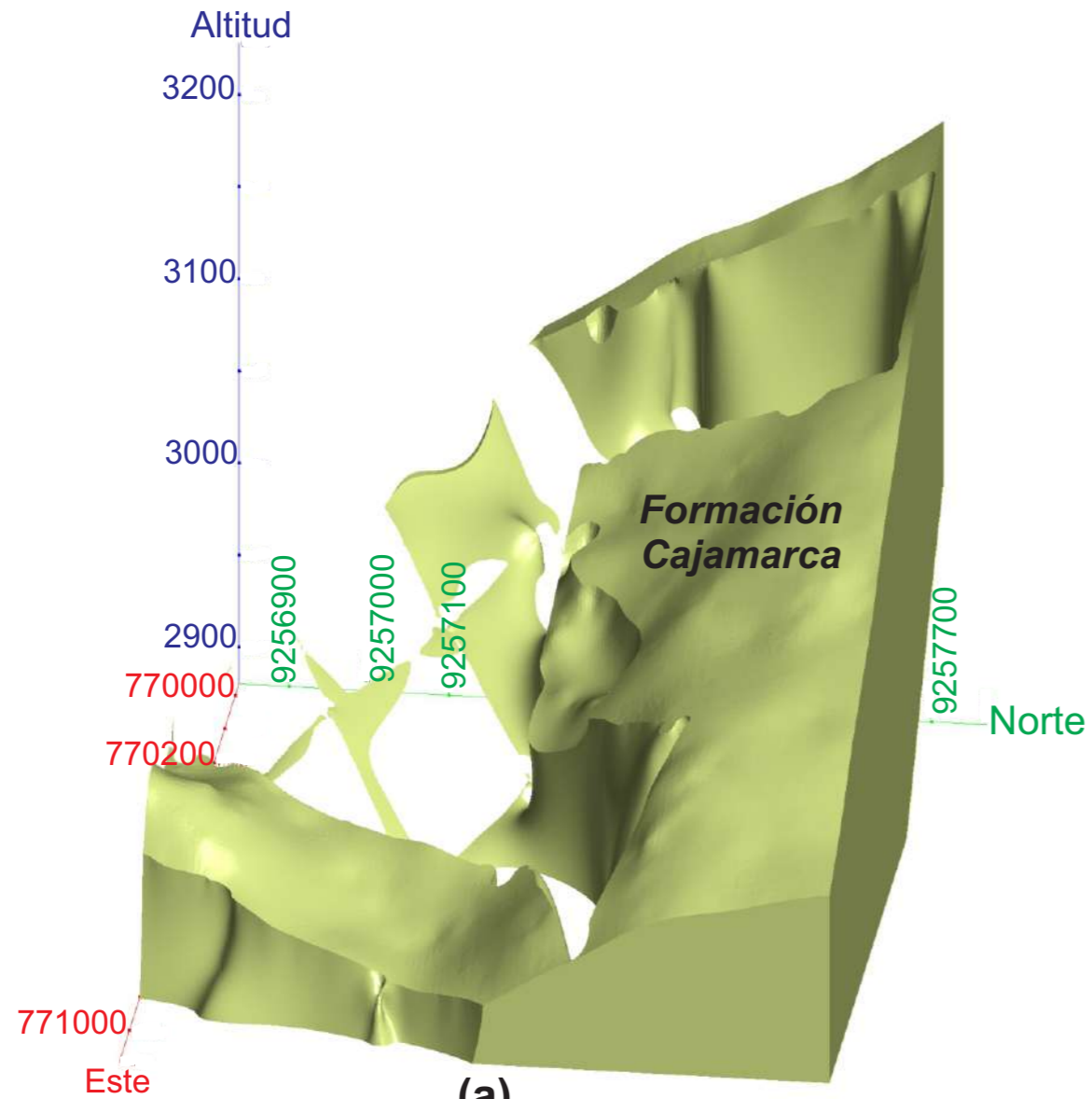
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica			
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.		
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado		N° Modelo 05
ASESOR:	Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani		
Cajamarca, enero del 2025			



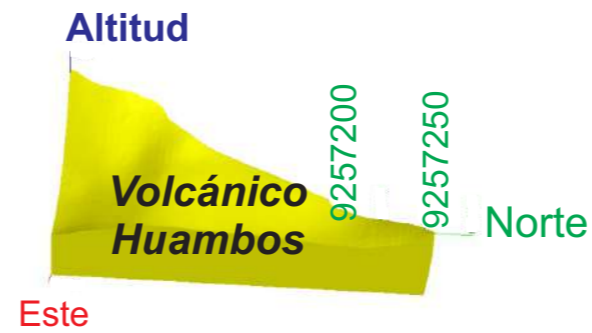
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica			
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.		
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado		N° Modelo 06
ASESOR:	Dr. Crispin Zenón Quispe Mamani		
Cajamarca, enero del 2025			



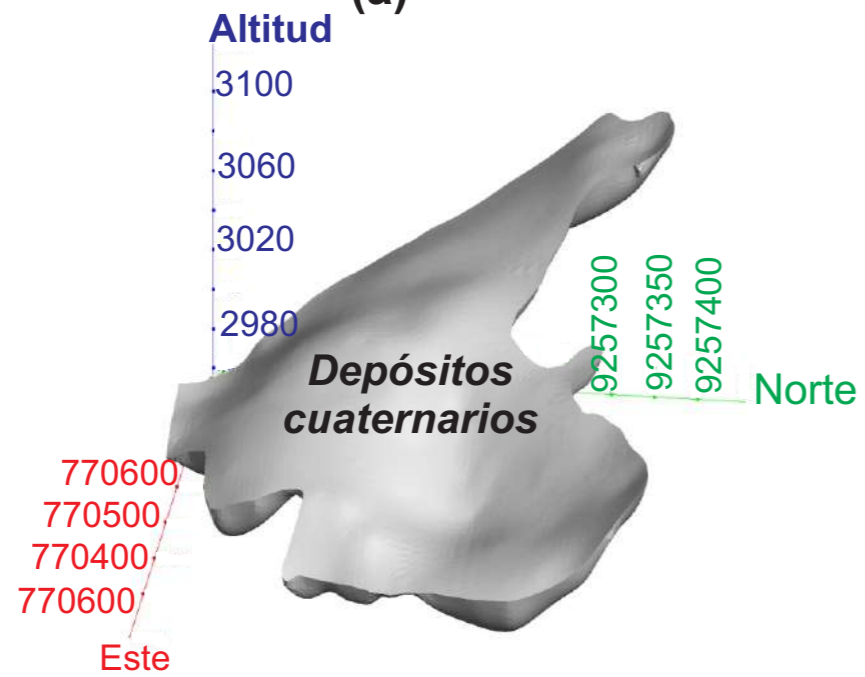
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica			
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bamamarca - Hualgayoc.		
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado		N° Modelo 07
ASESOR:	Dr. Crispin Zenón Quispe Mamani		
Cajamarca, enero del 2025			



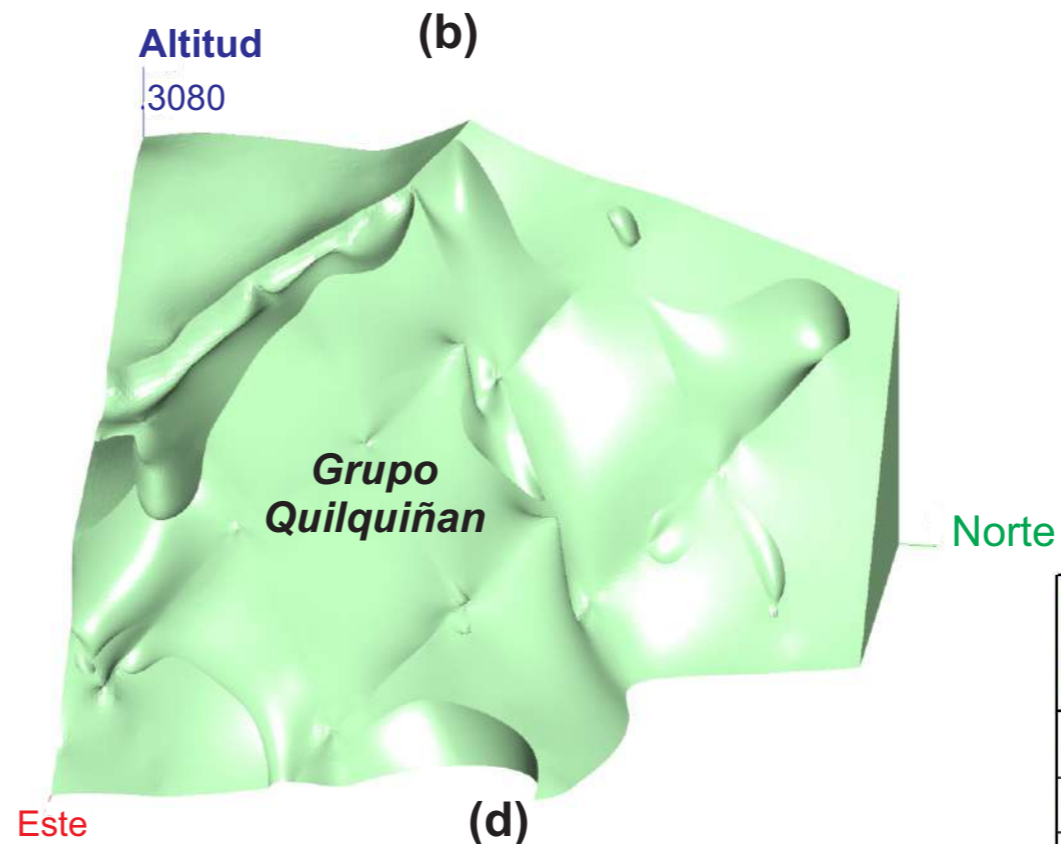
(a)



(b)

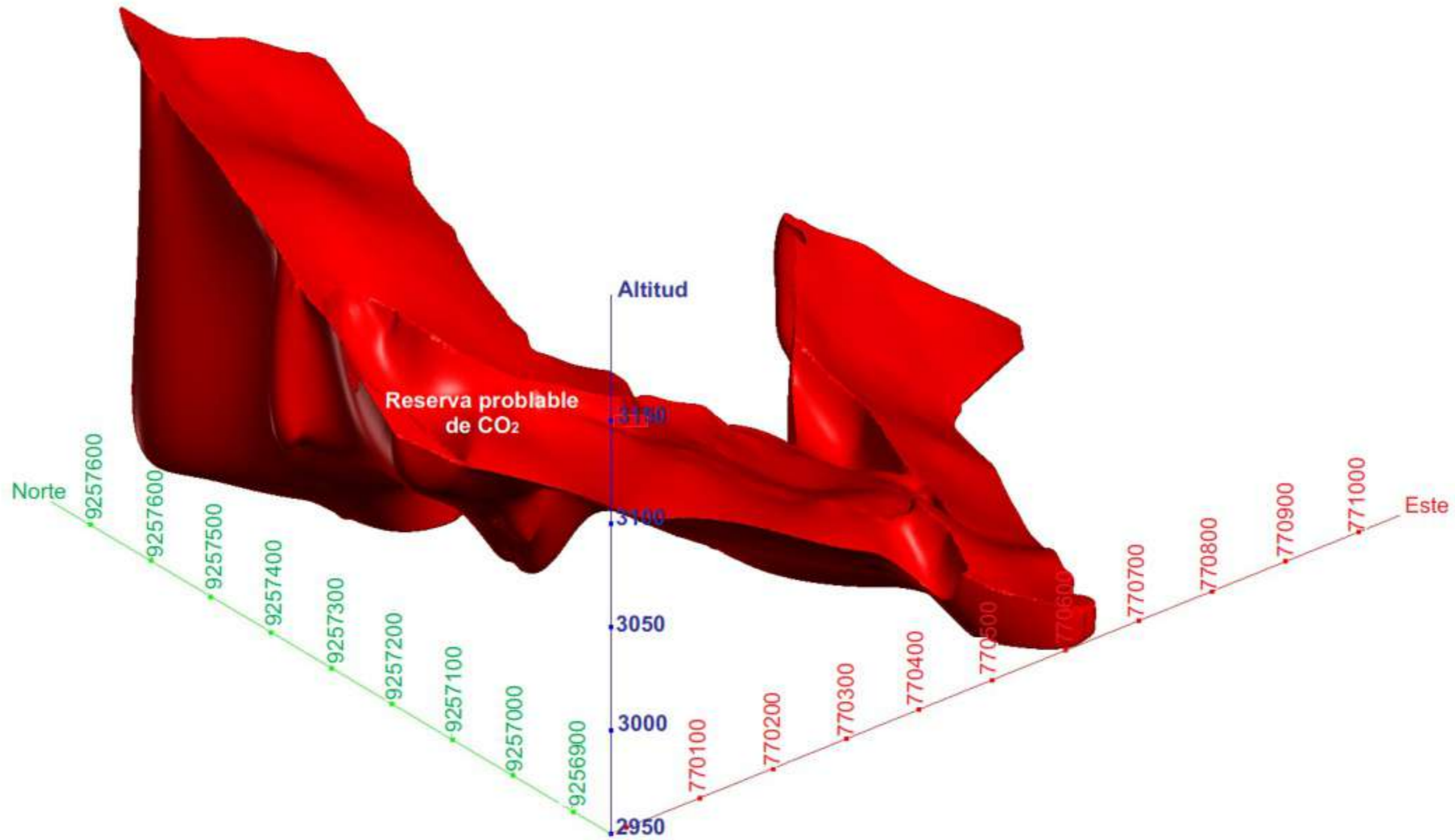


(c.)

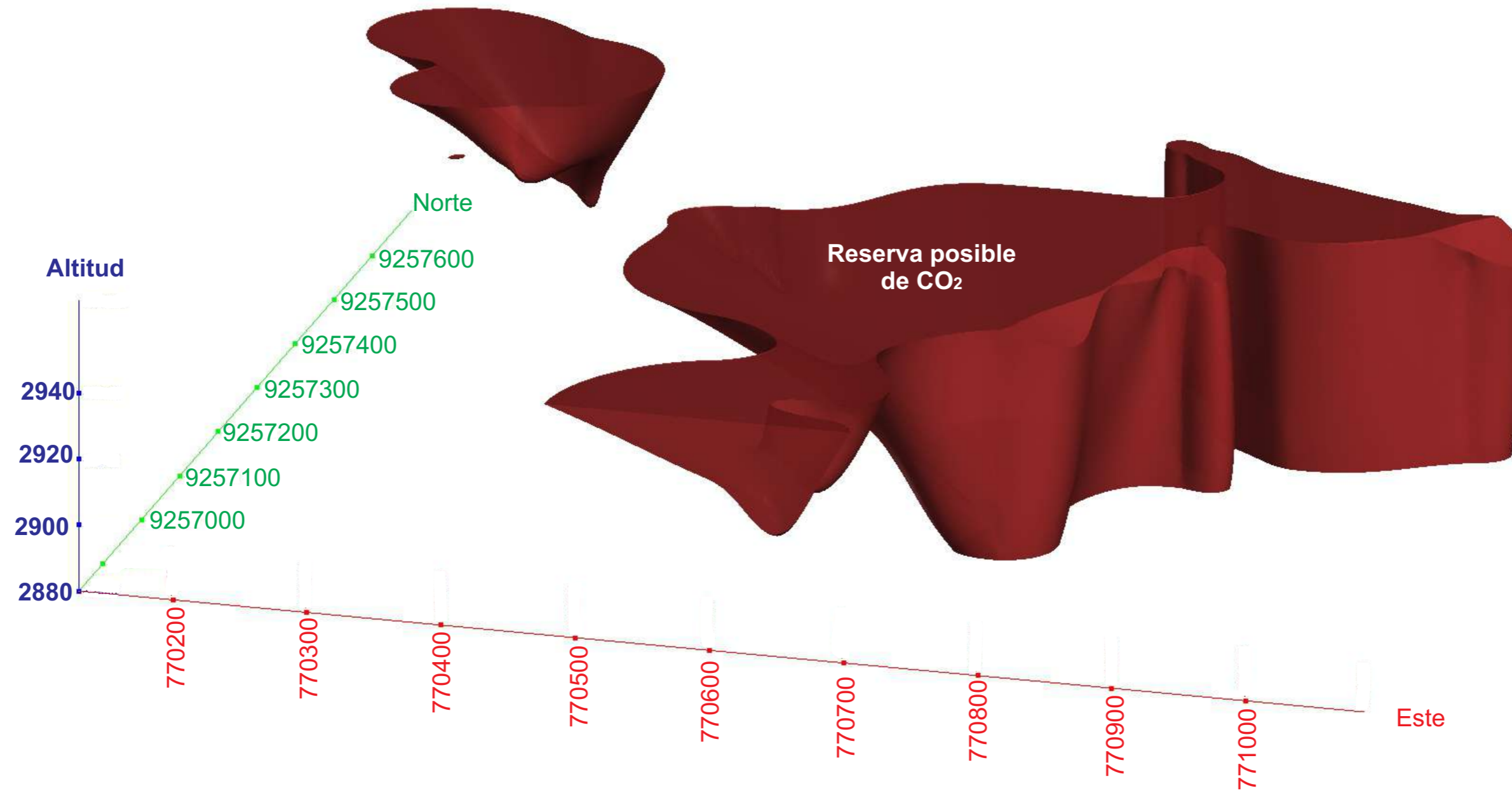


(d)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica			
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.		
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado		
ASESOR:	Dr. Crispin Zenón Quispe Mamani		
Cajamarca, enero del 2025			N° Modelo 08



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica		
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bamamarca - Hualgayoc.	
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado	
ASESOR:	Dr. Crispin Zenón Quispe Mamani	
Cajamarca, enero del 2025		N° Modelo 09



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica			
TESIS:	Modelamiento Geológico 3D Y Cálculo De Reserva De Minera No Metálica "Colquirrumi N°49-A" – Bambamarca - Hualgayoc.		
TESISTA:	Bach. Estelita Del Mar Cabrera Regalado		N° Modelo 10
ASESOR:	Dr. Crispin Zenón Quispe Mamani		
Cajamarca, enero del 2025			