

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



TESIS

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA
EXPLOTACIÓN DE LA CALERA “GEOCAL”, CENTRO POBLADO
CUMBICO**

AUTOR:

Bach. Vásquez Díaz Marlyn Judith

ASESOR:

M. Cs. Gonzales Yana Roberto Severino

**CAJAMARCA
2025**

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** MARLYN YUDITH VÁSQUEZ DÍAZ

DNI: 71919095

Escuela Profesional: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

2. **Asesor:** M. Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino

Facultad: Ingeniería

3. **Grado académico o título profesional**

- Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor

4. **Tipo de Investigación:**

- Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico

5. **Título de Trabajo de Investigación:**

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LA CALERA "GEOCAL", CENTRO POBLADO CUMBICO

Fecha de evaluación: 07/11/2025

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

7. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 5%

8. **Código Documento:** Oide:3117:524741913

9. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 07/11/2025



FIRMA DEL ASESOR
Roberto Severino Gonzales Yana



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 07/11/2025 18:35:20-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



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



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LA CALERA "GEOCAL", CENTRO POBLADO CUMBICO

ASESOR : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0095-2026-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 22 de enero de 2026, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veintitrés días del mes de enero de 2026**, 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. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Vocal : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario : Dr. Ing. Wilder Chuquiruna Chávez.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LA CALERA "GEOCAL", CENTRO POBLADO CUMBICO**, presentado por la Bachiller en Ingeniería Geológica **MARLYN YUDITH VÁSQUEZ DÍAZ**, asesorada por el M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, para la obtención del Título Profesional

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

EVALUACIÓN PRIVADA : **04** PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : **11** PTS.
EVALUACIÓN FINAL : **15** PTS **Quince** (En letras)

En consecuencia, se lo declara **aprobado** con el calificativo de **Quince** 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. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Presidente

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

Dr. Ing. Wilder Chuquiruna Chávez.
Secretario

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana
Asesor

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mis padres, por su amor incondicional, esfuerzo y ejemplo de perseverancia que me inspiran a superarme cada día; a mis hermanas, por su apoyo constante y sus palabras de aliento en los momentos difíciles, que han sido fundamentales en mi formación académica y en mi desarrollo como futura profesional.

AGRADECIMIENTO

Doy mi más profundo agradecimiento a mi alma mater, la “Universidad Nacional de Cajamarca”, a mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (EPIG), al M.Cs. Roberto Severino González Yana, por su dedicación y por brindarme todo el conocimiento necesario que me ayudará a formarme profesionalmente. A todas aquellas personas que colaboraron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	3
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	4
2.1.3. Antecedentes Locales.....	5
2.2. BASES TEÓRICAS	6
2.2.1. Las Rocas Calizas	6
2.2.2. Clasificación de las Rocas Calizas Según su Contenido de Carbonato de Calcio.....	7
2.2.3. Clasificación de las Rocas Calizas Según Dunham	9
2.2.4. Clasificación de las Rocas Calizas Según su Diagénesis	13
2.2.5. La Cal.....	15
2.2.6. Caracterización Geomorfológica.	15
2.2.7. Caracterización Geomecánica.....	17
2.2.8. Recursos y Reservas.	25
2.2.9. Estimación de Reservas.	28
2.2.10. Método de los perfiles para estimación de reservas.....	29
2.2.11. Producción Mundial de Caliza.....	33
2.2.12. Producción No Metálica en el Perú.....	34
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	35
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.1.1. Ubicación Geográfica.....	36

3.1.2.	Ubicación Política.....	36
3.1.3.	Accesibilidad	36
3.2.	PROCEDIMIENTO.....	37
3.2.1.	Planificación	37
3.2.2.	Metodología	38
3.2.3.	Técnicas de Recolección de Datos.....	40
3.2.4.	Instrumentos y Equipos.....	40
3.2.5.	Procesamiento y Análisis de Datos	41
3.2.6.	Definición de Variables	41
3.3.	CONTEXTO GEOLÓGICO	42
3.3.1.	Geología Local.....	42
3.3.2.	Caracterización Geomecánica.....	45
3.3.3.	Caracterización Geomorfológica	53
3.3.4.	Análisis Petrográfico.....	58
3.3.5.	Análisis de Laboratorio y Contenido de Cal	67
3.3.6.	Cálculo de Reserva de Cal.....	71

CAPÍTULO IV

	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	74
4.1.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	74
4.1.1.	Caracterización Geológica y Cálculo de Reservas.....	74
4.2.	Discusión de Resultados.....	76
4.3.	Contrastación de Hipótesis.....	77

CAPÍTULO V

	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5.1.	Conclusiones.....	79
5.1.	Recomendaciones.....	80
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
	ANEXO 01. PANEL DE FIGURAS	85
	ANEXO 02. REPORTES DE ANÁLISIS DE CARBONATO DE CALCIO DE LABORATORIO QUÍMICO	92
	ANEXO 03. PLANO TEMÁTICOS	93
	ANEXO 04. PERFILES GEOLÓGICOS.....	94
	ANEXO 05. INFORMACIÓN DE LA CONCESIÓN MINERA.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación textural de rocas carbonatadas.....	11
Figura 2. Sistema de clasificación Dunham modificado y aclarado con calificadores apropiados a los nombres de las clases.....	12
Figura 3. Diagrama diagénesis.....	14
Figura 4. Esquema de datos de cubicación.	28
Figura 5. Método de los perfiles o cortes.	29
Figura 6. Método para el cálculo de volúmenes.....	30
Figura 7. Ruta al área de investigación, con respecto a la Plaza de Armas de Cajamarca.	37
Figura 8. Vista lateral del afloramiento de calizas pertenecientes a la Formación Cajamarca. N: 9201991/ E: 766648/ Cota: 3436 m.s.n.m.....	43
Figura 9. Vista frontal del afloramiento Formación Cajamarca. N:9201992.98/ E: 766729.33/ Cota: 3435.28 m.s.n.m.....	43
Figura 10. Vista frontal del depósito cuaternario coluvial. N: 9201927.24 / E: 766691.19/ Cota: 3386.12 m.s.n.m.....	44
Figura 11. Vista frontal del Deposito Cuaternario Fluvial colindante con la Formación Cajamarca y Cuaternario Coluvial. N: 9201867.93/ E: 766697.26/ Cota: 3301.02m.s.n.m.....	45
Figura 12. Familias de discontinuidades más la estratificación.....	46
Figura 13. Macizo rocoso de la Formación Cajamarca para el cálculo de la calidad de la roca. N: 9201991.14 / E: 766648.26 / Cota: 3436.08m.s.n.m.....	46
Figura 14. Ligera meteorización vista por decoloración en las rocas calizas.	47
Figura 15. Proyección estereográfica hecha en Slide, observamos en el análisis existe un porcentaje de 26.14% de probabilidades de la existencia de una rotura en cuña con deslizamiento hacia el NW	51

Figura 16. Diagrama de rosetas, este diagrama representa la orientación de rumbo del estrato y las 2 familias de discontinuidades.....	52
Figura 17. Torres Kársticas presentes en la zona de estudio, producto de la disolución del carbonato de las rocas. N: 9201968.98 / E: 766619.05/ Cota: 3442.13 m.s.n.m.	53
Figura 18. Relieves Kársticos de las rocas carbonatadas, en la parte superior del afloramiento de la Formación Cajamarca.	54
Figura 19. Vista lateral del depósito aluvial en la parte superior del afloramiento de la Fm-Ca. N: 9202004.15/ E: 766620.26/ Cota: 3451.01 m.s.n.m.....	55
Figura 20. Vista lateral del Deposito Coluvial, presente debajo del afloramiento de calizas de la Fm-Ca. N: 9201931.6/ E: 766728.71/ Cota: 3302.41 m.s.n.m.	55
Figura 21. Vista frontal de las geoformas de ambiente fluvial N:9201867.93/ E: 766697.26/ Cota: 3301.02m.s.n.m.....	56
Figura 22. A. Canteras y flancos de cantera. B. Bancos de camino, ambos formados por la acción antropogénica. N: 9201879.95/ E: 766737.51/ Cota: 3303.73m.s.n.m.	57
Figura 23. Calizas Mudstone de la Formación Cajamarca al microscopio con mínima cantidad de clastos.	61
Figura 24. Calizas Mudstone de la Formación Cajamarca al microscopio con mínima cantidad de clastos.	62
Figura 25. Calizas Mudstone de la Formación Cajamarca al microscopio con mínima cantidad de clastos.	63
Figura 26. Calizas Mudstone de la Formación Cajamarca al microscopio con mínima cantidad de clastos.	64
Figura 27. Calizas Wackstone de la Formación Cajamarca al microscopio con moderada cantidad de clastos.	66
Figura 28. Estratos deformados que han sufrido procesos de plegamiento por procesos tectónicos. N: 9201879.95/ E: 766737.51/ Cota: 3303.73m.s.n.m.....	67

Figura 29. Histograma del contenido de óxido de Calcio (CaO).....	68
Figura 30. Representación gráfica de los resultados químicas de las muestras de campo.....	70
Figura 31. Clasificación de las rocas calizas de la Formación Cajamarca en el area de tesis.....	75
Figura 32. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 1, extraída de las coordenadas N: 9202006/ E: 766718/ Cota: 3440m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.	85
Figura 33. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 2, extraída de las coordenadas N: 9202001/ E: 766597/ Cota: 3438m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.	85
Figura 34. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 3, extraída de las coordenadas N: 9202053/ E: 766412/ Cota: 3480m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP	86
Figura 35. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 4, extraída de las coordenadas. N: 9202100/ E: 766377/ Cota: 3501m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.	86
Figura 36. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 5, extraída de las coordenadas. N: 9202160/ E: 766132/ Cota: 3466m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.	87
Figura 37. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 6, extraída de las coordenadas. N: 9202028/ E: 766090/ Cota: 3369m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.	87

Figura 38. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 7, extraída de las coordenadas. N: 9201992/ E: 766340/ Cota: 3426m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.	88
Figura 39. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 8, extraída de las coordenadas. N: 9202139/ E: 766554/ Cota: 3474m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.	88
Figura 40. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 9, extraída de las coordenadas. N: 9202289/ E: 766442/ Cota: 3519m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.	89
Figura 41. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 10, extraída de las coordenadas. N: 9202347/ E: 766544/ Cota: 3516m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.	89
Figura 42. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 11, extraída de las coordenadas. N: 9202284/ E: 766328/ Cota: 3521m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.	90
Figura 43. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 12, extraída de las coordenadas. N: 9202309/ E: 766137/ Cota: 3499m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.	90
Figura 44. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 12, extraída de las coordenadas. N: 9202376/ E: 766232/ Cota: 3531m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de pureza de caliza	8
Tabla 2. Clasificación de depósitos de caliza en categorías de tamaño (en millones de toneladas)	8
Tabla 3. Propiedades químicas del carbonato de calcio disponible comercialmente.	9
Tabla 4. Clasificación y características de ambientes morfogenéticos.....	17
Tabla 5. Descripción del espaciado.....	18
Tabla 6. Descripción de la continuidad.....	19
Tabla 7. Descripción de la abertura.....	20
Tabla 8. Clasificación de la calidad de macizo según el índice RQD.	21
Tabla 9. Clasificación del grado de meteorización de un macizo rocoso.	22
Tabla 10. Resistencia a partir de índice de campo.....	22
Tabla 11. Parámetros de clasificación RMR.....	24
Tabla 12. Corrección por la orientación de las diaclasas.	25
Tabla 13. Categoría de clasificación Geomecánica del RMR.....	25
Tabla 14. Factores de esponjamiento según la dureza de la roca	32
Tabla 15. Producción mundial de cal (en miles de toneladas)	33
Tabla 16. Coordenadas geográficas de la Calera Geocal (Sistema UTM DATUM WGS- 84, zona 17S).....	36
Tabla 17. Clasificación y tipos de investigación.	39
Tabla 18: Definición de variables.	41
Tabla 19: Índice RQD de la estación.....	48
Tabla 20: Condición de las discontinuidades.	49
Tabla 21: Índice de la calidad de la roca RMR.	50
Tabla 22. Tabla resumen de unidades geomorfológicas, por ambiente morfogenético.....	58
Tabla 23. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo de rocas calizas.	59
Tabla 24. Parámetros geoestadísticos de las muestras analizadas.....	68
Tabla 25. Resumen de resultados obtenidos en laboratorio de análisis físico-químico.	69
Tabla 26. Calculo Reservas Probadas	72
Tabla 27. Cálculo de reservas probables.	73

LISTA DE ABREVIATURAS:

RMR	: Rock Mass Rating (Clasificación del Macizo Rocoso)
RQD	: Rock Quality Designation (Designación de calidad de la roca)
Er	: Tipo de terminación de la roca.
Ee	: Roca en otra discontinuidad.
Ex	: Roca que no aflora.
V	: Volumen
D	: Densidad aparente.
F	: Factor de esponjamiento
CaO	: Óxido de calcio.
CaCO ₃	: Carbonato de Calcio.
Tn	: Tonelada
TM	: Toneladas Metricas
Fm. Ca	: Formación Cajamarca.
Ha	: Hectareas
TIR	: Tasa Interna de Retorno.
PR	: Período de Recuperación

RESUMEN

La calera Geocal, ubicada en la concesión Juan de Dios I, en el centro poblado de Cumbico, distrito de Magdalena, se encuentra en una zona con amplio afloramiento de rocas calizas de la Formación Cajamarca, las cuales presentan un alto potencial para la producción de cal. El objetivo de esta investigación fue caracterizar geológicamente el yacimiento y calcular sus reservas explotables. Para ello, se realizaron salidas de campo orientadas al análisis de los afloramientos, cartografiado geológico y toma de 13 muestras de rocas calizas. Estas fueron analizadas en laboratorio de petrografía para su clasificación mineralógica y en un laboratorio físico-químico para determinar su pureza en óxido de calcio (CaCO_3). Los resultados indican que las calizas alcanzan un promedio de 93.15% de pureza en óxido de calcio (CaO), clasificándolas como rocas de alta calidad industrial. Petrográficamente, según Dunham, se clasifican como calizas tipo mudstone y wackstone. Geomecánicamente, de acuerdo con la clasificación RMR de Bieniawski, se catalogan como rocas buenas, con predominio de ambientes morfogénéticos como kárstico, denudacional, fluvial y antropogénico. Finalmente, mediante el método de perfiles aplicado en el software ArcGIS, se estimaron aproximadamente 25 millones de toneladas de reservas probadas (considerando un espesor de 40 m) y 51 millones de toneladas de reservas probables (con un espesor de 100 m). Estos resultados evidencian el potencial económico y geológico del yacimiento, constituyéndose en una fuente importante para el desarrollo de la industria minera no metálica en la región de Cajamarca.

Palabras clave: calizas, calera, reservas, yacimiento no metálico

ABSTRACT

The Geocal limestone quarry, located in the Juan de Dios I concession in the town of Cumbico, Magdalena District, is in an area with extensive outcrops of limestone from the Cajamarca Formation, which present high potential for lime production. The objective of this investigation was to geologically characterize the deposit and calculate its exploitable reserves. To this end, field trips were conducted to analyze the outcrops, geological mapping, and the collection of 13 limestone samples. These samples were analyzed in a petrography laboratory for mineralogical classification and in a physical-chemical laboratory to determine their calcium oxide (CaCO_3) purity. The results indicate that the limestones reached an average of 93.15% calcium oxide (CaO) purity, classifying them as high-quality industrial rocks. Petrographically, according to Dunham, they are classified as mudstone and wackstone limestones. Geomechanically, according to Bieniawski's RMR classification, they are classified as good rocks, with a predominance of morphogenetic environments such as karst, denudational, fluvial, and anthropogenic. Finally, using the profiling method applied in ArcGIS software, approximately 25 million tons of proven reserves (considering a thickness of 40 m) and 51 million tons of probable reserves (with a thickness of 100 m) were estimated. These results demonstrate the deposit's economic and geological potential, constituting an important source for the development of the non-metallic mining industry in the Cajamarca region.

Keywords: Limestone, Lime Kiln, Reserves, Non-Metallic Deposit

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El aumento de la necesidad de productos derivados de la roca caliza, nos hacen notar que existe un mercado que va en auge y en el cual se puede invertir, viendo como zona favorable para esta industria, en el centro poblado de Cumbico, distrito de Magdalena, provincia y región de Cajamarca, se encuentra una zona de amplio afloramiento de rocas calizas que podrían servir para la obtención de cal y otros derivados. Las rocas calizas de Cumbico pertenecen a la Formación Cajamarca, se desarrollaron en el Cretácico Superior, dentro de un ambiente marino, y formado por calizas grises, con un alto porcentaje de carbonato de calcio. La realización de esta investigación será mediante imágenes satelitales, salidas al campo, identificación de las características estratigráficas, caracterización petrográfica macroscópica, propiedades geomecánicas, toma de datos de espesor. Estos estudios geológicos ayudarán a establecer calidad de la roca respecto a su contenido de carbonato de calcio, todo estará plasmado en la tesis donde también se determinará el cálculo de las reservas mediante el método de perfiles, sirviendo esto para analizar la zona y viabilidad y/o explotación de la calera “Geocal” en el centro poblado de Cumbico, donde la formulación del problema es ¿Cuál será la caracterización geológica y cálculo de reservas para explotación de la calera “Geocal”, centro poblado Cumbico?

La hipótesis es que las rocas calizas de la Formación Cajamarca que afloran en la calera “Geocal”, presentarán una composición petrográfica y un alto contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) que permiten clasificarlas como calizas de buena calidad industrial. En consecuencia, el yacimiento posee reservas económicamente explotables que pueden ser aprovechadas de manera sostenible para la producción de cal y otros derivados no metálicos. La investigación se justifica teniendo en cuenta la situación actual en la que se encuentra nuestro país y de manera focalizada nuestra ciudad de Cajamarca con

respecto a la explotación de yacimientos no metálicos y presenciando el crecimiento acelerado de la industria de la construcción, es necesaria la extracción de recursos no metálicos, ya que estos anteriormente no han tenido un valor suficiente con respecto a los yacimientos metálicos, siendo un gran potencial de recursos económicos y laborales. Este estudio que hará el análisis geológico y dará como resultado el cálculo de las reservas, ayudará entidades con interés en el rubro de la explotación de yacimientos no metálicos, además como aporte académico dirigido a estudiantes y/o profesionales de geología y minas.

El estudio se desarrollará entre abril y diciembre de 2025, en el centro poblado de Cumbico. Su alcance comprende la caracterización geológica y el cálculo de reservas del yacimiento no metálico. Se plantea como objetivo principal Caracterizar la geología y calcular las reservas para la explotación de la calera y como objetivos específicos: describir la geología del yacimiento, analizar la pureza del porcentaje de carbonato de calcio en las rocas calizas y calcular las reservas de mineral no metálico.

Los contenidos de los capítulos para la investigación se han estructurado en V capítulos, correspondiendo el capítulo II a marco teórico en el cual se tiene antecedentes teóricos nacionales y locales, así mismo contiene bases teóricas que van a servir de apoyo a la investigación. Y por último las definiciones de los términos básicos para colaborar con el entendimiento claro de la investigación realizada en esta tesis. El capítulo III correspondiente a materiales y métodos, donde está la ubicación de la zona donde se trabajará y se detalla procedimientos, tratamiento, análisis de los datos y resultados. El capítulo IV corresponde al análisis y discusión de resultados. El capítulo V corresponde a conclusiones y recomendaciones en el cual se plasmará las conclusiones de acuerdo a los objetivos inicialmente planteados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Ortiz (2016) en su investigación sobre la estimación de reservas de caliza en el sector Chuwitayo - Chiguaza, realizó el reconocimiento y delimitación del yacimiento ubicado en la Formación Napo, caracterizada por calizas fosilíferas con alto contenido de carbonato de calcio. Efectuó un levantamiento geológico y estructural, tomando siete muestras en los afloramientos más representativos, las cuales fueron registradas y codificadas. Posteriormente, se evaluó el yacimiento mediante análisis mineralógicos, químicos y geomecánicos, determinando la pureza de la cal mediante pruebas geoquímicas. El cálculo de reservas se realizó aplicando el método de perfiles, obteniendo cinco perfiles espaciados a 200 metros, con resultados de 357'043.992 toneladas de reservas probadas y 1'162.048,5 m³ de sobrecarga, demostrando el potencial económico del yacimiento.

Rodríguez (2017) en el estudio: Cálculo de reservas del macizo rocoso cantera los deseos en el municipio de San Juan del Cesar- La Guajira; describe el cálculo de reservas presentes en la zona donde señala que se hizo en dos partes la primera fue la toma de datos que se hace teniendo en cuenta distancias y cotas en varios puntos aleatorios en todo el macizo, y luego el procesamiento de datos donde se estimaba un aproximado del volumen y dimensiones totales del yacimiento, usando el método de perfiles combinando el uso de Global Mapper y Autocad, resultando que la cantera los deseos es un yacimiento de roca caliza con presencia de minerales como calcita y aragonitos y rocas ornamentales como el mármol económicamente explotable puesto que es de fácil acceso, superficial y con unas reservas aproximadas de 17329.53705 Toneladas.

Muñoz (2015). En su estudio sobre la evaluación de reservas y diseño del sistema de explotación del área minera Mary Elena (código 102317), ubicada en el cantón Gualaquiza, provincia de Morona Santiago, Ecuador, realizó el cálculo de reservas y el diseño del sistema de explotación. Empleó nueve cortes transversales orientados N58°E utilizando AutoCAD Civil 2015, obteniendo 367,222.5 toneladas de reservas probadas. Mediante los softwares Vulcan 8.0 y Gemcom 6.3, se calcularon valores similares, con 399,325 y 399,318 toneladas respectivamente. Además, determinó 1'321,851 toneladas como reservas probables y 1'714,368 toneladas como reservas posibles, evidenciando el importante potencial del yacimiento.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Avelino (2019) en su investigación: “Evaluación de las calizas para el diseño de la planta de calcinación en la concesión Calquipa”, analiza cómo las propiedades físicas de las calizas influyen en el diseño de una planta de calcinación sostenible. Las calicatas confirmaron reservas significativas en la concesión, evidenciando su potencial. Con enfoque cuantitativo y diseño experimental, se desarrollaron cuatro etapas con muestras representativas. Los resultados indican que con un diámetro de 1” y 10 horas de calcinación (850–950°C) se logra la mayor pureza de CaO (84.40–84.90%), mientras que con 3” la reacción es incompleta (53.45–77.10%). Se concluye que es viable una fase piloto con planta a pequeña escala para cubrir costos y evaluar rentabilidad.

Blas y Damián (2021) en su tesis; Evaluación geológica para el cálculo de reservas y estimación de recursos minerales del prospecto minero Calmar, evalúa geológicamente el prospecto minero Calmar para calcular reservas y estimar recursos minerales. Se presentan sus características geográficas, geológicas y ambientales, junto con la descripción de la propiedad, metodología, recursos hídricos y energéticos. Se detallan el tipo de yacimiento, los muestreos realizados y las áreas de análisis para identificar paquetes mineralizados y sus leyes. Finalmente, mediante normas de cubicación y fórmulas matemáticas, se estimaron 1,097,460 toneladas de recursos.

Ramos (2015) en su tesis: Investigación geológica para la estimación de recursos caliza en el proyecto peña blanca, provincia de Contumazá departamento de Cajamarca; Se evaluó el yacimiento del Proyecto Peña Blanca para estimar recursos de roca caliza de la Formación Cajamarca. Los trabajos incluyeron la identificación y clasificación del depósito, así como la determinación de calidades y propiedades físicas de la roca para la elaboración de cemento. El análisis químico reveló calizas de buena y regular calidad, con leyes promedio de 48.4% de CaO y 0.30% de SO₃. Mediante el método de bloques geológicos y la media aritmética se calculó un total aproximado de 92,523,430 toneladas métricas.

2.1.3. Antecedentes Locales

Castillo y Chunque (2017) este trabajo de investigación: Evaluación de calidad de las calizas con fines industriales en la concesión minera Tres Pirámides, distrito de Magdalena – Cajamarca 2016, evaluó la calidad de las calizas de las formaciones Cajamarca y Yumagual para producir óxido de calcio, determinando que las de Cajamarca son las más adecuadas. Las muestras, clasificadas como Mudstone, Packstone y Wackestone, presentan alta calidad industrial, con carbonatos totales entre 94.43% y 97.11%. Se estimaron 687,589 toneladas métricas de reservas y una producción mensual de 3,600 toneladas, otorgando una vida útil de 15.9 años. El plan de minado propone explotación a cielo abierto por bancos con uso de explosivos convencionales. El estudio resalta el potencial calizo de Cajamarca y su aporte a la industria no metálica regional.

González (2021). En su investigación Cálculo de Reservas para la Extracción de Calizas de la Formación Cajamarca, entre las Localidades de Colqueteña y Otuzco. Tuvo como objetivos identificar zonas de interés, definir parámetros geométricos de explotación y determinar el contenido de carbonato de calcio en afloramientos de la Formación Cajamarca. La investigación, de tipo aplicada y cuantitativa, calculó un volumen de 71,335,112.90 m³ y un tonelaje de 831,236.33 TN, con peso específico de 2.5 TN/m³. Los parámetros de cantera fueron: talud 3 m, berma 2.5 m, ángulo 65°, talud final 60°, dureza fuerte y RMR 60 (roca buena y estable). El contenido promedio de CaO fue 94%.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Las Rocas Calizas

Las calizas son rocas sedimentarias que se originan por la acumulación de restos de organismos con conchas calcáreas o por la precipitación química del carbonato de calcio (en forma de calcita, aragonito, Mg-calcita o dolomita). Además, pueden contener pequeñas proporciones de minerales como arcillas, cuarzo, hematita y siderita. (Chirif, 2009).

El término “calizas” se aplica a aquellas rocas cuya fracción carbonatada está constituida principalmente por calcita o aragonito. Este último es un mineral inestable que suele transformarse rápidamente en calcita, de sistema cristalino hexagonal. Durante este proceso se generan espacios vacíos que permiten la infiltración del agua meteórica, originando la porosidad kárstica o secundaria. Los minerales principales son calcita, aragonito y dolomita, acompañados de pequeñas cantidades de ankerita y siderita, siendo la calcita y la dolomita los más comunes. Al igual que otras rocas sedimentarias, las calizas están formadas por estructuras esqueléticas y fragmentos de conchas, moluscos u otros restos biológicos propios de la fauna marina presente durante su formación. (INGEMMET, 2020).

La caliza y la dolomía forman un conjunto de materias primas conocidas como rocas carbonatadas. Estas constituyen los materiales básicos para la fabricación de cemento, cal, la mayoría de piedras de construcción y una parte importante de la piedra triturada. Tanto las rocas carbonatadas como sus derivados se utilizan como agregados, fundentes, materias primas para la elaboración de vidrio y materiales refractarios, además de emplearse como rellenos, agentes reactivos en remover azufre-óxido, abrasivos, mejoradores del suelo y en diversas aplicaciones industriales. Aproximadamente el 15% de la corteza sedimentaria terrestre está compuesta por rocas carbonatadas, las cuales son abundantes y aptas para su aprovechamiento. Se hallan distribuidas en todos los continentes y se extraen de formaciones que abarcan desde el Precámbrico hasta el Holoceno.. (INGEMMET, 2020).

La caliza, químicamente pura, consiste en un 100% de calcita y/o aragonita; los dos minerales tienen la misma fórmula química CaCO₃ (56,2% CaO, 43,8% CO₂). La mayoría de las calizas de calidad industrial usadas tiene un contenido de CaCO₃ de 70-80%, muchas con más del 90%. Prácticamente, todas las calizas contienen impurezas tales como arcilla, cuarzo, dolomita, así como otros componentes numerosos (Lorenz & Gwosdz, 2005).

2.2.2. Clasificación de las Rocas Calizas Según su Contenido de Carbonato de Calcio

Se han desarrollado diversos esquemas de clasificación para las rocas carbonatadas, los cuales pueden basarse en diferentes características. Sin embargo, los criterios más empleados suelen ser la composición y la textura. La composición puede analizarse desde el punto de vista mineralógico, por el tipo de fósiles o granos presentes, o por sus componentes químicos. En cambio, la textura hace referencia a las características tanto de depósito como posteriores a la sedimentación, incluyendo la proporción entre granos y matriz limosa, el tamaño de los granos, el tipo de cemento y el grado de porosidad. (Freas et al., 2006).

Una clasificación muy práctica de pureza de la caliza se basa en el contenido de carbonato de calcio (CaCO₃). Así mismo se puede utilizar como criterios de calidad los contenidos de Óxido de Magnesio (MgO), Dióxido de silicio (SiO₂) y Óxido de Hierro (Fe₂O₃). La evaluación de laboratorio de la caliza comprende análisis químicos y mineralógicos, además de pruebas de sus propiedades físicas. Esta evaluación se realiza considerando los requerimientos de la industria y las fichas técnicas o especificaciones disponibles. (Mitchell, 2011).

La Tabla 1 donde se muestra la clasificación del grado de pureza de las calizas de acuerdo a la composición química. El factor de conversión utilizado para la interpretación del análisis químico de rocas calcáreas es: CaO x 1.785 = CaCO₃. Este factor también está de acuerdo al United States Department of Agriculture (NRCS) y Laboratorios ACTLABS (Lorenz & Gwosdz, 2005).

Tabla 1. Clasificación de pureza de caliza

Clasificación de pureza	CaO (%)	CaCO₃ (%)	MgO (%)	SiO₂ (%)	Fe₂O₃ (%)
Muy Alta	> 55.2	> 98.5	< 0.8	< 0.2	< 0.05
Alta	54.3 – 55.2	97.0 – 98.5	< 1.0	< 0.6	< 0.1
Media	52.4 – 54.3	93.5 – 97.0	< 3.0	< 1.0	< 1.0
Baja	47.6 – 52.4	85.0 – 93.5	> 3.0	< 2.0	> 1.0
Impura	< 47.6	< 85.0		> 2.0	

Fuente: Lorenz & Gwosdz , (2005).

La Tabla 2, presenta una clasificación por categorías según el volumen de toneladas, que distingue los yacimientos de caliza como pequeños, medianos o grandes, dependiendo de su uso. En términos generales, se considera que las reservas destinadas al suministro de plantas de cal deben garantizar aproximadamente 25 años de operación continua. La caliza es considerada como un producto de bajo valor, razón por la cual los depósitos deben estar ubicados cerca de las industrias consumidoras (por lo general < 50 a 100 km para cemento y para la cal < 20-30 km). Sin embargo, las condiciones geológicas y/o económicas dan lugar a numerosas excepciones a esta regla (Lorenz & Gwosdz, 2005).

Tabla 2. Clasificación de depósitos de caliza en categorías de tamaño (en millones de toneladas)

Categoría de tamaño	Uso		
	Cemento	Cal	Rellenos, químicos
Pequeño	< 10	< 1	< 0.5
Mediano	10 – 50	1 – 10	0.5 – 5
Grande	> 50	> 10	> 5

Fuente: Lorenz & Gwosdz, (2005).

Para conocer aún más la importante de la industrial de las calizas se ha considerado necesario incluir la Tabla 3 de Clive Mitchell publicado en el artículo High purity limestone quest en la revista Industrial Minerals, 2011. En esta tabla, elaborada a partir de las propiedades químicas del carbonato de calcio disponible en el mercado, se recopila información proveniente de 198

productos comerciales. El propósito es identificar los posibles usos de las calizas en las distintas industrias actuales.

Tabla 3. Propiedades químicas del carbonato de calcio disponible comercialmente.

Propiedades	Pintura	Papel	Plástico	Alimento y farmacéuticos
CaCO ₃ (%)	92 – 99.35	96 – 99.35	92 – 99.35	97 – 99.35
CaO (%)	51.55 – 55.67	53.79 – 55.67	51.55 – 55.67	54.35 – 55.75
MgO (%)	0.15 – 1.2	0.15 – 1.2	0.15 – 1.2	0.24 – 0.42
SiO ₂ (%)	0.05 – 4.5	0.05 – 0.4	0.05 – 4.5	0.1 – 0.12
Fe ₂ O ₃ (%)	0.01 – 0.1	0.01 – 0.1	0.01 – 0.1	0.011 – 0.1
Propiedades	Cerámica	Caucho	Adhesivos y sellantes	Agricultura y alimento animal
CaCO ₃ (%)	98 – 99.35	92 – 99.35	92 – 99.35	97 – 99.35
CaO (%)	55.36 – 55.67	51.55 – 55.67	51.55 – 55.67	51.55 – 55.67
MgO (%)	0.22 – 0.38	0.15 – 1.2	0.15 – 1.2	0.22 – 0.96
SiO ₂ (%)	0.06 – 0.12	0.05 – 4.5	0.05 – 4.5	0.06 – 4.5
Fe ₂ O ₃ (%)	0.02 – 0.044	0.01 – 0.1	0.01 – 0.1	0.037 – 0.1

Fuente: Mitchell, (2011).

2.2.3. Clasificación de las Rocas Calizas Según Dunham

Dunham (1962) propuso un enfoque distinto de clasificación, enfocado en las texturas depositacionales de la caliza, en lugar de basarse en la identificación de los tipos específicos de granos carbonatados como se ve en la Figura 1. Se basa en la proporción relativa entre las partículas y la matriz, sin considerar la presencia o no de cemento (esparita). (Montijo & Cuen, 2019).

Considera dos aspectos de la textura: (1) el empaquetamiento de los granos, la abundancia relativa de granos y micrita, y (2) la unión deposicional de los granos. Para utilizar esta clasificación, se debe determinar primero si los constituyentes originales de la caliza estaban o no unidos en el momento de la deposición. En el caso de rocas compuestas por componentes no unidos durante la deposición (es decir, componentes depositados como granos o cristales discretos), las rocas se dividen a su vez en aquellas que contienen lodo calizo (micrita) y aquellas que carecen de lodo. Las rocas que contienen lodo

calizo pueden estar soportadas por lodo o por granos, según Dunham tenemos los siguientes tipos de calizas (Maurice, 2003).

Mudstone: Las calizas con soporte de lodo si contienen menos del 10 % de granos de carbonato.

Wackestone: Calizas que contienen más del 10 % de granos.

Packstone: Calizas con soporte de grano que contienen alguna matriz de lodo micrítico.

Grainstone: Calizas con soporte de grano que carecen de matriz.

Floatstone: Calizas compuestas por más del 10 % de granos > 2 mm y soportadas por matriz.

Rudstone: Calizas compuestas por más del 10 % de granos > 2 mm: y soportadas por granos.

Framestone: Calizas formadas por organismos que construyen estructuras rígidas (es decir, *in situ*, organismos masivos como los corales que construyen estructuras rígidas tridimensionales).

Bidstone: Calizas formadas por organismos que se incrustan y se unen (estos organismos no construyen una estructura tridimensional).

Bafflestone: Calizas formadas por organismos que actúan como deflectores (es decir, organismos con forma de tallo que actuaban como deflectores en el momento de la deposición).

Dunham utiliza el término piedra ligada para las calizas compuestas por componentes ligados entre sí en el momento de la sedimentación. Este nombre es aproximadamente equivalente a la biolita de Folk y puede incluir calizas estromatolíticas, así como calizas de arrecifes de coral y similares.

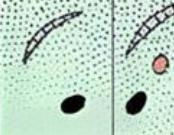
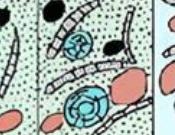
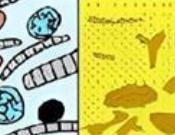
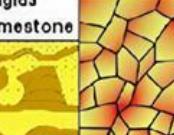
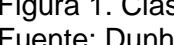
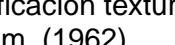
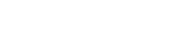
Textura deposicional reconocible								Textura deposicional no reconocible
Componentes originales no unidos durante la sedimentación					Componentes organicamente unidos durante el depósito			
Con lodo calcáreo (micrita) [tamaño limo fino y arcilla]					> 10% granos > 2 mm			
Textura lodo-sostenida < 10% granos Mudstone	Textura grano-sostenida > 10% granos Wackestone	Textura sostenida por granos sin lodo calcáreo Packstone	Textura sostenida por granos sin lodo calcáreo Grainstone	Textura lodo-sostenida Floatstone	Textura sostenida por granos > 2 mm Rudstone	Boundstone (puede dividirse en 3 tipos de acuerdo con la forma de las estructuras orgánicas)		
								
						en grupos separados Blafflestone	unidas Bindstone	formando una estructura rígida Framestone
								
								

Figura 1. Clasificación textural de rocas carbonatadas.

Fuente: Dunham, (1962).

Lokier y Junaibi (2016), en su artículo “La descripción petrográfica de las facies carbonatadas: ¿hablamos todos el mismo idioma?”, se analiza cómo se clasifica las litofacies de carbonatos tanto en el ámbito académico como en la industria, abarcando distintos niveles de experiencia, con el fin de evaluar cuantitativamente su reproducibilidad. Para ello, se estudiaron diversas texturas de rocas sintéticas y litologías naturales, asignándoles texturas según el criterio de los investigadores. Los resultados revelaron los casos en los que las ambigüedades e inconsistencias en la clasificación son más frecuentes. El estudio concluyó que el sistema de clasificación de Dunham fue el más utilizado, aplicándose en el 89% de los casos con alguna de sus variantes

Sin embargo, las 24 muestras arrojaron una amplia variabilidad en la textura asignada, con entre 22 y 131 nombres diferentes asignados a un solo espécimen. Las texturas del Sistema de Clasificación Dunham modificado se redefinen para aclarar cualquier criterio de clasificación que se haya identificado como puntos de confusión. Se ofrecen directrices de clasificación detalladas para minimizar la posibilidad de identificación errónea o confusión. La adopción de estas directrices aumentará la confianza, la fiabilidad y el valor en la clasificación petrográfica de litologías carbonatadas, mejorando así la comunicación y facilitando el desarrollo de modelos deposicionales, diagenéticos y de yacimientos con restricciones más realistas (Lokier & Al Junaibi, 2016).

Carbonato alóctono: no hay evidencia de que los componentes originales estuvieran unidos orgánicamente en el momento de la deposición.						Calizas Autóctonas - Los componentes originales se unieron orgánicamente durante la deposición			La recristalización ha provocado que la textura deposicional ya no sea reconocible.	
Menos del 10 % de los componentes son más grandes que el tamaño de la arena (>2 mm).				El 10% o más de los componentes son más grandes que el tamaño de la arena (> 2 mm) (la identificación concluyente generalmente requiere el examen de una muestra manual)						
Contiene lodo carbonatado (grado <63 um)		Sin componente de lodo carbonatado (<63 um). La fabrica esta soportada por granos entre 63 um - 2 mm	La fabrica esta soportada por granos entre 63 um - 2 mm	Matriz - Soportada	Grano - Soportada	Los organismos se unen a un sustrato preexistente: la roca está sostenida por la matriz.	Los organismos construyen un marco rígido: la roca está sostenida por el marco.	El modo de enlace no es identificable		
Más del 90% de la roca está compuesta por un componente de lodo carbonatado (<63 um).	El 10 % o más del volumen de la roca está compuesto por granos de 63 µm o más.			Soportado por la fracción de tamaño <2 mm	Soportado por la fracción de tamaño >2 mm	Binstone	Framestone	Boundstone		
Caliza Mudstone	Wackstone	Packstone	Packstone	Floatstone	Rudstone	La matriz entre los organismos enlazados debe clasificarse por separado	La matriz entre los organismos enlazados debe clasificarse por separado	Calizas cristalinas Dolomitas cristalinas		

Figura 2. Sistema de clasificación Dunham modificado y aclarado con calificadores apropiados a los nombres de las clases.

Fuente: Lokier & Al Junaibi, (2016).

2.2.4. Clasificación de las Rocas Calizas Según su Diagénesis

Es el conjunto de procesos que actúan para modificar a los sedimentos luego de su deposición. Se produce desde condiciones superficiales (interfase sedimentaria, sustrato sedimentario de los ambientes de acumulación) hasta profundidades de soterramiento, donde la profundidad y presión a la que se llega no es uniforme y ambos parámetros están condicionados por la geodinámica interna (Martín, 2007).

Factores que Influyen sobre la diagénesis: Tipo de roca sedimentaria (textura, composición, contenido orgánico) porosidad y permeabilidad, características de los cuerpos sedimentarios y de la sucesión sedimentaria.

- Ambiente sedimentario y clima
- Tipos de organismos y procesos biológicos
- Tiempo geológico de residencia
- Profundidad
- Temperatura
- Presión

Propiedades de las aguas de los poros: pH, redox; sales disueltas La diagénesis puede reducir la porosidad ó también puede incrementarse éstas.

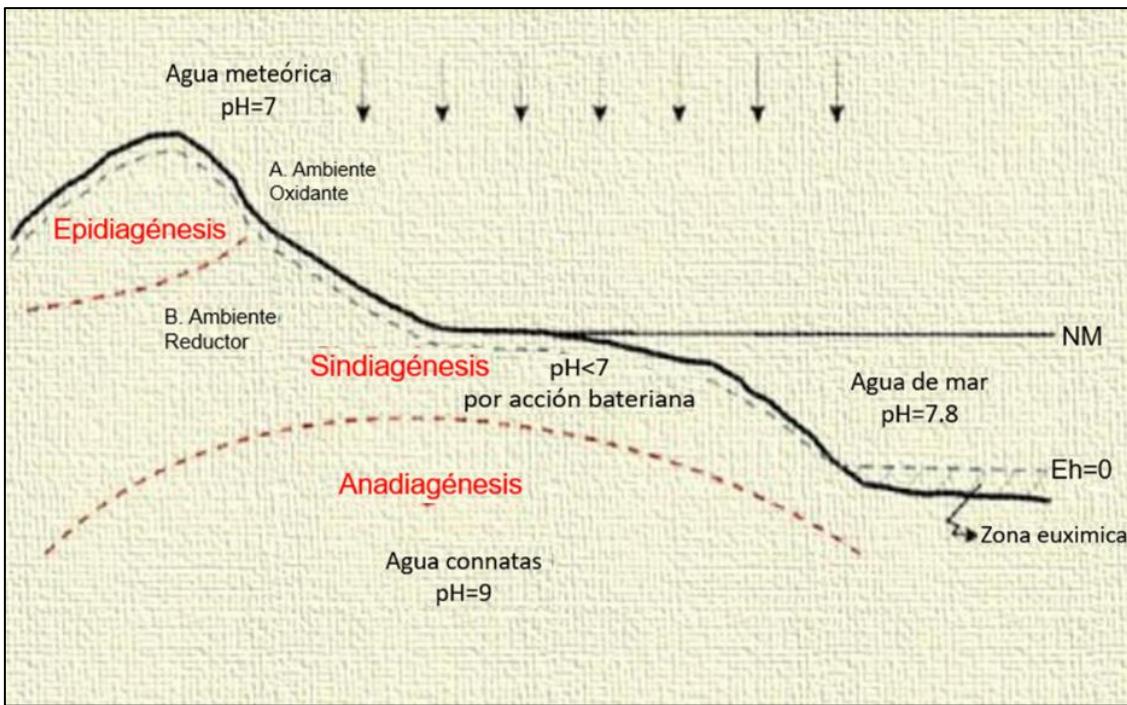


Figura 3. Diagrama diagénesis.
Fuente: Friedman, (1978).

Eogénesis o Sindiágenesis: Corresponde al ambiente de deposición y al período de soterramiento menos profundo. La diagénesis temprana puede alcanzar los 2 km de profundidad y temperaturas inferiores a 70°C (Martín, 2007).

Meso-diágenesis o Anadiágenesis: Corresponde al ambiente de soterramiento de los sedimentos, superior a 2 km de profundidad. En este régimen se incrementa la temperatura y la presión (Martín, 2007).

Epidiágenesis: Corresponde al ambiente diagenético generado durante la fase de ascenso tectónico y progresivo retorno de las masas sedimentarias a las condiciones superficiales. Decrece la presión y la temperatura, y se produce infiltración de aguas meteóricas ácidas y oxidantes. Las consecuencias de la diagénesis son los cambios mineralógicos y geoquímicos, cambios texturales y estructurales y litificación (compactación, cementación y recristalización (Martín, 2007).

2.2.5. La Cal

La cal se obtiene desde la remota antigüedad por calcinación de la piedra caliza en hornos, conocidos como caleras, a temperaturas elevadas, entre 800 y 1000°C.

El producto que se obtiene es óxido de calcio o cal viva (CaO):

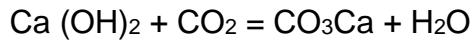


La cal viva se mata con agua para su uso en construcción, produciendo hidróxido cálcico (cal apagada), produciéndose una reacción química con gran desprendimiento de calor (Museo Comarcal de Daimiel, 2013).

En ese momento el agua hierve:



La cal apagada, o cal hidratada, una vez usada en la argamasa (mortero), retoma el CO₂ atmosférico y pasa otra vez a carbonato cálcico (endurece de nuevo en el fraguado):



2.2.6. Caracterización Geomorfológica.

2.2.6.1. Clasificación por ambientes morfogenéticos.

Esta categoría se propone la clasificación utilizando como identificador a el ambiente morfogenético, buscando describir una geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomórfico construccional o destruccional (Acumulación o erosión), típico de un ambiente morfoestructural dado. Está determinada con criterios genéticos, morfológicos y geométricos en función de la escala de trabajo (Carvajal, 2011). De acuerdo con Carvajal tiene mapeados diferentes ambientes morfogenéticos principales como:

Ambiente Denudacional (D): Corresponde a un entorno morfodinámico dominado por procesos de meteorización física y química, así como por erosión hídrica y pluvial, que actúan de manera continua sobre geoformas preexistentes. Estos procesos generan la remoción, transporte y degradación de materiales superficiales, dando origen a relieves residuales y superficies de denudación. El modelado resultante refleja un predominio de la pérdida de masa sobre la acumulación.

Ambiente Fluvial y Lagunar (F): Comprende las geoformas originadas por procesos de erosión, transporte y sedimentación asociados a la dinámica de corrientes fluviales (ríos, quebradas y arroyos) y de cuerpos de agua lentos (lagos y lagunas). En este ambiente, la acción hidráulica modela el relieve mediante la incisión de cauces, conformación de terrazas, planicies y abanicos, mientras que en los sectores lagunares se favorece la deposición de sedimentos finos y materia orgánica en condiciones de baja energía. Representa zonas de acumulación reciente y de alta actividad morfodinámica acuática.

Ambiente Karstico (K): Se caracteriza por geoformas desarrolladas a partir de procesos de disolución y meteorización química en rocas carbonatadas (principalmente calizas y dolomías) o materiales evaporíticos (como yeso y sal). Estos procesos, favorecidos por condiciones tropicales o templado-húmedas, generan un relieve distintivo. El modelado kárstico refleja una intensa dinámica de disolución y evacuación de materiales, con predominio de formas negativas y subsuperficiales.

Ambiente Antropogénico (A): Comprende las formas del relieve originadas o modificadas por la actividad humana, las cuales alteran los procesos naturales y la configuración original de la superficie terrestre. Incluye terraplenes, canteras, excavaciones, escombreras, áreas urbanizadas, infraestructuras viales. Estas geoformas reflejan una dinámica morfogenética inducida, donde la intervención antrópica constituye el principal agente modelador del paisaje. A continuación, se presenta un resumen de los principales ambientes morfogenéticos, clasificados por Carvajal, (2011).

Tabla 4. Clasificación y características de ambientes morfogenéticos.

AMBIENTE	UNIDADES	SUBUNIDADES	COMPONENTE
Ambiente Denudacional	Inselberg Glacis Cerros Residuales	Glacis erosión Deslizamiento Ladera denudada Conos deslizamiento	Bancos Escarpes Coronas deslizamiento
Ambiente Fluvial Planicies Aluviales	Llanuras Inundacion Abanico fluvial Terrazas fluviales	Basines Terrazas fluviales Deltas desborde Deltas lagunares Barras	Escarpe terraza Albardones Caucés
Ambiente Kárstico	Polijes Torres Kársticas Cerro Pepino	Cañadas karstificadas Fondo de Polije Relieve kárstico	Dolinas Uvalas Depresión kárstica Karst
Ambiente Antropogénico	Lóbulos de escombros Embalses Canteras	Flancos de cantera Planos de explanación	Canales Espolones Banca de caminos

Fuente: Carvajal, (2011).

2.2.7. Caracterización Geomecánica

La caracterización geomecánica nos permite conocer la roca, evitar y/o disminuir los incidentes/accidentes por caída de rocas, utilizando las herramientas, a fin de controlar la estabilidad de rocas, estableciendo la forma del talud al momento de explotar las rocas, garantizando la estabilidad de la masa rocosa, con el fin de brindar una actividad segura y de calidad (Ferrer & González de Vallejo, 2002).

2.2.7.1. Número de familias de discontinuidades.

Condiciona el aspecto del macizo rocoso y su comportamiento (resistencia y deformación), en particular, la orientación de las diferentes familias respecto unas de otras condicionan la estabilidad, por lo tanto, deben registrarse todas las familias y evaluar su importancia (asignar grados 1, 2, 3...). Determinar la orientación media de cada familia: proyección estereográfica equiáreal-

representar el polo de cada plano, contar mediante una falsilla, obtener frecuencias y en el centro del área resultante se sitúa el polo de la familia (Ferrer & González de Vallejo, 2002).

2.2.7.2. Descripción de las discontinuidades.

Orientación (dirección y buzamiento; obtención de familias de discontinuidades). Influye en la estabilidad del terreno respecto a obras de ingeniería (excavaciones). Las distintas familias de discontinuidades definen la forma de los bloques de matriz rocosa (Ferrer & González de Vallejo, 2002). Determinación con la brújula, obtener valores representativos (tratamiento estadístico): Representar los datos en: mapas, bloques diagrama o diagramas de roseta.

Espaciado (distancia media perpendicular entre planos consecutivos de la misma familia). Influye en el comportamiento del macizo: Resistencia, permeabilidad. El espaciado de las distintas familias define el tamaño de los bloques de matriz rocosa. Determinación: para cada familia de discontinuidades se obtiene su valor medio o modal, se determina con una cinta métrica calibrada en mm, de al menos 3 metros. Su dirección perpendicular al plano de discontinuidad, representar los datos en forma de histogramas, en escala logarítmica.

Tabla 5. Descripción del espaciado

Clase	Descripción	Espaciado (mm)
I	Extremadamente junto	< 20
II	Muy junto	20 – 60
III	Junto	60 – 200
IV	Moderadamente junto	200 – 600
V	Separado	600 – 2000
VI	Muy separado	2000 – 6000
VII	Extremadamente separado	> 6000

Fuente: ISRM, (2007).

Continuidad o persistencia (longitud o extensión superficial del plano de la discontinuidad). Determina si la matriz rocosa se ve involucrada en la rotura del macizo. Atender a las discontinuidades singulares que puedan ser superficies de debilidad en la roca (Ferrer & González de Vallejo, 2002). Determinación: medir la longitud de los dos lados del plano: dirección y buzamiento. Representar en esquemas o bloques diagrama, observar el tipo de terminación: en la roca (Er), en otra discontinuidad (Ee), no aflora (Ex). Parámetro para el tipo de terminación: índice T = [(Er / (Er + Ee + Ex)] x 100 (%).

Tabla 6. Descripción de la continuidad.

Clase	Descripción	Longitud (m)
I	Muy baja continuidad	< 1
II	Baja continuidad	1 – 3
III	Continuidad media	3 – 10
IV	Alta continuidad	10 – 20
V	Muy alta continuidad	> 20

Fuente: ISRM, (2007).

Rugosidad (ondulación de la superficie, irregularidades a pequeña escala). Requiere dos escalas de observación: ondulación (dm, m) y rugosidad (mm): Ondulación: superficies planas, onduladas, escalonadas. Rugosidad: superficies pulidas, lisas, rugosas. La ondulación y rugosidad pueden controlar las posibles direcciones de desplazamiento. La resistencia al corte de discontinuidades rugosas depende de la dirección de desplazamiento.

Abertura (distancia perpendicular que separa las paredes de una discontinuidad, sin relleno). Puede variar mucho de unas zonas a otras del macizo y disminuye con la profundidad. Influye mucho en la resistencia la corte y está influida por: desplazamientos en las discontinuidades o disolución de la matriz rocosa. Medir directamente la separación entre las paredes (galgas calibradas, si es preciso). Las medidas se hacen para cada familia, se toman los valores medios o modales.

Tabla 7. Descripción de la abertura.

Clase	Descripción	Abertura
I	Muy cerrada	< 0.1 mm
II	Cerrada	0.1 – 0.25 mm
III	Parcialmente cerrada	0.25 – 0.5 mm
IV	Abierta	0.5 – 2.5 mm
V	Moderadamente ancha	2.5 – 10 mm
VI	Ancha	< 1 cm
VII	Muy ancha	1-10 cm
VIII	Extremadamente ancha	10 – 100 cm
IX	Cavernosa	> 1m

Fuente: ISRM, (2007).

Relleno (material distinto de la roca que aparece entre las paredes de una discontinuidad). Deben describirse todos los aspectos referentes a su estado y sus propiedades (en materiales blandos o alterados las propiedades pueden variar con el contenido en humedad). Las propiedades influyen en: la resistencia la corte, la deformabilidad y la permeabilidad. Gran variedad de materiales de relleno (cuarzo, calcita, óxidos; arena, arcilla; brecha) (Ferrer & González de Vallejo, 2002). Determinación: características del relleno a observar en el afloramiento. Espesor: llamado en este caso anchura (medir con una regla graduada, en mm) - resistencia (indicar mediante índices de campo): S1 – S6. Desplazamiento previo (ver si hubo cizalla), supone cambio en las propiedades.

2.2.7.3. Fracturación del macizo

Relación con el número y características de las fracturas: espaciado, tipo, estado. El factor que mejor define el grado de fracturación es la densidad de fracturas (nº / volumen). En la práctica el índice que define el grado de fracturación del macizo rocoso es el RQD.

RQD (rock quality designation): Relación entre la suma de las longitudes de los fragmentos de testigo mayores de 10 cm y la longitud total de maniobra: $RQD = (\text{longitudes de trozos} > 10 \text{ cm} / \text{longitud total}) \times 100 (\%)$.

Tabla 8. Clasificación de la calidad de macizo según el índice RQD.

Clase	Calidad	RQD (%)
I	Muy mala	< 25
II	Mala	25 – 50
III	Aceptable	50 – 75
IV	Buena	75 – 90
V	Muy buena	90 - 100

Fuente: ISRM, (2007).

Las medidas se toman del eje central del testigo, con fragmentos que alcancen todo el diámetro. Aunque RQD es un índice muy útil, no es suficiente para describir las características de fracturación de los macizos rocosos, al no considerar la orientación, separación, rellenos (Ferrer & González de Vallejo, 2002).

2.2.7.4. Meteorización

Alteraciones que cambian las características de las rocas: modifican sus propiedades (porosidad ↑, permeabilidad ↑, deformabilidad ↑, resistencia ↓) (Ferrer & González de Vallejo, 2002).

Causas (factores): Factores internos: mineralogía, componentes, textura y estructura, (cada tipo de roca sufre unos procesos: presenta mayor o menor intensidad). Factores externos: clima (temperatura, humedad, lluvia, viento), determina el tipo y la intensidad. Además, influye el tiempo de exposición (relación con la profundidad).

Causas (procesos): Procesos o acciones físicas (influidos por la temperatura y la humedad) ⇒ efectos: fragmentación y desintegración = disagregación (aumenta la superficie expuesta). Procesos o acciones químicas (en presencia de agua e influidas por la temperatura) ⇒ efectos: descomposición, disolución. Procesos biológicos ⇒ efectos: destrucción, fisuración y descomposición. Determinación del estado de meteorización mediante índices normalizados.

Tabla 9. Clasificación del grado de meteorización de un macizo rocoso.

Clase	Término	Descripción
I	Fresco	No aparecen signos visibles de meteorización, tal vez ligera decoloración en las grandes superficies de discontinuidad.
II	Ligeramente meteorizado	Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización. La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad.
III	Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del macizo aparece descompuesto o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece de forma continua o como núcleos aislados.
IV	Altamente meteorizado	Más de la mitad del macizo aparece descompuesto o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece de forma discontinua o como núcleos aislados.
V	Completamente meteorizado	Todo el macizo aparece descompuesto o transformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso.
VI	Suelo residual	Todo el material rocoso se ha transformado en suelo. Se ha destruido la estructura del macizo rocoso y la fábrica del material. Existe cambio de volumen pero el suelo no se ha transportado significativamente.

Fuente: ISRM, (2007).

2.2.7.5. Comprensión Uniaxial.

Primera aproximación del valor de la resistencia: valoración cualitativa que tabulada permite establecer una estimación cuantitativa del rango de resistencia en suelos cohesivos y rocas (Ferrer & González de Vallejo, 2002).

Procedimiento: Se debe retirar la capa de alteración superficial del afloramiento y realizar pruebas de dureza mediante el uso de una navaja o martillo geológico. Posteriormente, se clasifica la resistencia de la roca según los criterios establecidos en la Tabla 10. Resistencia a partir de índice de campo. Tabla 10:

Tabla 10. Resistencia a partir de índice de campo.

Clase	Descripción	Identificación de campo	Resistencia a la compresión (MPa)
S ₁	Suelo muy blando	El puño penetra fácilmente varios cm	< 0,0025
S ₂	Suelo blando	El dedo penetra fácilmente varios cm	0,0025 – 0,05
S ₃	Suelo firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo	0,05 – 0,10
S ₄	Suelo rígido	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo	0,10 – 0,25

Clase	Descripción	Identificación de campo	Resistencia a la compresión (MPa)
S ₅	Suelo muy rígido	Con cierta presión puede marcarse con la uña.	0,25 – 0,50
S ₆	Suelo duro	Se marca con dificultad al presionar con la uña.	> 0,50
R ₀	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0,25 – 1,0
R ₁	Roca muy blanda	Al golpear con la punta del martillo la roca se desmenuza. Con navaja se talla fácilmente.	1,0 – 5,0
R ₂	Roca blanda	Al golpear con la punta del martillo se producen ligeras marcas. Con la navaja se talla con dificultad.	5,0 – 25
R ₃	Roca moderadamente dura	Con un golpe fuerte del martillo puede fracturarse. Con la navaja no puede tallarse.	25 – 50
R ₄	Roca dura	Se requiere más de un golpe del martillo para fracturarla.	50 – 100
R ₅	Roca muy dura	Se requiere muchos golpes del martillo para fracturarla	100 – 250
R ₆	Roca extremadamente dura	Al golpear con el martillo sólo saltan esquirlas	> 250

Fuente: ISRM, (2007).

2.2.7.6. Clasificación RMR.

El macizo rocoso es un medio complejo cuyo comportamiento geomecánico puede evaluarse mediante clasificaciones que determinan índices de calidad relacionados con sus propiedades. La clasificación RMR (Rock Mass Rating), propuesta por Bieniawski (1973) y modificada sucesivamente en 1976, 1979, 1984 y 1989. Permite evaluar rocas *in situ* y estimar el tiempo de sostenimiento, a partir de un índice de calidad y un factor de corrección. (Bieniawski, 1973). Parámetros geomecánicos considerados: Resistencia uniaxial de la matriz rocosa: ensayo PLT, ensayo de compresión simple. Grado de fracturación del macizo: ensayo RQD. Espaciado de las discontinuidades: separación entre diaclasas (m). Condiciones de las discontinuidades: rugosidad, continuidad, relleno, bordes. Condiciones hidrogeológicas: caudal, presión de agua, humedad.

Tabla 11. Parámetros de clasificación RMR.

		Ensayo de carga puntual	> 100Kp/cm ²	40 – 80 Kp/cm ²	20 – 40 Kp/cm ²	10 – 20 Kp/cm ²	Compresión simple (Kp/cm ²)
1	Resistencia de la roca sana	C. Simple	> 2500 Kp/cm ²	1000 – 2500 Kp/cm ²	500 – 100 Kp/cm ²	250 – 500 Kp/cm ²	50 - 250 10 - 50 < 10
	Valoración	15		12	7	4	2 1 0
2	RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% – 50%		< 25%
	Valoración	20	17	13	6		3
3	Separación entre diaclasas	> 2m	06m – 2m	0.2m – 0.6m	0.06m – 0.2m		< 0.06m
	Valoración	20	15	10	8		5
4	Estado de las diaclasas	Muy rugosas, discontinuas, sin separaciones, bordes sanos y duros	Ligeramente rugosas	Ligeramente rugosas	Espejos de falla o relleno < 5mm	Relleno blando > 5mm	
			Abertura < 1mm	Abertura < 1mm	O abierta 1 – 5 mm	O abertura > 5mm.	
	Valoración	30	25	20	10		0
	Caudal por 10m de tunel	Nulo	< 10 litros/min	10 – 25 litros/min	25 – 125 litros/min	> 125 litros/min	
5	Agua Freatica	Relación Precisión agua – Tensión principal mayor	0	0.0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5
	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo	
	Valoración	15	10	7	4		0

Fuente: Bieniawski, (1973).

Tabla 12. Corrección por la orientación de las diaclasas.

Dirección y Buzamiento	Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy Desfavorables
Valoración para	Túneles	0	-2	-5	-10
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15
	Taludes	0	-5	-25	-50

Fuente: Bieniawski, (1973).

Tabla 13. Categoría de clasificación Geomecánica del RMR.

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy Bueno	Bueno	Media	Mala	Muy Mala
Valoración (Suma de las puntuaciones obtenidas en las tablas anteriores)	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	< 20

Fuente: Bieniawski, (1973).

2.2.8. Recursos y Reservas.

Un recurso mineral o mena es una concentración natural de algún elemento o compuesto de la corteza terrestre, que puede ser extraído o procesado con los medios tecnológicos disponibles. Los recursos minerales se dividen en metálicos o no metálicos, según permitan la obtención de unos o de otros tipos de elementos. La localización, tonelajes, contenidos, características geológicas, y el grado de continuidad de la mineralización es estimada, conocida, o interpretada a partir de específicas evidencias geológicas, metalúrgicas, y tecnológicas. Reservas de mineral son Recursos minerales valiosos y que son legal, económica y técnicamente factibles de extraer (Fernandez, 2013).

La estimación de recursos/reservas de un yacimiento tiene por objeto determinar la cantidad, calidad y posibilidad de explotación comercial del mineral que lo compone, ya sea metalífero, no metalífero, industrial, ornamental o combustible. Planificar el negocio, la explotación, el tratamiento del mineral, la restauración ambiental, son aspectos imposibles de encarar sin un cálculo seguro de las reservas. La estimación se hace durante toda la vida útil de una

mina a través de un proceso de modelación del yacimiento que se ajuste lo mejor posible a la realidad en estudio (Fernandez, 2013).

Para algunos minerales industriales es una práctica común el reporte del producto vendible en vez del producto minado, el cual es tradicionalmente vinculado a las Reservas de Mena. La preferencia de JORC es que, si el producto vendible es reportado, debería ser en conjunto con el reporte de Reserves de Mena y no reemplazando este. Sin embargo, se entiende que las sensibilidades comerciales podrían no siempre permitir este estilo preferido de reporte. Es importante que, en todas las situaciones donde el producto vendible es reportado, una declaración aclaratoria sea incluida para asegurar que el lector está siendo completamente informado de lo que está siendo reportado (JORC, 2012).

2.2.8.1. Recurso Medido.

Es aquella porción del Recurso Minero para el cual tonelaje, densidades, leyes, características geológicas, geometalúrgicas, y geotécnicas han sido estimadas y caracterizadas con un significativo nivel de confianza. Significativo, en este caso, explica variaciones de esas características que resultan en una desviación máxima (pej, en el caso del cobre una desviación menor al 7% trimestral) en los contenidos de un plan minero a un nivel de confianza determinado (90%). Estas estimaciones y caracterizaciones están basadas en reconocimientos detallados, confiables, y verificables y en análisis y pruebas representativas ubicadas de acuerdo a una malla de información tal que la continuidad de leyes y de características geológico-metalúrgicas permite su validación (JORC, 2012)

2.2.8.2. Recurso Indicado

Es aquella porción del Recurso Minero para el cual tonelaje, densidades, leyes, características geológicas, geometalúrgicas, y geotécnicas han sido estimadas y caracterizadas con un razonable nivel de confianza. Razonable, en este caso, explica variaciones de esas características que

resultan en una desviación máxima (pej, en el caso del cobre una desviación menor al 7% anual) en los contenidos de un plan minero a un nivel de confianza determinado (pej, 90%). El mineral puede ser codificado como Recurso Indicado cuando la naturaleza, calidad, cantidad, y distribución de datos son tales que permiten una adecuada interpretación del marco geológico de modo que la continuidad y caracterización de la mineralización puede ser aceptablemente asumida (JORC, 2012).

2.2.8.3. Recurso Inferido.

Es aquella porción del Recurso Minero para el cual las estimaciones de tonelaje y ley están afectas en exactitud y precisión debido a muestreos fragmentarios, limitados, y a percepciones asumidas sobre su continuidad geológica, y a extrapolaciones de carácter más bien subjetivo sobre la naturaleza de los controles de la mineralización. Debido a las incertidumbres asociadas con el Recurso Inferido no existe certeza de que todo este mineral o una porción de él se convierta, en definitiva, a la categoría de Recurso Indicado o Recurso Medido como resultado de un reconocimiento adicional (JORC, 2012).

2.2.8.4. Reserva Mineral Probable.

Es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Indicado y en algunas circunstancias Recurso Mineral Medido. Incluye los materiales de dilución y tolerancias por pérdidas que puedan producirse cuando se explota el material. Se han realizado evaluaciones apropiadas, que pueden incluir estudios de factibilidad, e incluyen la consideración de factores modificadores razonablemente asumidos de minería, metalúrgicos, económicos, de mercadeo, legales, medioambientales, sociales y gubernamentales. Estas evaluaciones demuestran a la fecha en que se presenta el informe, que la extracción podría justificarse razonablemente (JORC, 2012).

2.2.8.5. Reserva Mineral Probada.

Es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido. Incluye los materiales de dilución y tolerancias por pérdidas que se pueden

producir cuando se explota el material. Se han realizado evaluaciones apropiadas que pueden incluir estudios de factibilidad, e incluyen la consideración de modificaciones por factores fehacientemente asumidos de minería, metalúrgicos, económicos, de mercados, legales, ambientales, sociales y gubernamentales. Estas evaluaciones demuestran, a la fecha en que se publica el informe, que la extracción podría justificarse razonablemente (JORC, 2012).

2.2.9. Estimación de Reservas.

Para poder estimar reservas debemos generar un Modelo del Yacimiento que lo represente de la mejor manera posible. La modelación de un yacimiento consta de dos etapas: una primera, que consiste en la definición de la morfología (geometría, forma) de las mineralizaciones y de los contenidos de cada una de ellas, y una segunda en la que se evalúa, con criterios técnico-económicos, la cantidad de reservas recuperables y su valor, haciendo una cubicación del yacimiento, la cubicación de un yacimiento mineral consiste en determinar el volumen, tonelaje y contenido recuperable en caso de yacimientos no metálicos, partiendo para ello de los datos obtenidos en la investigación y con el fin de conocer las posibles reservas del yacimiento (Fernandez, 2013).

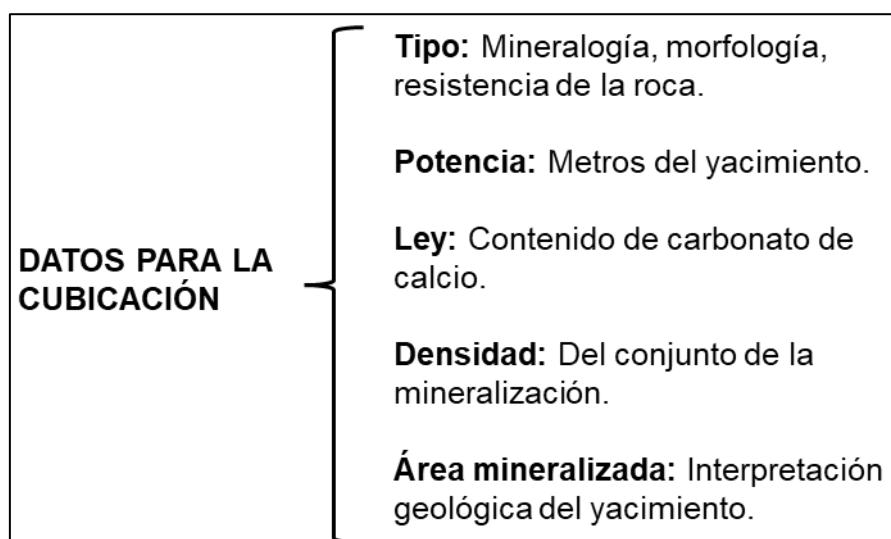


Figura 4. Esquema de datos de cubicación.

Fuente: Fernandez, (2013).

2.2.10. Método de los perfiles para estimación de reservas.

Este método suele ser aplicable a cuerpos mineralizados menos irregulares que han sido investigados con sondeos cuyas direcciones permiten establecer cortes, perfiles o secciones. Esta necesidad de la presencia de sondeos en direcciones determinadas es, a la vez, una de las restricciones del método, pues la citada direcciónalidad, por diversas razones, no siempre se consigue. La distancia entre cortes nos va a definir la exactitud del cálculo, pues secciones muy separadas pueden generar importantes errores debido a la existencia de cambios en la mineralización no controlados por los sucesivos perfiles. El método se aplica de la siguiente forma:

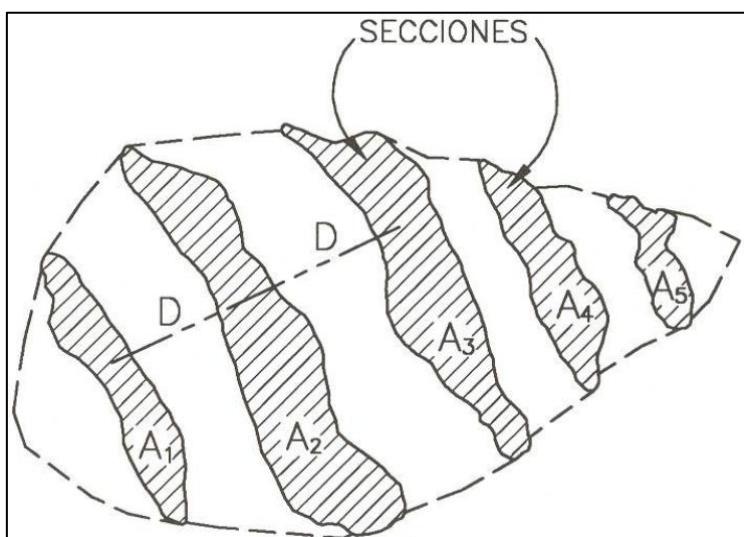


Figura 5. Método de los perfiles o cortes.

Fuente: Bustillo & López, (1997).

2.2.10.1. Cálculo del área mineralizada para cada sección.

El área de cada corte o perfil se puede calcular de diversas maneras: planímetro, papel milimétrico, regla de Simpson y en la actualidad con diferentes softwares como AutoCAD, ArcGIS que lo realizan con exactitud.

2.2.10.2. Determinación de los volúmenes de los bloques.

Consiste en el establecimiento de los bloques y sus volúmenes asociados. Para definir los bloques existen dos métodos: a) Cada bloque viene

definido por una sección y la distancia media entre esa sección y las dos sucesivas, una a cada lado, y b) cada dos secciones determinan un bloque.

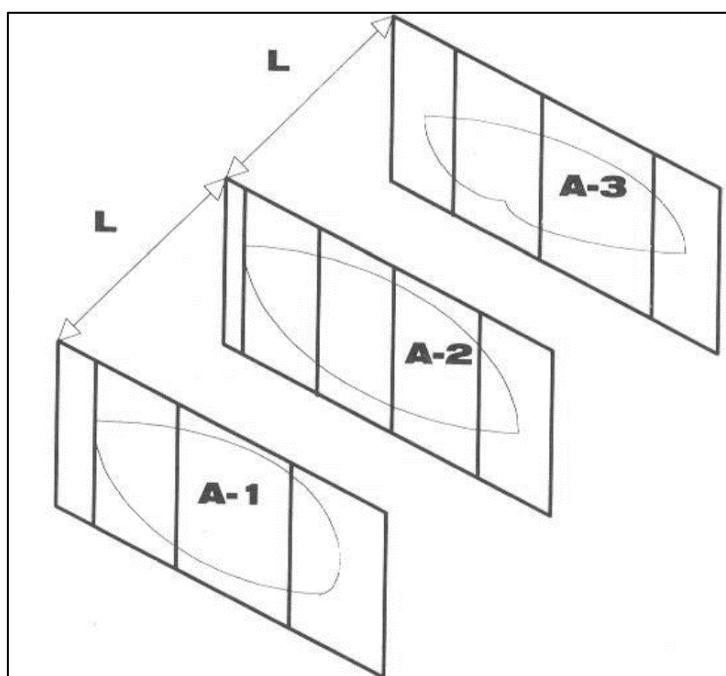


Figura 6. Método para el cálculo de volúmenes.

Fuente: Bustillo & López, (1997).

En la Figura 6 se representa como serán los cálculos con el método, el volumen se hará multiplicando el área de cada sección por la suma de las distancias medias a cada lado, es decir, el área de la sección 2 por la distancia b es decir, el volumen vendría definido por la semisuma de las dos áreas multiplicada por la distancia entre ambas.

En esta última situación quedarían siempre bloques residuales, constituidos por las últimas secciones obtenidas, y que no han sido considerados en la evaluación. Pueden obviarse, si su tamaño es muy pequeño, o pueden incluirse considerando una última sección teórica, de área valor cero, y situada a una distancia n , en cuyo caso el volumen vendría definido por: $V = (A \times n) / 2$, donde A es el área de la última sección conocida y n la distancia a la sección teórica.

2.2.10.3. Obtención de las reservas por perfiles.

Para conocer las reservas por bloques es necesario estimar los valores de las densidades aparentes y de las leyes medias. Para la obtención de la ley media en cada sección existen también diversos métodos:

Métodos estadísticos: la ley media se calcula como la media aritmética de todas las leyes obtenidas en la sección, sin considerar el soporte de la variable y su área de influencia. De igual forma se puede calcular supuesta una distribución log-normal para las leyes.

El tonelaje de cada bloque se calcula:

$$Tm = V \times D \times L \times F$$

Tm = Toneladas Métricas

V= Volumen del yacimiento

D= Peso específico

L = Porcentaje de óxido de calcio de la roca.

F = Factor de esponjamiento de las rocas

El contenido no metálico o las reservas no metálicas son la cantidad de mineral puro contenido, contando los rendimientos mineralúrgicos y metalúrgicos posteriores. Se calcula multiplicando el tonelaje de cada bloque por la ley media del mismo.

Peso específico de las Rocas Calizas. El peso específico de una roca es el cociente entre su peso en el aire y el volumen que ocupa, incluyendo los poros y fisuras. Es una propiedad física que depende de la composición mineralógica, el grado de compactación y la porosidad. Para las rocas calizas Gonzales, (2021), en su investigación de tesis de grado concluyó que el peso específico de las calizas en 2.5 TN/m³.

Factor de esponjamiento de las rocas. La excavación de un material va a provocar un aumento de volumen, y, por tanto, una disminución de su densidad

aparente, que llamaremos densidad del material suelto. Se denomina factor de esponjamiento FW, al cociente entre los volúmenes aparentes en banco y del material suelto (Yepez, 2019).

$$FW = \frac{VL}{VB}$$

FW = Factor de esponjamiento.

VB = Volumen que ocupa el material en banco.

VL = Volumen que ocupa el material suelto.

A continuación, se presenta una tabla de factores de esponjamiento que varían en función de la dureza y grado de fragmentación de la roca, mostrando cómo los materiales más competentes presentan menores incrementos de volumen, mientras que los de menor dureza o mayor alteración tienden a expandirse con mayor facilidad tras la excavación.

Tabla 14. Factores de esponjamiento según la dureza de la roca

Tipo de suelo	FW
Roca dura	1.50 – 2.00
Roca Mediana	1.40 – 1.80
Roca blanda	1.25 – 1.40
Grava compacta	1.35
Grava, suelta	1.10
Arena, compacta	1.25 – 1.35
Arena, mediana a dura	1.15 – 1.25
Arena, blanda	1.05 – 1.15
Limos, recién depositados	1.00 – 1.10
Limos consolidados	1.10 – 1.40
Arcillas, muy duras	1.15 – 1.25
Arcillas, medianas a duras	1.10 – 1.15
Arcillas blandas	1.00 – 1.10

Fuente: Yepez, (2019).

2.2.11. Producción Mundial de Caliza.

Al revisar las cifras internacionales de exportación de los principales productores de caliza en el mundo, se observa que la principal utilización es de carácter doméstico, debido exclusivamente al bajo valor del material y por su abundancia en el mundo entero.¹⁴ Uno de los mayores productores en el mundo es Estados Unidos, destinando al menos el 1% de su producción anual a la exportación a América Latina. La obtención de datos estadísticos de producción mundial de caliza fue relativamente difícil, salvo en los países industrializados. Incluso en estos, la diversidad de calidades y las distintas tecnologías de producción hace disponer de cifras poco confiables en la producción de calizas. La tabla incluida a continuación es una estimación incompleta del Servicio Geológico Americano (Hernán , 2005).

Tabla 15. Producción mundial de cal (en miles de toneladas)

País	Año	Año
	2023	2024
Estados Unidos	19'200	20'400
Austria	2'000	2'000
Brasil	6'500	6'500
Canadá	2'200	2'250
China	23'000	23'500
Francia	2'500	2'500
Alemania	7'000	6'500
Irán	2'200	2'000
México	6'500	6'500
Reino Unido	2'000	2'000
Italia	3'000	3'000
Japón	7'500	7'400
Polonia	1'900	2'000
Rusia	8'000	8'000
Sudáfrica	1'600	1'900
Otros países	24'900	25'000
Total	120'000	121'000

Fuente: Servicio Geología de Estados Unidos, (2025).

2.2.12. Producción No Metálica en el Perú.

Los productos mineros no metálicos con mayor volumen de producción (más de 100 mil toneladas) en el Perú son: caliza, hormigón, sal común, arena, arcilla, puzolana y boratos (incluyendo ulexita); de los minerales que conforman este grupo, Caliza y dolomita: la producción de estos minerales no metálicos, usados principalmente en la fabricación de cemento, totalizó los 18,6 millones de tm, 24,4% inferior al 2015. La producción de fosfatos: utilizados principalmente en la agricultura y la industria química. Su producción alcanzó un volumen de 10,6 millones de tm, 5,4% menor respecto al año previo. La producción de hormigón, este mineral no metálico, usado en la industria de la construcción, sumó 5 millones de tm, 28,3% menor a la producción del año previo. Por otro lado, con participaciones menores en el total de la producción se encuentran los siguientes productos: piedra, calcita, arena, sal, arcillas, conchuelas, puzolana y andalucita, los cuales fueron producidos en distintas regiones del país.

Las cinco empresas más importantes de explotación de minerales no metálicos en el Perú son: Cementos Lima S.A., con un volumen de producción aproximado de 4 millones de toneladas explotando principalmente caliza, puzolana y yeso; Unión de Concreteras S.A. (1,3 millones de toneladas) especializándose en la explotación de hormigón; Cemento Andino S.A. (1,2 millones de toneladas) que explotó básicamente caliza y yeso; YURA S.A. (850 mil toneladas) que explotó caliza, puzolana, pizarra y yeso y Cementos Pacasmayo (835 mil toneladas) que explotó arcilla, arena gruesa y fina y caliza.

Las tres empresas más importantes de explotación de caliza en el Perú en el 2005 fueron: Cementos Lima S.A., con un volumen de producción que asciende a 3,9 millones de toneladas, seguido de Cemento Andino (1,2 millones de toneladas) y Cementos Pacasmayo con alrededor de 700 mil toneladas. (Pro Inversión, 2007), sin embargo, para el año 2015 la extracción de este mineral no metálico se concentró mayoritariamente en Junín (54,3% del total de la producción), Lima (23,5%) y Arequipa (14,5%).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

Calizas: Es una roca sedimentaria constituida principalmente por carbonato de calcio (CaCO_3). Su origen proviene de la acumulación de restos de organismos marinos, como conchas y corales, o a la precipitación química del carbonato de calcio en medios acuáticos. Es una roca muy común, empleada ampliamente en la construcción, la industria química y la agricultura por sus propiedades físicas y químicas. (Chinchón, 2013).

Calera: Por lo general, un horno de cal -o calera- era una pequeña estructura de mampostería refractaria con una boca de carga y una bóveda interior constituida por piedras calizas colocadas ordenadamente y a la que se prende fuego una vez cargada de carbón a modo de combustible. (Chinchón, 2013).

Reservas: Son la parte de los recursos minerales que se considera económicamente factible de extraer. Estas reservas son un subconjunto de los recursos minerales y se clasifican en probadas y probables, según el grado de certeza geológica (JORC, 2012).

Yacimiento no metálico. Acumulación natural de minerales o rocas industriales que no contienen metales en su composición económica principal, pero que poseen un alto valor por sus propiedades físicas, químicas o mineralógicas, las cuales permiten su uso directo o tras un procesamiento simple en diversas industrias (Zientek & Orris, 2005).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Ubicación Geográfica

El proyecto minero “GEOCAL” se encuentra ubicado geográficamente en la Cordillera Occidental de los Andes, al NW de Cajamarca, en el Cuadrángulo Nacional de Cajamarca (15-f), y su área está limitada por las siguientes coordenadas (Ver Tabla 16) (Ver Plano 1, Plano de Ubicación).

Tabla 16: Coordenadas geográficas de la Calera Geocal (Sistema UTM DATUM WGS-84, zona 17S).

Vértices	Este	Norte
1	766030	9202440
2	766743	9202440
3	766743	9201940
4	766030	9201940

3.1.2. Ubicación Política

El proyecto minero Geocal se encuentra al suroeste de la ciudad de Cajamarca, en el centro poblado de Cumbico, distrito de Magdalena, provincia y región de Cajamarca (Ver Plano 1, Plano de Ubicación).

3.1.3. Accesibilidad

El acceso al yacimiento se realiza partiendo desde la ciudad de Cajamarca, siguiendo la vía carrozable con dirección a Cumbico. El recorrido abarca aproximadamente 18,4 kilómetros, con un tiempo de viaje estimado de

45 minutos, considerando las condiciones regulares de tránsito y el estado actual de la carretera.

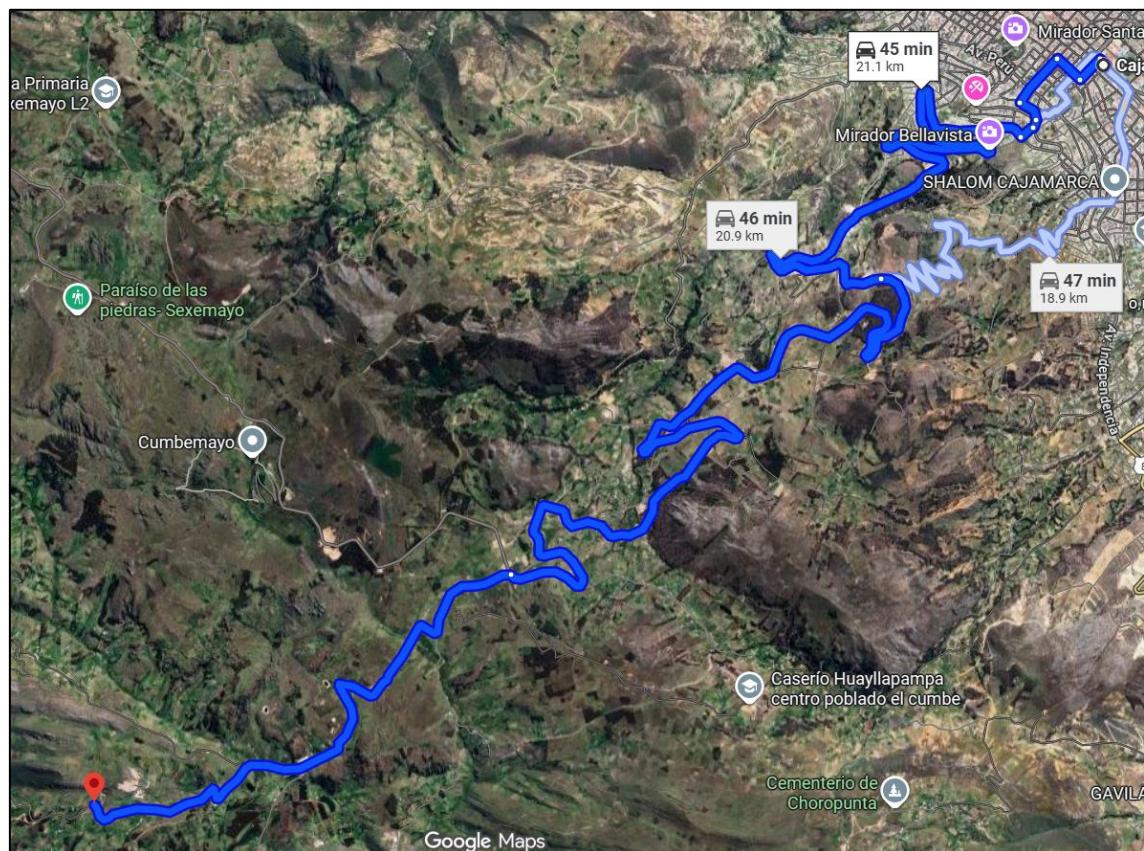


Figura 7. Ruta al área de investigación, con respecto a la Plaza de Armas de Cajamarca.
Fuente: Google Maps, (2025).

3.2. PROCEDIMIENTO

3.2.1. Planificación

La tesis se desarrolló en tres etapas principales, descritas a continuación:

3.2.1.1. Etapa de gabinete

Se trabajó en esta etapa de manera preliminar, efectuando una revisión y análisis exhaustivo de información geológica previa del área de estudio, mediante fuentes bibliográficas, informes técnicos, boletines del INGEMMET, GEOCATMIN y otros trabajos relacionados con yacimientos de caliza. Se recopilaron mapas geológicos, topográficos y geoestructurales,

complementados con imágenes satelitales obtenidas de plataformas como Google Earth y SAS Planet. Esta información permitió identificar accesos, unidades litológicas, afloramientos de caliza del yacimiento “Geocal”. Además, se elaboró un cronograma de actividades y el diseño metodológico de la investigación.

3.2.1.2. Etapa de campo

Se realizó el levantamiento geológico detallado del área de la calera “Geocal”, ubicada en el centro poblado Cumbico, delimitando los sectores de interés económico. Se identificaron y describieron las unidades litológicas predominantes, estructuras geológicas y características físicas de la roca caliza. Se efectuaron muestreos sistemáticos y selectivos, recolectando muestras representativas para su análisis físico - químico posterior. La información de campo fue registrada en mapas y perfiles geológicos.

3.2.1.3. Etapa de laboratorio

Las muestras de caliza obtenidas fueron descritas macroscópicamente utilizando lupa de 20X, ácido clorhídrico al 10%. Se prepararon contramuestras representativas para análisis petrográfico, realizados mediante microscopio digital y se enviaron al laboratorio físico-químico para analizar el contenido de carbonato de calcio. Los resultados permitieron determinar la composición mineralógica y química de la caliza, fundamentales para el cálculo de reservas probadas y probables de la calera “Geocal”.

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Tipo, nivel, diseño y método de investigación

Tipo de investigación: El tipo de investigación es descriptiva – explicativa, porque se describen las características que son necesarias para la realización de un plan de minado (Arias, 2012).

Nivel de investigación: Según el nivel de investigación, esta será analítica, descriptiva porque se tomarán datos y muestras reales del afloramiento; y analítica porque se necesitará de nuestro criterio para determinar la calidad del producto, porcentajes de minerales y cubicación del depósito (Arias, 2012).

Diseño de investigación: No experimental porque se observará los fenómenos tal y como ocurre naturalmente. Transversal, debido a que se estudia en un momento determinado de tiempo (Arias, 2012).

Método de investigación: Inductivo- deductivo, porque induce de principios explicativos a partir de los fenómenos observados, y después en una segunda etapa, se construye enunciados que los contengan y se refieren a los fenómenos (Arias, 2012).

Tabla 17. Clasificación y tipos de investigación.

Clasificación	Tipos de investigación
Tipo	Descriptiva - Explicativa
Nivel	Analítica - Descriptiva
Diseño	No experimental
Método	Inductivo - Deductivo

Fuente: Arias, (2012).

3.2.2.2. Población de estudio.

La población es el afloramiento de la Formación Cajamarca, en el Centro Poblado Cúmbico, distrito de Magdalena, con área aproximada de 35.69 Ha.

3.2.2.3. Muestra.

Se consideró la litología, textura, geomecánica, mineralogía y características químicas.

3.2.2.4. Unidad de análisis

Características petrográficas, resistencia de la roca, porcentaje de contenido de carbonato de calcio, volumen de las reservas en millones de toneladas.

3.2.3. Técnicas de Recolección de Datos

El estudio de la calera “Geocal”, ubicada en el centro poblado Cúmbico, se desarrollará mediante la aplicación de técnicas de observación geológica directa, cartografiado geológico, muestreo sistemático y análisis petrográfico y geoquímico.

La observación directa permitirá identificar las características litológicas, texturales y estructurales de las rocas carbonatadas, determinando su grado de compactación, color, fracturamiento y contenido mineralógico. La cartografía geológica se realizará a escala detallada, con el fin de delimitar las unidades litológicas, estructuras principales y zonas de interés económico.

El muestreo de campo incluirá la toma de muestras representativas de caliza y material asociado, siguiendo una metodología sistemática por puntos georreferenciados, para asegurar la representatividad de los resultados en el cálculo de reservas. Las muestras recolectadas serán codificadas, para su posterior análisis en laboratorio.

3.2.4. Instrumentos y Equipos

Durante las salidas de campo se emplearán los siguientes materiales e instrumentos:

Cartografiado: Planos topográficos, geológicos y satelitales del área de estudio (escala 1:10,000 y 1:25,000).

Instrumentos de medición: lupa de 20X para el reconocimiento de minerales en campo, GPS de alta precisión (± 3 m) para georreferenciar afloramientos y puntos de muestreo, y cámara digital de alta resolución para el registro fotográfico, brújula geológica para determinar rumbos y buzamientos; protactor 1/1500 y 1/2000 para el levantamiento de estructuras; flexómetro y wincha metálica para medición de espesores y distancias.

Instrumentos de muestreo: Picota geológica para la extracción de muestras de caliza; cinceles y bolsas de muestreo de polietileno codificadas.

3.2.5. Procesamiento y Análisis de Datos

El procesamiento de la información se realizará con apoyo de softwares especializados:

ArcGIS Pro: En la elaboración de mapas, generación de modelos digitales de terreno (MDT) y delimitación de los perfiles geológicos.

AutoCAD: para el diseño de perfiles transversales, modelado de cuerpos de caliza y estimación del área para cálculo de reservas.

Microsoft Office: Excel para la tabulación, tratamiento estadístico y control de calidad de los datos analíticos y volumétricos, Microsoft Word: para la redacción, sistematización y presentación del informe final.

3.2.6. Definición de Variables

Tabla 18: Definición de variables.

Variables independientes	Variable dependiente
Litología	
Resistencia de la roca	Cálculo de reservas
Contenido de carbonato de calcio	

3.3. CONTEXTO GEOLÓGICO

3.3.1. Geología Local

3.3.1.1. Formación Cajamarca (Fm – Ca)

La Formación Cajamarca, corresponde a una de las secuencias calcáreas del Cretácico Superior, que se destaca por su homogeneidad litológica y ocurrencia en estratos de gran espesor, además hay presencia de estructuras lenares y vetillas de calcita.

Litológicamente está conformada por calizas de color gris oscuro y se muestran como rocas compactas dispuestas en estratos de gran espesor, a nivel microscópicos se observa presencia de estructuras biológicas marina; además, a causa de la disolución de la superficie de la roca afectada por aguas meteóricas, presentan, estructuras lenares.

Los estratos de calizas, presentan un azimut de N254° y buzamiento de 59°NW, en la Figura 8 podemos observar los estratos de las rocas calizas desde una vista perpendicular donde se observan el buzamiento de los estratos y en la Figura 9 se muestra una vista frontal con los diferentes niveles calcáreos que conforman el área de estudio. Esta zona se ubica en la parte sur del sinclinal volcado de la Formación Cajamarca.

Como se observa en campo, según las diferencias de cotas la Formación Cajamarca, aflora un espesor aproximado de 40 metros (espesor que se usará más adelante para el cálculo de reservas probadas), aunque la columna estratigráfica de la Formación Cajamarca presenta un espesor total de aproximadamente 450 m, se ha considerado un espesor efectivo de 140 m para el cálculo de las reservas probables, esta reducción se justifica debido a la inclinación pronunciada de los estratos (buzamiento de 59°NW) y a la configuración estructural del sinclinal volcado en el que se encuentra el área del proyecto, lo que limita la continuidad vertical real de los cuerpos calcáreos explotables. De esta manera, el espesor adoptado refleja una estimación más

conservadora y representativa del volumen potencialmente minable, acorde con los criterios técnicos del código JORC (2012).



Figura 8. Vista lateral del afloramiento de calizas pertenecientes a la Formación Cajamarca. N: 9201991/ E: 766648/ Cota: 3436 m.s.n.m.



Figura 9. Vista frontal del afloramiento Formación Cajamarca. N: 9201992.98/ E: 766729.33/ Cota: 3435.28 m.s.n.m.

3.3.1.2. Cuaternario Aluvial (Q – Al).

En el área se identifican depósito aluvial del cuaternario constituido por una mezcla heterométrica de gravas, arenas y limos, con ocasionales clastos subangulosos a subredondeados de caliza. El material presenta estratificación incipiente y una moderada selección granulométrica depósito que se dispone en mantos subhorizontales que llenan parcialmente el fondo de valle y los cauces actuales, alcanzando espesores variables.

3.3.1.3. Cuaternario Coluvial (Q - Co).

En el área afloran depósitos coluviales del cuaternario compuesto por una mezcla heterogénea de fragmentos angulosos de caliza, de tamaño grava a bloque, inmersos en una matriz limo-arcillosa de color grisáceo. El material presenta una baja consolidación y una textura caótica, sin estratificación evidente como se puede ver en la Figura 10. Se dispone en mantos discontinuos que cubren parcialmente los estratos calizos subyacentes, conformando un nivel de espesor variable que se acumula principalmente al pie de laderas.



Figura 10. Vista frontal del depósito cuaternario coluvial. N: 9201927.24 / E: 766691.19/ Cota: 3386.12 m.s.n.m.

3.3.1.4. Cuaternario Fluvial (Q – Fl).

En las inmediaciones de la quebrada se identifican depósitos fluviales del cuaternario, conformados por una combinación de gravas, arenas y limos, como se puede ver en la Figura 11. Los clastos, se encuentran moderadamente seleccionados y dispuestos en estratos irregulares o lenticulares, evidenciando antiguos pulsos de transporte y sedimentación fluvial. El material presenta una baja consolidación y una matriz de tonalidad gris, indicando una antigua dinámica de cauce efímero, actualmente sin actividad hídrica permanente. Estos depósitos se distribuyen de manera discontinua a lo largo del cauce seco, formando abanicos menores que reflejan fases sucesivas de erosión y acumulación fluvial.



Figura 11. Vista frontal del Deposito Cuaternario Fluvial colindante con la Formación Cajamarca y Cuaternario Coluvial. N: 9201867.93/ E: 766697.26/ Cota: 3301.02m.s.n.m.

3.3.2. Caracterización Geomecánica

El macizo rocoso está conformado por 2 familias de discontinuidades más la estratificación. Litológicamente está conformado por calizas de la Formación Cajamarca. La caracterización geomecánica se realizó según Bienawski (1989) pertenece a un macizo rocoso tipo bueno.

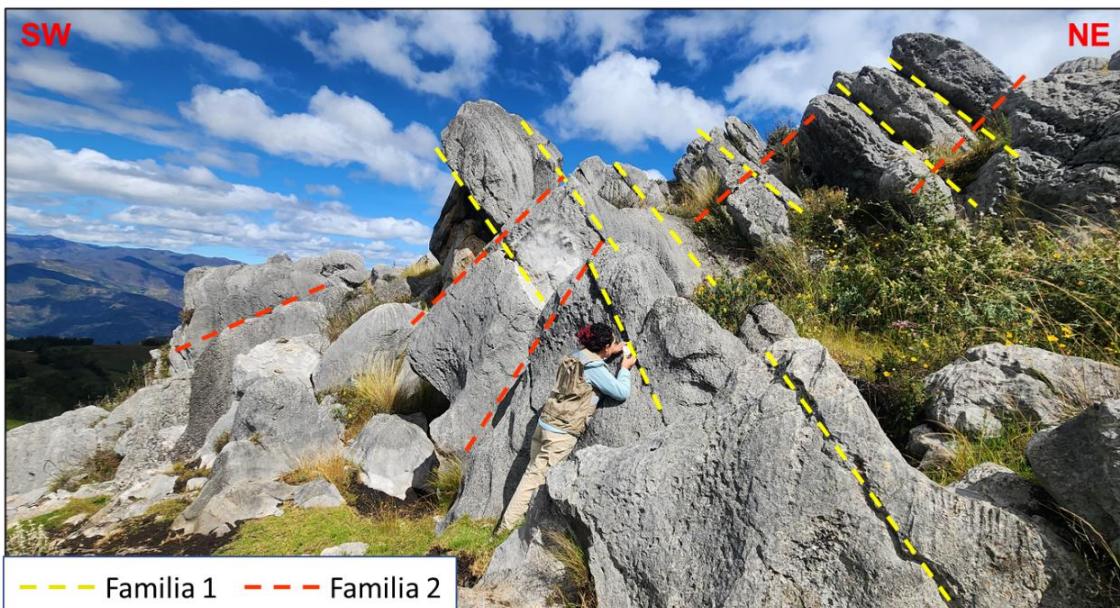


Figura 12. Familias de discontinuidades más la estratificación



Figura 13. Macizo rocoso de la Formación Cajamarca para el cálculo de la calidad de la roca. N: 9201991.14 / E: 766648.26 / Cota: 3436.08 m.s.n.m.

3.3.2.1. Grado de meteorización.

Se clasifica por el grado de meteorización como Ligeramente Meteorizada, pues presenta una ligera decoloración superficial debida a la acción de agentes atmosféricos, principalmente la lluvia y la humedad, que reaccionan con el carbonato de calcio de las rocas calizas. La estructura y textura original de la roca permanecen casi intactas, con escasa alteración mineralógica y mínima pérdida de resistencia mecánica.



Figura 14. Ligera meteorización vista por decoloración en las rocas calizas.

3.3.2.2. Resistencia a la compresión uniaxial

La clase obtenida del macizo rocoso corresponde a R5, lo que indica que se trata de una roca muy fuerte, con alta resistencia a la compresión y baja alteración estructural. Mediante la aplicación de la clasificación geomecánica RMR, se obtuvo una valoración de 12 puntos en el parámetro correspondiente a la resistencia de la roca intacta, valor que se integra posteriormente al cálculo total del RMR del macizo.

3.3.2.3. Designación de calidad de la roca – RQD.

En el análisis del sistema de RQD, se realizaron el conteo de 15 discontinuidades en 2 metros lineales.

$$\lambda = \frac{\text{Nº de discontinuidades}}{\text{L(m)}} \dots (1)$$

$$\text{RQD} = 100 * e^{-0.1\lambda} * (0.1\lambda + 1) \dots (2)$$

$$\lambda = \frac{15}{2} = 7.5$$

Reemplazamos el valor de (1) en (2):

$$RQD = 100 * e^{-0.1*9.5} * (0.1 * 7.5 + 1)$$

$$RQD = 92.11\%$$

En base al valor encontrado se tendrá una roca:

Tabla 19: Índice RQD de la estación.

Índice de calidad RQD (%)	CALIDAD	CLASE	VALORACIÓN
100 - 90	Muy buena	V	20
90 - 75	Buena	IV	17
75 - 50	Mediana	III	13
50 - 25	Mala	II	6
25 - 0	Muy mala	I	3

3.3.2.4. Condición de las discontinuidades.

Tabla 20: Condición de las discontinuidades.

DIP (BUZAMIENTO)	DIP DIRECTION	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES						Agua Subterránea
			Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración		
		20 15 10 8 5	6 4 2 1 0	6 5 4 1 0	6 5 3 1 -	6 5 3 1 -	6 5 4 2 1 0	6 5 4 3 2 1 0	15 10 7 4 0
1.- >2 m 2.- 0.6-2 m 3.- 200-600 mm 4.- 60-200 mm 5.- < 60 mm	1.- < 1m 2.- 1-3 m 3.- 3-10 m 4.- 10-20 m 5.- > 20 m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta < 0.1 mm 3.- Angosta 0.1 - 1.0 mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0 mm 5.- Muy abierta > 5.0 mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugosa 4.- Lisa -	1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blando <5mm 5.- Relleno blando >5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meterizada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Húmedo 3.- Mojado 4.- Goteo 5.-Flujo			
E1.1	50	128	2	2	3	3	2	2	2
E1.2	47	135	2	2	3	3	3	2	2
D1.1	75	348	2	1	2	2	3	2	2
D1.2	71	347	3	1	2	3	3	2	2
D1.3	71	348	3	1	3	3	3	2	2
D2.1	41	239	3	1	3	2	3	2	2
D2.2	48	241	3	1	3	3	3	2	2
D2.3	45	236	3	1	3	2	3	2	2
RESULTADO		3	2	3	3	3	2	2	2
PUNTAJE		10	4	4	3	2	5	10	
TOTAL								38	

Fuente: ISRM (2007).

3.3.2.5. Clasificación del Macizo Rocoso - RMR.

- (1) Resistencia del macizo rocoso
- (2) R.Q.D
- (3) Espaciado entre discontinuidades
- (4) Estado de las discontinuidades
- (5) Flujo de agua en las discontinuidades

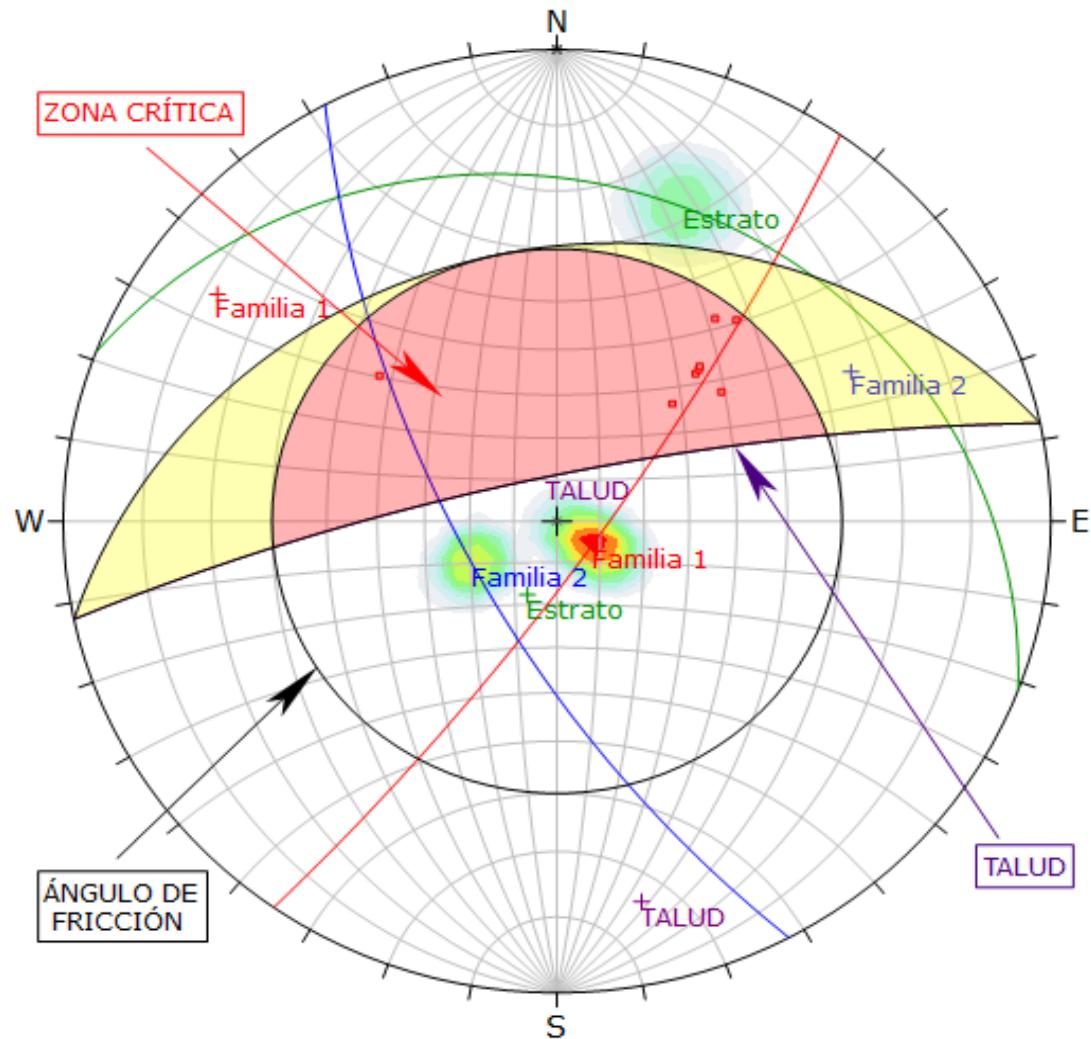
$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

$$RMR = 12 + 20 + 10 + 18 + 10$$

$$RMR = 70$$

Tabla 21: Índice de la calidad de la roca RMR.

CLASE	CALIDAD	VALORACIÓN (RMR)	COHESIÓN	ÁNGULO DE ROZAMIENTO
I	Muy Buena	100 - 81	> 4Kg/cm ²	<45°
II	Buena	81 - 61	3 - 4 Kg/cm ²	35°- 45°
III	Media	60 – 41	2- 3 Kg/cm ²	25°- 35°
IV	Mala	40 – 21	1 - 2Kg/cm ²	15°- 25°
V	Muy Mala	< 20	<1 Kg/cm ²	<15°



Symbol	Feature		
Critical Intersection			
Color	Density Concentrations		
	0.00 - 3.90		
	3.90 - 7.80		
	7.80 - 11.70		
	11.70 - 15.60		
	15.60 - 19.50		
	19.50 - 23.40		
	23.40 - 27.30		
	27.30 - 31.20		
	31.20 - 35.10		
	35.10 - 39.00		
Maximum Density			
38.45%			
Contour Data			
Dip Vectors			
Contour Distribution			
Fisher			
Counting Circle Size			
1.0%			
Kinematic Analysis			
Wedge Sliding			
Slope Dip			
79			
Slope Dip Direction			
348			
Friction Angle			
30°			
	Critical		
	Total		
	%		
Wedge Sliding	8	190	4.21%
Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
4	[Color Box]	79	348
5	[Color Box]	19	21
6	[Color Box]	80	125
7	[Color Box]	68	242
Plot Mode			
Dip Vectors			
Vector Count			
20 (20 Entries)			
Intersection Mode			
Grid Data Planes			
Intersections Count			
190			
Hemisphere			
Lower			
Projection			
Equal Angle			

Figura 15. Proyección estereográfica hecha en Slide, observamos en el análisis existe un porcentaje de 26.14% de probabilidades de la existencia de una rotura en cuña con deslizamiento hacia el NW

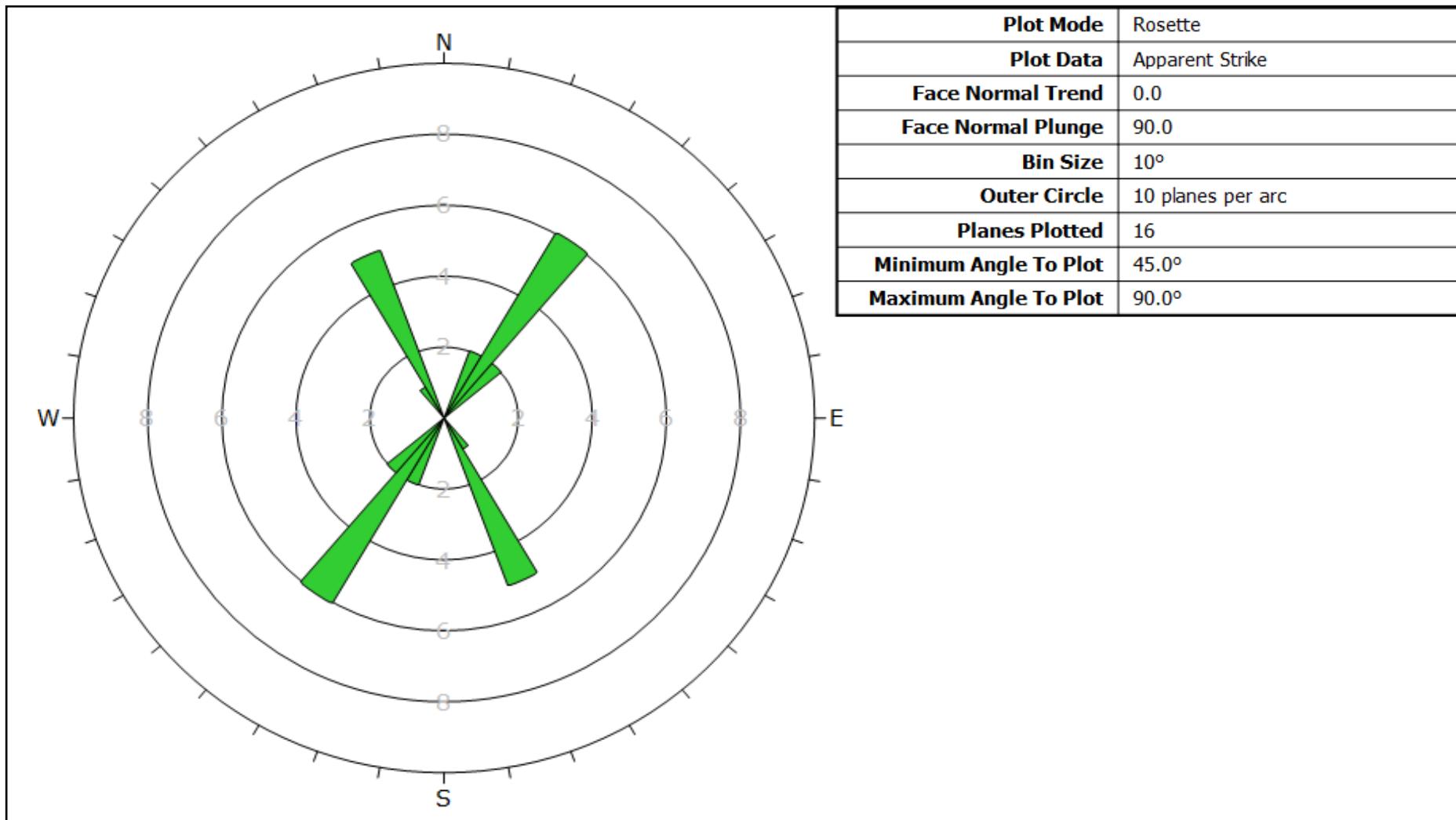


Figura 16. Diagrama de rosetas, este diagrama representa la orientación de rumbo del estrato y las 2 familias de discontinuidades.

3.3.3. Caracterización Geomorfológica

3.3.3.1. Ambiente kárstico.

Por las características del ambiente kárstico donde afloran las rocas analizadas, y según la clasificación propuesta por Carvajal (2011), el área se encuentra conformada por unidades morfológicas de torres kársticas como se observa en la Figura 17, subdivididas en subunidades de relieves kársticos y, de manera específica, todos están formadas por el componente karst, lapiaz o también denominados lenares, como se puede ver en la Figura 18.

Estas geoformas se desarrollan como resultado de procesos de disolución diferencial sobre rocas calizas, donde predomina la erosión química por disolución. La evolución de estas morfologías está controlada tanto por factores endógenos (estructura geológica, fracturamiento, diaclasas y buzamiento estratigráfico) como por factores exógenos (precipitación, infiltración y escurrimiento superficial). Entre los agentes más influyentes destacan la precipitación meteórica y la acción fluvial de los drenajes, los cuales favorecen la disolución, el colapso y la generación de cavidades y conductos subterráneos característicos del relieve kárstico.

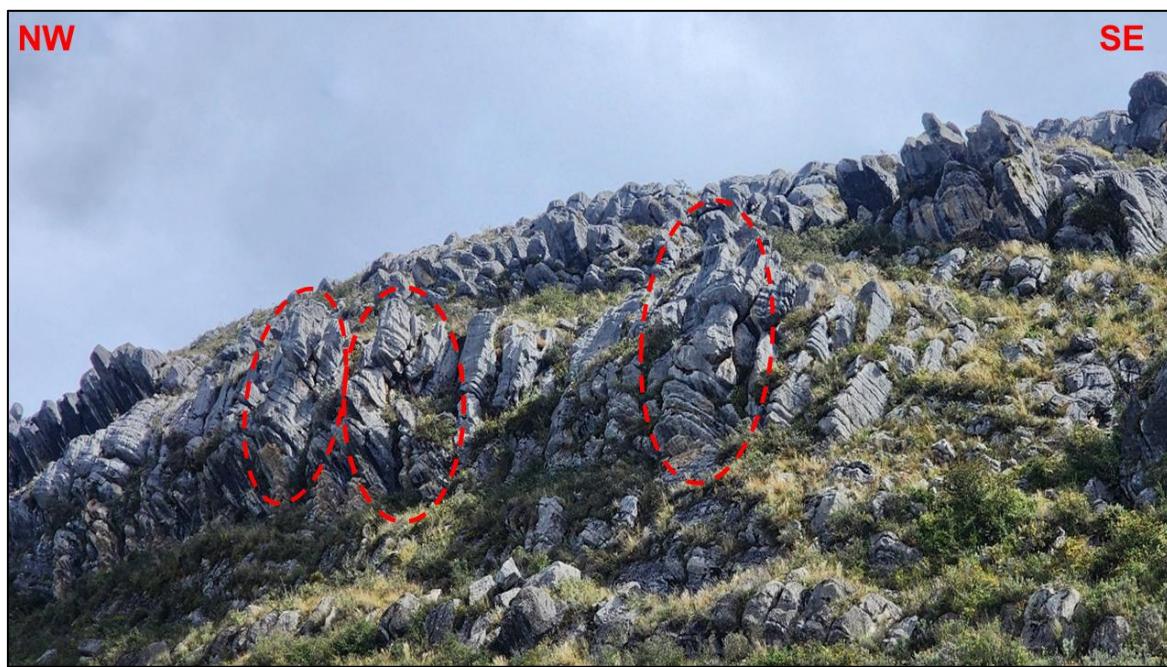


Figura 17. Torres Kársticas presentes en la zona de estudio, producto de la disolución del carbonato de las rocas. N: 9201968.98 / E: 766619.05/ Cota: 3442.13 m.s.n.m.

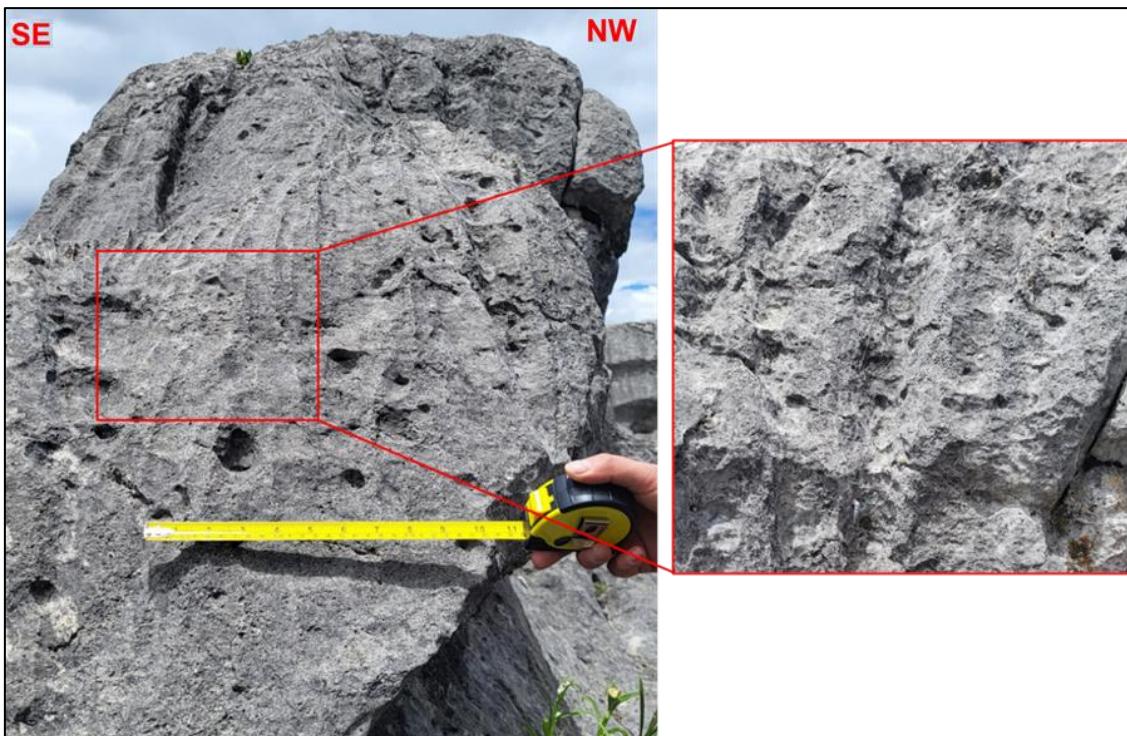


Figura 18. Relieves Kársticos de las rocas carbonatadas, en la parte superior del afloramiento de la Formación Cajamarca.

3.3.3.2. Ambiente Denudacional.

Como resultado de procesos erosivos hídricos y pluviales, y principalmente de procesos de meteorización, erosión y movimientos en masa, el área presenta geoformas de ambiente denudacional, como se observa en el plano geomorfológico. Dentro de este contexto, se identifican como unidades principales los cerros, con subunidades asociadas a deslizamientos, en los que se distinguen como componentes a los depósitos coluviales y depósitos aluviales.

En la zona de estudio, los depósitos coluviales y aluviales presentan un ancho promedio de 80 a 100 metros y un espesor aproximado de 5 metros, conformando bancos de materiales sueltos e incoherentes que representan la transición entre ambientes gravitacionales y fluviales dentro del sistema denudacional.

Los depósitos aluviales. Se desarrollan en la parte superior o más externa de la secuencia, compuestos por sedimentos con menor grado de transporte, asociados a procesos de baja energía, como se puede ver en la Figura

19. Estos presentan texturas más heterogéneas y una distribución irregular, lo que evidencia su formación por eventos episódicos de escorrentía superficial o flujos estacionales.

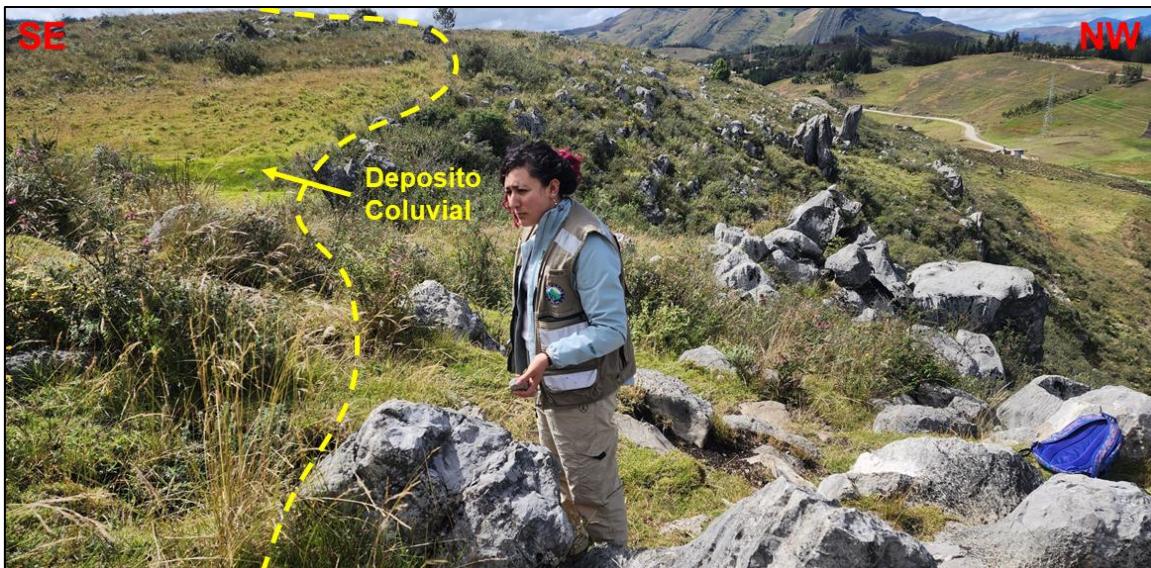


Figura 19. Vista lateral del depósito aluvial en la parte superior del afloramiento de la Fm-Ca. N: 9202004.15/ E: 766620.26/ Cota: 3451.01 m.s.n.m.

Los depósitos coluviales. Se localizan predominantemente en la parte inferior de los estratos o laderas, formados por materiales que han experimentado un mayor grado de transporte gravitacional. Se caracterizan por una mezcla caótica de fragmentos líticos angulosos a subángulosos, de diversos tamaños, embebidos en una matriz limo-arcillosa escasa, producto de procesos de remoción en masa y acumulación por gravedad como se puede ver en la Figura 20.

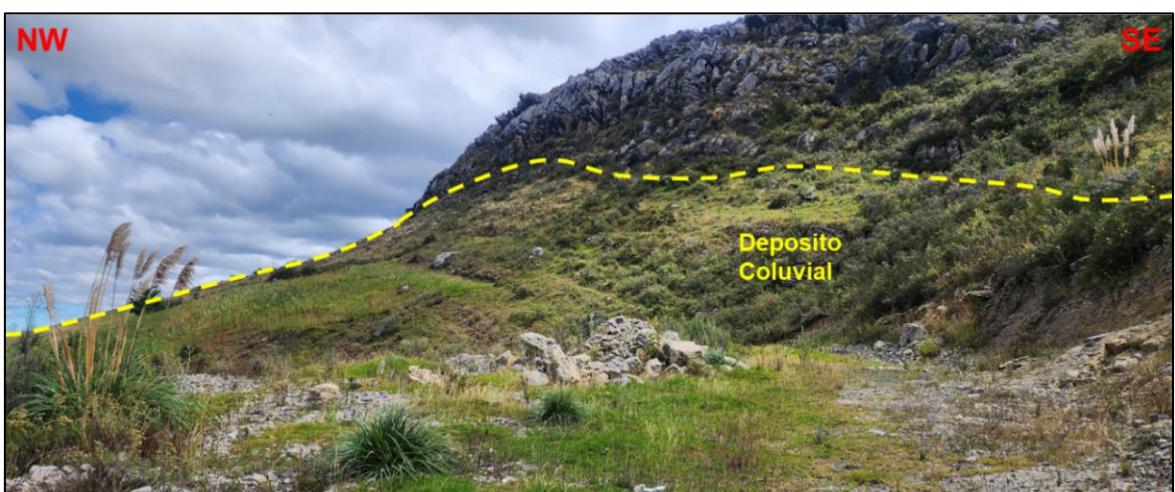


Figura 20. Vista lateral del Deposito Coluvial, presente debajo del afloramiento de calizas de la Fm-Ca. N: 9201931.6/ E: 766728.71/ Cota: 3302.41 m.s.n.m.

3.3.3.3. Ambiente Fluvial.

El área presenta un ambiente fluvial definido, conformado por depósitos fluviales cuaternarios asociados a la dinámica de una quebrada de régimen estacional. Dentro de este contexto se distinguen como componentes principales los escarpes fluviales, la quebrada propiamente dicha y los depósitos fluviales. Se han formado escarpes fluviales pequeños que se desarrollan a lo largo de las márgenes de la quebrada y corresponden a formas erosivas activas, originadas por procesos de incisión y socavación lateral del cauce. La quebrada constituye la geoforma principal del sistema fluvial, actuando como el canal de drenaje natural donde se concentra el flujo superficial. Su morfología es encajada y de trazo irregular, evidenciando una evolución controlada por eventos de erosión lineal e intermitente transporte sedimentario.

Los depósitos fluviales están compuestos por gravas, arenas y limos de matriz suelta, con textura heterométrica y baja consolidación y con una estratificación incipiente como subunidades y unidades geomorfológicas se reconocen las terrazas fluviales, las cuales representan niveles antiguos de acumulación y estabilidad del cauce, formadas por sucesivos pulsos de erosión y sedimentación. Estas terrazas se presentan en ambos márgenes del cauce y marcan los antiguos niveles de base del sistema fluvial, reflejando la dinámica de incisión progresiva de la quebrada.

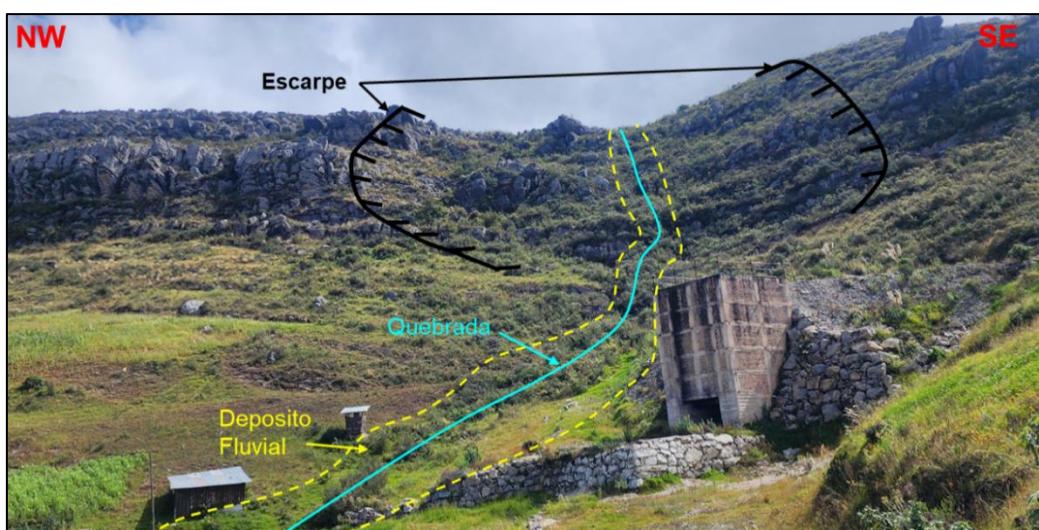


Figura 21. Vista frontal de las geoformas de ambiente fluvial. N: 9201867.93/ E: 766697.26/ Cota: 3301.02m.s.n.m.

3.3.3.4. Ambiente Antropogénico.

Esta área evidencia una fuerte influencia antrópica, originando un ambiente geomorfológico antropogénico. En este se identifican diversas unidades geomorfológicas de origen antrópico que han modificado significativamente el relieve natural y la morfología del paisaje.

Dentro de la zona de estudio se reconocen canteras en explotación, flancos de cantera resultantes de los procesos de extracción de materiales, así como bancas y taludes asociados a caminos y vías de acceso, los cuales representan formas de alteración directa del terreno producto de la intervención humana sobre el medio físico.



Figura 22. A. Canteras y flancos de cantera. B. Bancos de camino, ambos formados por la acción antropogénica. N: 9201879.95/ E: 766737.51/ Cota: 3303.73m.s.n.m.

Se presenta cuadro resumen de las unidades geomorfológicas por ambiente morfogenético según la clasificación de Carvajal, 2011.

Tabla 22. Tabla resumen de unidades geomorfológicas, por ambiente morfogenético.

AMBIENTE	UNIDADES	SUBUNIDADES	COMPONENTE
Ambiente Denudacional	Cerros	Deslizamiento	Deposito Coluvial Deposito Aluvial
Ambiente Fluvial	Terrazas fluviales	Terrazas fluviales	Escarpe Quebradas Deposito Fluvial
Ambiente Kárstico	Torres Kársticas	Relieve kárstico	Karst
Ambiente Antropogénico	Canteras	Flancos de cantera Planos de explanación	Canales Banca de caminos

Fuente: Carvajal, (2011).

Con estos datos de caracterización geomorfológica y geomecánica, se tiene que tasas de erosión están directamente relacionadas con un factor de erosión de 0.95, valor característico de ambientes kársticos altamente evolucionados, donde la topografía irregular y la escasa retención del agua superficial favorecen la pérdida de suelo. Además, este fenómeno ocurre sobre una matriz rocosa con una alta resistencia geomecánica, reflejada en un índice RMR (Rock Mass Rating) de 70, lo que indica una roca muy competente, típicamente caliza compacta, que, aunque resistente, contribuye a la génesis de microrelieves kársticos que aceleran los procesos erosivos en las capas superficiales del suelo.

3.3.4. Análisis Petrográfico

Se ha caracterizado las rocas encontradas en campo, mediante 2 metodologías según Dunham y según la diagénesis de las rocas, esto se ha hecho revisando bibliografía previa, y luego mediante las salidas a campo donde se hace análisis geológico, se continua con la recolección de muestras de mano que se llevan al laboratorio petro-mineralógico de la Universidad Nacional de Cajamarca para analizarlos en microscopio de aumentos.

3.3.4.1. Muestras de campo

Se recolectaron un total de trece (13) muestras de roca en campo, seleccionadas por su representatividad litológica y estratigráfica dentro del área de estudio. Estas muestras fueron posteriormente analizadas en laboratorio mediante microscopía digital Q-Scope, con el propósito de identificar las principales características mineralógicas y texturales de las calizas.

Los análisis petrográficos permitieron identificar la presencia de restos biológicos y microfósiles, los cuales constituyen evidencias determinantes de un ambiente de sedimentación marina para las calizas del área de estudio. La magnificación utilizada en el microscopio digital Q-Scope fue ajustada de manera específica en función de la granulometría, textura y características ópticas de cada muestra, con el objetivo de optimizar la resolución y precisión en la identificación de fósiles o minerales.

En la Tabla 23 correspondiente se presenta la ubicación georreferenciada (Sistema de coordenadas UTM DATUM WGS-84) de los puntos de muestreo donde se recolectaron las trece (13) muestras representativas. Asimismo, en el Anexo 1 se incluyen las fotografías de cada muestra, obtenidas durante el análisis microscópico, que sustentan la caracterización petrográfica desarrollada.

Tabla 23. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo de rocas calizas.

Muestra	Coordenada Este	Coordenada Norte	Elevación
1	766718	9202006	3440
2	766597	9202001	3438
3	766412	9202053	3480
4	766377	9202100	3501
5	766132	9202160	3466
6	766090	9202028	3369
7	766340	9201992	3426
8	766554	9202139	3474
9	766442	9202289	3519
10	766544	9202347	3516
11	766328	9202284	3521
12	766137	9202309	3499
13	766232	9202376	3531

3.3.4.2. Clasificación según Dunham

Se han analizado las rocas observando el soporte y granos que las conforman, considerando la textura, el empaquetamiento de los granos, proporción relativa entre las partículas y la matriz, y la unión de los granos, no se ha tenido en cuenta la presencia o no cemento (micrita), teniendo como resultado de esto la clasificación en calizas Mudstone.

Se tienen 10 muestras de calizas clasificadas petrográficamente como mudstone, se observa un predominio de lodo carbonatado fino, con una escasa proporción de bioclastos o granos de carbonato de calcio dispersos en la matriz. Esta textura evidencia un arreglo matriz-soportado, característico de ambientes de baja energía deposicional, donde la sedimentación estuvo dominada por la decantación de partículas finas en suspensión. Dichas características se aprecian con mayor detalle en las Figura 23 a la Figura 26 presentadas a continuación.

Textura deposicional reconocible										Textura deposicional no reconocible	
Componentes originales no unidos durante la sedimentación					Componentes organicamente unidos durante el depósito						
Con lodo calcáreo (micrita) [tamaño limo fino y arcilla]		Textura sostenida por granos sin lodo calcáreo	> 10% granos > 2 mm		Boundstone (puede dividirse en 3 tipos de acuerdo con la forma de las estructuras orgánicas)						
Textura lodo-sostenida	Textura grano-sostenida		Textura lodo-sostenida	Textura sostenida por granos > 2 mm	en grupos separados	unidas	formando una estructura rígida				
< 10% granos Mudstone	> 10% granos Wackestone	Packstone	Grainstone	Floatstone	Rudstone	Blafflestone	Bindstone	Framestone		Cristalina	
Muestra 1 	Muestra 2 	Muestra 3 	63.42X 1.006 mm	61.31X 1.004 mm	62.73X 1.004 mm						

Figura 23. Calizas Mudstone de la Formación Cajamarca al microscopio con mínima cantidad de clastos.

Textura deposicional reconocible										Textura deposicional no reconocible
Componentes originales no unidos durante la sedimentación						Componentes organicamente unidos durante el depósito				
Con lodo calcáreo (micrita) [tamaño limo fino y arcilla]						(puede dividirse en 3 tipos de acuerdo con la forma de las estructuras orgánicas)				
Textura lodo-sostenida	Textura grano-sostenida	Textura sostenida por granos sin lodo calcáreo	> 10% granos > 2 mm	Textura lodo-sostenida	Textura sostenida por granos > 2 mm	Boundstone	en grupos separados			Cristalina
< 10% granos Mudstone	> 10% granos Wackestone	Packstone	Grainstone	Floatstone	Rudstone	Blafflestone	Bindstone	formando una estructura rígida Framestone		
Muestra 4		Muestra 6		Muestra 7						
62.17X	1.006 mm	60.92X	1.005 mm	62.35X	1.004 mm					

Figura 24. Calizas Mudstone de la Formación Cajamarca al microscopio con mínima cantidad de clastos.

Textura deposicional reconocible										Textura deposicional no reconocible	
Componentes originales no unidos durante la sedimentación					Componentes organicamente unidos durante el depósito						
Con lodo calcáreo (micrita) [tamaño limo fino y arcilla]		Textura sostenida por granos sin lodo calcáreo	> 10% granos > 2 mm		Textura lodo-sostenida		Textura sostenida por granos > 2 mm				
Textura lodo-sostenida	Textura grano-sostenida		Textura lodo-sostenida	Textura sostenida por granos > 2 mm	en grupos separados	unidas	Boundstone (puede dividirse en 3 tipos de acuerdo con la forma de las estructuras orgánicas)				
< 10% granos Mudstone	> 10% granos Wackestone	Packstone	Grainstone	Floatstone	Rudstone	Blafflestone	Bindstone	Framestone	formando una estructura rígida	Cristalina	
Muestra 8											
 Restos fósiles dentro de la roca					 Vennilla llenas de calcita cristalizada					Muestra 10	
62.35X					60.13X					60.13X	
										1.004 mm	

Figura 25. Calizas Mudstone de la Formación Cajamarca al microscopio con mínima cantidad de clastos.

Textura deposicional reconocible							Textura deposicional no reconocible
Componentes originales no unidos durante la sedimentación				Componentes organicamente unidos durante el depósito			
Con lodo calcáreo (micrita) [tamaño limo fino y arcilla]		Textura sostenida por granos sin lodo calcáreo	> 10% granos > 2 mm				Cristalina
Textura lodo-sostenida	Textura grano-sostenida		Textura lodo-sostenida	Textura sostenida por granos > 2 mm	Boundstone (puede dividirse en 3 tipos de acuerdo con la forma de las estructuras orgánicas)	formando una estructura rígida	
< 10% granos Mudstone	> 10% granos Wackestone	Packstone	Grainstone	Floatstone	Rudstone en grupos separados Blafflestone	Bindstone unidas	Framestone



Figura 26. Calizas Mudstone de la Formación Cajamarca al microscopio con mínima cantidad de clastos.

Así mismo se identificaron 3 muestras clasificadas como Wackestone, según la clasificación de Dunham (1962). Estas rocas presentan una matriz de lodo calcarea predominante, con una moderada proporción de bioclastos y fragmentos de carbonato de calcio distribuidos de manera heterogénea. La textura observada corresponde a un arreglo matriz-soportado, indicando una deposición en ambientes marinos de baja a moderada energía, donde la sedimentación estuvo influenciada por la acumulación de material biogénico fino junto con partículas carbonatadas. En las Figura 27 se evidencia la presencia de fragmentos fósiles y restos biogénicos parcialmente recristalizados, lo que confirma su origen sedimentario marino y el grado de compactación posterior a la diagénesis.

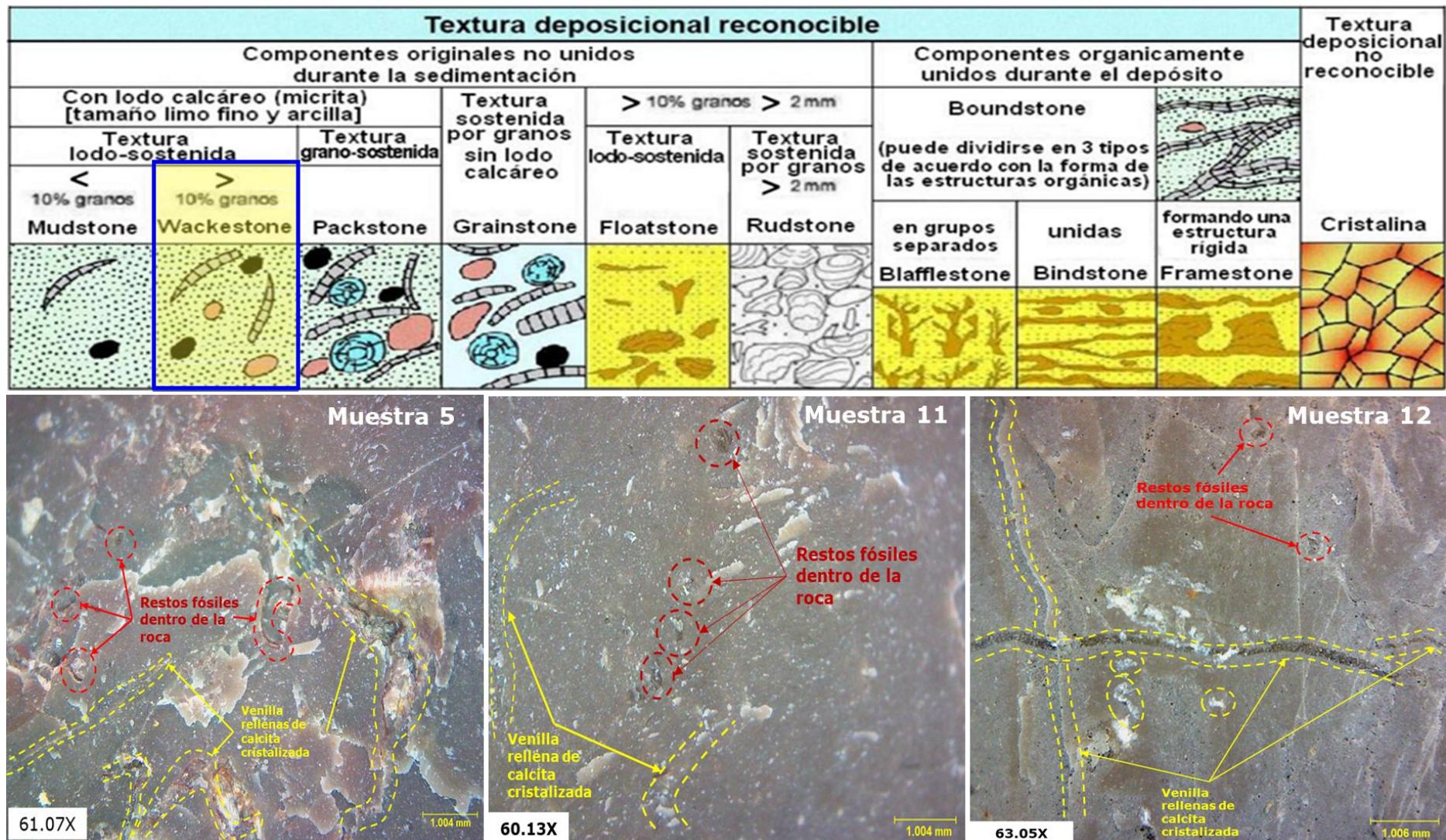


Figura 27. Calizas Wackstone de la Formación Cajamarca al microscopio con moderada cantidad de clastos.

3.3.4.3. Clasificación según la diagénesis de las rocas

Según la diagénesis las rocas de la Formación Cajamarca, son pertenecientes inicialmente a procesos de Sindiagenesis, pues se observa que se han depositado sedimentos y restos biológicos fósiles, luego ha pasado por cambios epidemiogenéticos, que se observan con la compactación y cementación de los sedimentos y también con el ascenso tectónico que caracteriza este proceso se ha generado pliegues y deformado los estratos de la Formación Cajamarca en la zona de análisis para esta tesis.



Figura 28. Estratos deformados que han sufrido procesos de plegamiento por procesos tectónicos. N: 9201879.95/ E: 766737.51/ Cota: 3303.73m.s.n.m.

3.3.5. Análisis de Laboratorio y Contenido de Cal

Para este estudio se han enviado 13 muestras para realizar su análisis físico-químico y determinar su contenido de óxido de calcio (pureza de la cal presente en las rocas). Con los resultados obtenidos, se observa un promedio de 93.10% de carbonato de calcio en las muestras analizadas, valor que se considera favorable y coherente con la clasificación establecida por Lorenz & Gwosdz (2005).

Con el fin de analizar la distribución de los datos, se elaborará un análisis de estadístico de las muestras. La distribución de los resultados de CaO muestra

una variabilidad baja ($\sigma = 1.7\%$), lo que indica que las muestras son homogéneas y provienen de una misma unidad litológica.

Al graficar los datos en un histograma del contenido de óxido de calcio (CaO) muestra una distribución unimodal con una clara concentración de valores entre 92% y 95%, lo que indica una homogeneidad química significativa en las muestras analizadas, se observa que la mayoría de valores se concentran alrededor del 93%, confirmando que la población es unimodal y compacta. Por ello, y dado que no hay dispersión significativa ni valores atípicos, se justifica el uso del promedio aritmético (93.1 %) como valor representativo del contenido de CaO para el depósito analizado.

Tabla 24. Parámetros geoestadísticos de las muestras analizadas

Parámetro	Valor
Promedio (media aritmética)	93.10%
Mediana	93.40%
Desviación estándar	1.70%
Mínimo	90.20%
Máximo	95.50%
Rango	5.30%

Histograma del contenido de Óxido de Calcio

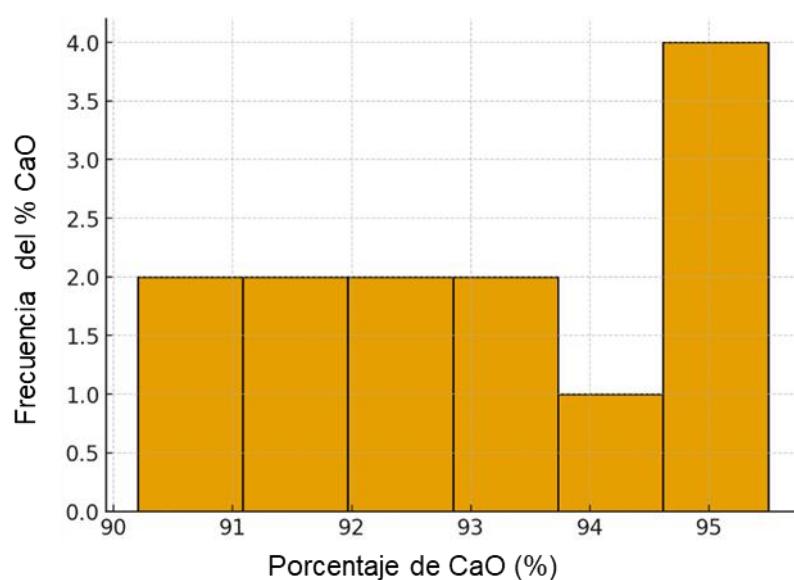


Figura 29. Histograma del contenido de óxido de Calcio (CaO).

Se tienen calizas con calidad muy alta, ideal para la producción de cal para diferentes industrias, principalmente la industria minera. A continuación, se observa los cuadros resumen entregados por el laboratorio que ha realizado los análisis, así mismo también se tiene como anexo las hojas de resultados entregadas por el laboratorio. Lorenz & Gwosdz (2005)

Tabla 25. Resumen de resultados obtenidos en laboratorio de análisis físico-químico.

Determinación Química	Resultados en Porcentaje (%)					
	Óxido de Calcio CaO	Óxido Férrico Fe ₂ O ₃	Óxido de Magnesio MgO	Óxido de Silicio SiO ₂	Óxido de Aluminio Al ₂ O ₃	Insolubles
Muestra 1	95.5	0.078	0.545	0.94	0.63	0.16
Muestra 2	94.3	0.023	0.45	0.85	0.59	0.18
Muestra 3	93.1	0.019	0.35	0.82	0.56	0.21
Muestra 4	93.6	0.02	0.38	0.91	0.59	0.15
Muestra 5	92.4	0.016	0.32	0.75	0.51	0.12
Muestra 6	94.7	0.088	0.55	0.97	0.65	0.17
Muestra 7	95.1	0.043	0.46	0.92	0.63	0.2
Muestra 8	91.8	0.049	0.365	0.91	0.62	0.24
Muestra 9	91.2	0.025	0.4	0.98	0.67	0.19
Muestra 10	95.4	0.026	0.345	0.9	0.61	0.17
Muestra 11	90.7	0.103	0.35	0.93	0.76	0.18
Muestra 12	92.3	0.063	0.355	0.96	0.75	0.19
Muestra 13	90.2	0.074	0.405	0.99	0.71	0.2

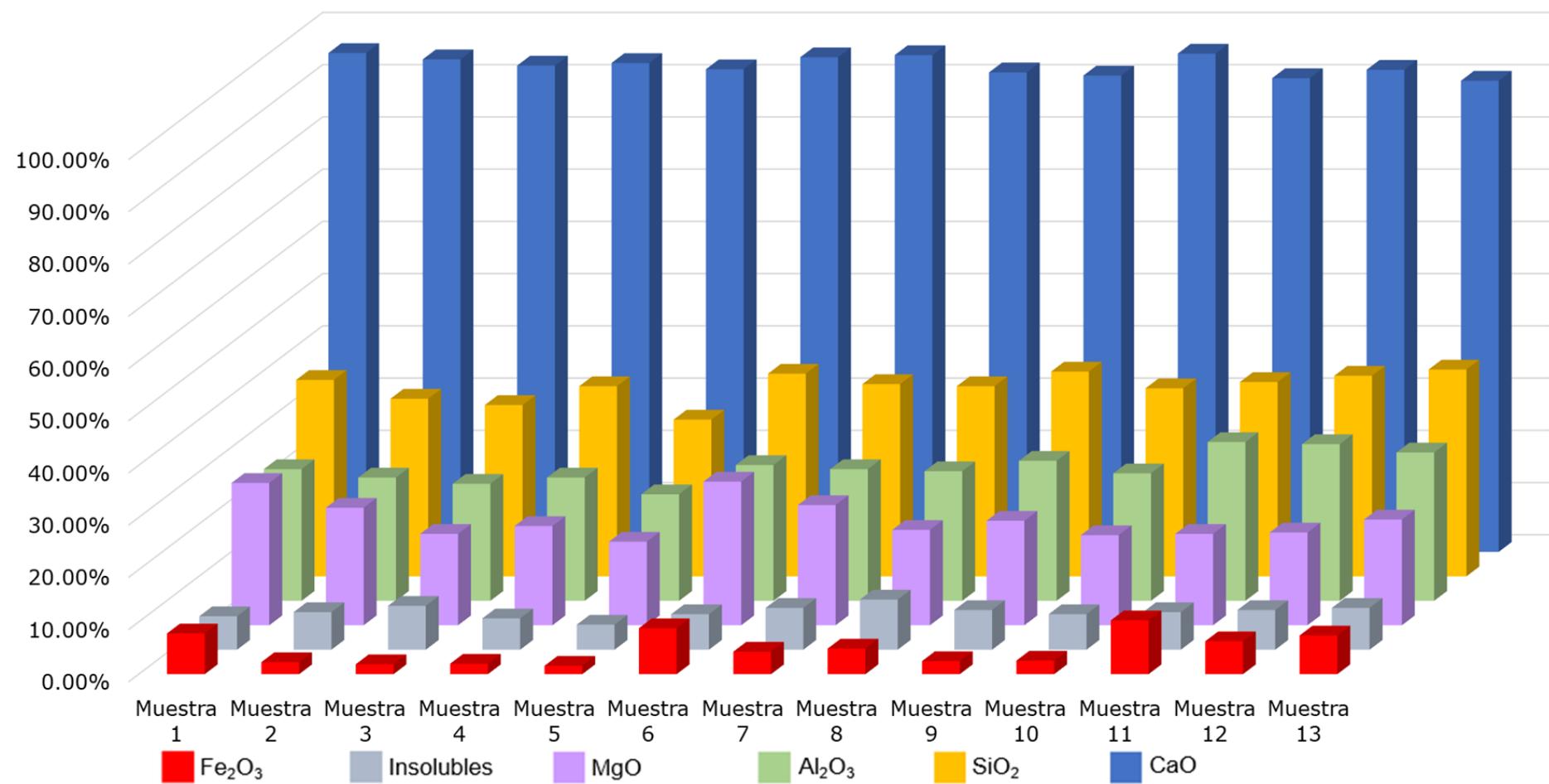


Figura 30. Representación gráfica de los resultados químicas de las muestras de campo.

3.3.6. Cálculo de Reserva de Cal.

El cálculo de reservas se realizará utilizando los datos obtenidos del análisis geológico, geomecánico, geomorfológico y estadístico. Con base en los resultados de contenido de carbonato de calcio, se identifica una caliza de interés económico con un alto grado de pureza, alcanzando un promedio aritmético de 93.1% de Óxido de calcio (CaO) o cal viva. El cálculo de reservas se efectuó mediante el método de perfiles, empleando el software ArcGIS, con el cual se determinaron de manera aproximada las áreas de los seis perfiles trazados a una distancia de 120 m entre sí, permitiendo estimar el volumen de cada bloque. Para las reservas probadas, se consideró una profundidad de 40 m, correspondiente al afloramiento observado en campo, mientras que para las reservas probables se utilizó una profundidad de 140 m. Cabe precisar que en este cálculo se emplearán únicamente las áreas correspondientes a roca caliza, y de manera independiente se estimará el volumen del material cuaternario.

Considerando que las rocas calizas presentan una densidad promedio de 2.5 g/cm³³, correspondiente a calizas compactas, además al hacer el análisis geomecánico se describen las características de materiales duros y compactos, su comportamiento durante la excavación implica una expansión moderada del volumen, en función de esta dureza y grado de cohesión, se adopta un factor de esponjamiento de 1.51, valor representativo para rocas duras que, al fragmentarse, aumentan su volumen debido a la liberación de las presiones internas y la aparición de vacíos entre partículas.

Con esta información, y siguiendo los lineamientos del código JORC, se ha podido determinar las toneladas métricas y clasificar el depósito dentro de la categoría de Reservas Probadas. Asimismo, según la clasificación propuesta por Lorenz & Gwosdz (2005), el yacimiento puede considerarse de gran magnitud.

3.3.6.1. Cálculo de Reservas Probadas.

Para este cálculo se han usado las áreas definidas en los perfiles hechos en AutoCAD y ArcGIS, usando para ello una profundidad de 40m.

Tabla 26. Calculo Reservas Probadas

Perfil	Área (m ²)	Distancia entre perfiles	Volumen estado natural (m ³)	Volumen estado suelto. (F: 1.51)	Toneladas	
					Estado natural	Estado suelto
					Ton (métricas) (D: 2.5 Tn/m ³)	Ton (métricas) (D: 2.5 Tn/m ³)
A – A'	20636.391	120	1238183.460	1869657.025	3095458.65	4674142.562
B – B'	19557.265	120	1173435.900	1771888.209	2933589.75	4429720.523
C – C'	21289.21	120	1277352.600	1928802.426	3193381.5	4822006.065
D – D'	18667.172	120	1120030.320	1691245.783	2800075.8	4228114.458
E – E'	16215.438	120	972926.280	1469118.683	2432315.7	3672796.707
F – F'	15538.232	120	932293.920	1407763.819	2330734.8	3519409.548
Total					16785556.2 TM	25346189.86 TM

3.3.6.2. Cálculo de Reservas Probables.

Para este cálculo se han usado las áreas definidas en los perfiles hechos en AutoCAD y ArcGIS, ver Tabla 27, usando para ello una profundidad de 100m, por debajo del área de reservas Probadas.

Tabla 27. Cálculo de reservas probables.

Perfil	Área (m ²)	Distancia entre perfiles	Volumen estado natural (m ³) (D: 2.5 Tn/m ³)	Volumen estado suelto. (F: 1.51)	Toneladas	
					Estado natural	Estado suelto
					Ton (métricas)	Ton (métricas)
A – A'	37688.93	120	2261335.800	3414617.058	5653339.5	8536542.645
B – B'	37688.93	120	2261335.800	3414617.058	5653339.5	8536542.645
C – C'	37688.93	120	2261335.800	3414617.058	5653339.5	8536542.645
D – D'	37688.93	120	2261335.800	3414617.058	5653339.5	8536542.645
E – E'	37688.93	120	2261335.800	3414617.058	5653339.5	8536542.645
F – F'	37688.93	120	2261335.800	3414617.058	5653339.5	8536542.645
			Total	33920035.84 TM	51219254.11 TM	

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1. Caracterización Geológica y Cálculo de Reservas

Se ha realizado el análisis geológico, iniciando por la caracterización geomecánica, la roca caliza de la zona de estudio es una roca ligeramente meteorizada, formada por 2 familias principales de discontinuidades, de acuerdo a su compresión uniaxial se clasifica en una roca muy fuerte, con un RQD de 92% y de acuerdo al RMR se clasifica como roca buena con un valor de 70, lo que nos permite calcular el factor de esponjamiento de la roca caliza para el cálculo de reservas, definiéndose este en $F = 1.51$.

De acuerdo a la clasificación geomorfológica su ambiente morfoestructural es un ambiente kárstico, teniendo como unidades a torres Kársticas y subunidades de relieve kársticos y kárst visibles en todas las rocas esto debido a la disolución del carbonato de calcio presente en las rocas calizas de la Formación Cajamarca, y de acuerdo a sus unidades morfogenéticas está conformada principalmente por lomadas que tienen pendientes de 8° a 20° , teniendo dentro de la zona analizada un 70% de presencia de estas.

Con el análisis petrográfico se tiene roca caliza de acuerdo a sus características texturales de Dunham, como se puede ver en la Figura 31, el 76.92% de las muestras (10) se clasifican como rocas Mudstone pues se observa que más del 90% está compuesta por un componente de lodo carbonatado y presencia menor al 10% de cristales de calcita o granos visibles de fósiles, y el 23.08% de las muestras (3) se clasifican como rocas Wackstone, con un 80% de lodo carbonatado y 20% aproximadamente de cristales de calcita, granos visibles

de restos fósiles, todas estas rocas han sufrido procesos de sin diagénesis y epidemiagénesis.

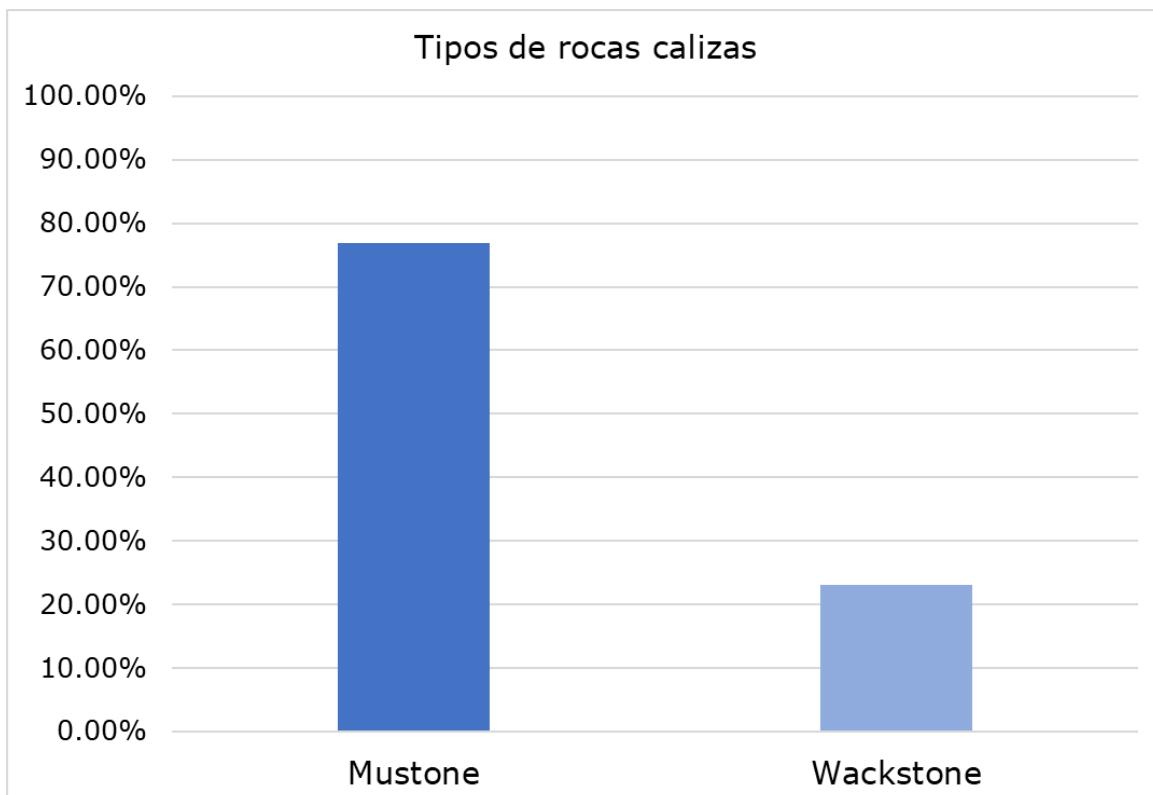


Figura 31. Clasificación de las rocas calizas de la Formación Cajamarca en el área de tesis.
Fuente: Dunham, (1962).

Las rocas calizas, tiene un buen contenido de Oxido de Calcio, teniendo como promedio un 93.10% de pureza, lo que hace que sean rocas de bastante interés para la industria de minerales no metálicos, así mismo se ha determinado el cálculo de reservas, mediante el método de secciones, en la cual las secciones principales son : A-A' y F-F', este cálculo final se analiza cuando la roca pasa por el proceso de calcinación, obteniendo su total contenido de óxido de calcio, teniendo entonces un total de reservas de 26 Millones de Reservas Probadas y 51 Millones de Reservas Probables de acuerdo al código JORC, lo que puede permitir la apertura de una industria minera en la zona.

4.2. Discusión de Resultados

Esta tesis de investigación se orientó a caracterizar geológicamente la caliza de la calera Geocal y a estimar sus reservas explotables; los resultados principales se contrastaron la con la investigación hecha por Ramos, (2015) evaluó el proyecto Peña Blanca (Formación Cajamarca) empleando el método de bloques geológicos y utilizando la media aritmética para el tonelaje, reportando un recurso total del orden de 92.5 millones de TM, en comparación, las reservas estimadas en el presente estudio son menores que las de Ramos, lo cual puede explicarse por diferencias en: (a) extensión espacial del área de estudio ya que Ramos trabajó un proyecto más amplio), (b) método volumétrico (bloques vs perfiles) y (c) criterios de continuidad y espesores adoptados para reservas probadas y probables. Adicionalmente, existe una discrepancia en la ley reportada por Ramos (48.4 % CaO) frente al 93 % de este estudio sugiere diferencias en la unidad de medida o en el analito reportado (posible diferencia entre CaO y CaCO₃).

Castillo & Chunque (2017) analizaron la concesión Tres Pirámides y concluyeron que las calizas de la Formación Cajamarca presentan altas purezas (carbonatos totales 94.43–97.11 %), clasificándose petrográficamente como mudstone, packstone y wackestone, y estimaron 687,589 TM de. Los valores de pureza reportados por Castillo & Chunque son congruentes con los obtenidos en este estudio (93.10 %), lo que refuerza la hipótesis de la alta calidad de las calizas de la Formación Cajamarca para producción de Óxido de Calcio (CaO). Las diferencias en el tonelaje mucho menor en Castillo y Chunque, se dan principalmente por la escala del área muestreada, densidad de muestreo y criterios de corte económico; en otras palabras, ambos estudios coinciden en la calidad del recurso, pero difieren en la magnitud de reservas por alcance geográfico y diferencias en el modelamiento, ya que en esta tesis se tiene un criterio mas conservador para las reservas probables.

González (2021) estimó volumen con el método de perfiles y reportó 71 335 112.8954 m³ y un tonelaje de 831,236 Millones de Toneladas, utilizó una densidad 2.5 t/m³, con RMR = 60 (roca buena) y CaO promedio de 94 %. El método de estimación es conceptualmente análogo al método empleado en este estudio, lo

que facilita la comparación: la concordancia en RMR ambos clasificadas como roca buena y en contenido de Óxido de Calcio (CaO) de 94 % en comparación de lo calculado acá de 93.1 %, indica una homogeneidad geomecánica y geoquímica regional; sin embargo, las diferencias en tonelaje derivan de distintas áreas investigadas, número y disposición de secciones, y espesores adoptados para el cálculo, Gonzales trabajó áreas más localizadas o con criterios de continuidad distintos.

En síntesis, la calidad química de las calizas del área, contenido de Óxido de Calcio (CaO) resulta consistente entre los estudios consultados, lo que valida la aptitud del recurso para la industria de cal, cemento, azúcar. Las variaciones en estimaciones de tonelaje obedecen principalmente a: la escala espacial del estudio, método de estimación volumétrica (bloques, perfiles, software empleado), densidad y distribución del muestreo y espesores y continuidad adoptados de acuerdo al criterio de cada investigador usados para clasificar reservas probadas y las reservas probables.

4.3. Contrastación de Hipótesis.

El análisis petrográfico, basado en la clasificación de Dunham (1962), permitió identificar que la mayoría de las muestras corresponden a facies Mudstone y Wackestone, con presencia subordinada de fósiles y granos de calcita. Estas características texturales evidencian un ambiente de sedimentación marino tranquilo de baja energía, lo cual es consistente con la naturaleza de las calizas compactas y masivas de buena pureza, propias de la Formación Cajamarca.

Desde el punto de vista geoquímico, el análisis del contenido de óxido de calcio (CaO) arrojó un valor promedio de 93.10% de pureza, indicando una roca caliza de alta calidad industrial, apta para la producción de cal viva, cal hidratada y carbonato de calcio industrial. Este rango de pureza se encuentra dentro de los valores considerados óptimos para su aprovechamiento en las industrias cementera, siderúrgica y azucarera.

Asimismo, la caracterización geomecánica del macizo rocoso, con un RQD de 92% y una clasificación RMR de 70 (roca buena), demuestra que el material presenta estabilidad estructural y bajo nivel de alteración. Estos parámetros sustentan la viabilidad técnica y económica del yacimiento, cuya estimación de reservas probadas y probables asciende a 25 y 51 millones de toneladas, respectivamente, conforme al código JORC.

Por tanto, los resultados geológicos, petrográficos, geoquímicos y geotécnicos verifican la validez de la hipótesis, al evidenciar que las calizas de la calera “Geocal” poseen una composición petrográfica homogénea, alta pureza en carbonato de calcio y reservas significativas, lo que permite clasificarlas como rocas calizas de excelente calidad industrial y con potencial económico en la industria de minerales no metálica.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

Se ha descrito detalladamente la geología del yacimiento no metálico, analizando sus características geomorfológicas, geomecánicas y petrográficas. Las rocas calizas fueron clasificadas como de calidad “buena” según la metodología RMR, mientras que geomorfológicamente predominan formas lomadas con presencia de torres y relieves kársticos, producto de la disolución del carbonato de calcio. El análisis petrográfico permitió clasificar las rocas como calizas mudstone y Wackstone según Dunham (1962).

El análisis de la pureza de carbonato de calcio de 13 muestras de caliza, tomadas en distintas zonas del yacimiento, mostró una alta pureza promedio de 93.10 % de óxido de calcio (CaO), lo cual las ubica en la categoría de calizas de alta calidad según Lorenz & Gwosdz (2005). Esta pureza resulta favorable para su aprovechamiento en diversas industrias, especialmente las de cemento, cerámica, papel y tratamiento de relaves, tal como señala Mitchell (2013). Con base en la distribución de los resultados, se elaboró un histograma y, dado que la población se concentra en una sola clase, se adoptó el promedio aritmético como valor representativo.

Para la estimación de reservas, se aplicó el método de perfiles empleando el software ArcGIS, considerando una densidad aparente de 2.5 g/cm³ y un factor de esponjamiento (Fw) de 1.51, correspondiente a rocas duras. En el análisis geológico se determinó un espesor medio de 40 m, utilizado para calcular las reservas probadas, mientras que, a partir de los datos de la columna estratigráfica con un espesor de 450 m, se estimaron las reservas probables. Los resultados obtenidos indican un volumen aproximado de 26 millones de toneladas métricas en reservas probadas y 51 millones de toneladas métricas en reservas probables,

clasificando el yacimiento como uno de gran magnitud, de acuerdo con Lorenz & Gwosdz (2005) y bajo los lineamientos del Código JORC, lo que demuestra su alto potencial para la explotación industrial en la región de Cajamarca.

5.1. Recomendaciones.

Se recomienda a las entidades competentes (Ministerio de Energía y Minas, INGEMMET) y a empresas del sector no metálico realizar un estudio complementario de evaluación económica y de viabilidad minera para determinar la factibilidad técnica y económica de la explotación de la caliza. Este estudio debe analizar la rentabilidad considerando costos de extracción, procesamiento, transporte y comercialización, así como la identificación de mercados potenciales e industrias consumidoras. Además, se debe evaluar la ubicación estratégica del yacimiento, la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Recuperación (PR). Se sugiere analizar la viabilidad de métodos de minado a cielo abierto o selectivos, según la geometría del cuerpo calizo, y definir la fragmentación óptima para mejorar la eficiencia del proceso. Finalmente, los resultados servirán como base para la elaboración de un estudio de prefactibilidad minera (PFS) que respalde el aprovechamiento del potencial calizo de la Formación Cajamarca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ajhuacho, I. C. 2009. Diagnóstico ambiental de las industrias de producción de cal en el municipio de Sucre: en respuesta al Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero (RASIM). Informe técnico. La Paz, Bolivia. Universidad Católica Boliviana. Disponible en: <http://www.bibvirtual.ucb.edu.bo:8000/opac/Record/100024965>
- Alonso, A. M. 2013. La Petrología Sedimentaria: Desde Sorby a la globalización de la Geología Sedimentaria. Documento técnico. Madrid, España. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/88424/1/406346.pdf>
- Avelino, J. C. 2021. Evaluación de las calizas para el diseño de la planta de calcinación en la concesión Calquipa. Tesis profesional. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, Perú. Disponible en: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2259/1/T026_72737197_T.pdf
- Bieniawski, Z. T. 1973. Engineering classification of jointed rock masses. Transactions of the South African Institution of Civil Engineers, Vol. 15(12). Sudáfrica: South African Institution of Civil Engineers. Disponible en: <https://www.centrogeotecnico.com/blog-geotecnia-geomecanica/clasificacion-geomecanica-de-macizos-rocosos-rmr-bieniawski-q-barton-y-gsi-hoek-comparacion-limitaciones-y-aplicaciones.html>
- Blas, A. B.; Damián, E. T. 2021. Evaluación geológica para el cálculo de reservas y estimación de recursos minerales del prospecto minero Calmar. Tesis profesional. Universidad Continental, Huancayo, Perú. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11537/5/IV_FI_N_110_TE_Blas_Damian_2021.pdf
- Boggs, S. 2009. Petrology of Sedimentary Rocks. Segunda edición. Cambridge University Press, Nueva York, Estados Unidos. Disponible en: [https://www.kufunda.net/publicdocs/Petrology%20of%20Sedimentary%20Rocks,%20Second%20Edition\(sedimentaryrocks.blogfa.com,mojtaba%20medinia\).pdf](https://www.kufunda.net/publicdocs/Petrology%20of%20Sedimentary%20Rocks,%20Second%20Edition(sedimentaryrocks.blogfa.com,mojtaba%20medinia).pdf)
- Bustillo, M.; López, C. 1997. Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras. Publicación técnica. Madrid, España. Disponible en: <https://geofield.blogspot.com/2019/06/manual-de-evaluacion-y-diseno-de.html>

- Carvajal, J. H. 2011. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Documento técnico. INGEOMINAS, Bogotá, Colombia. Disponible en: [https://recordcenter.sgc.gov.co/B23/662_19MemExPl_373_Las_Acacias/Documento/pdf/Anexo1_InveRecoBibl/Carvajal%20\(2011\).%20Propuesta%20Estandarizacion%20Geomorfologica.pdf](https://recordcenter.sgc.gov.co/B23/662_19MemExPl_373_Las_Acacias/Documento/pdf/Anexo1_InveRecoBibl/Carvajal%20(2011).%20Propuesta%20Estandarizacion%20Geomorfologica.pdf)
- Castillo, V. G.; Chunque, J. C. 2017. Evaluación de calidad de las calizas con fines industriales en la concesión minera Tres Pirámides, distrito de Magdalena – Cajamarca 2016. Tesis profesional. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPN_d90f1d2027e6890625090e1ab7690911
- Chinchón, S. 2013. Cales para construcción. Informe técnico. Universidad de Alicante, España. Disponible en: <https://personal.ua.es/es/servando-chinchon/documentos/-gestadm/material-docente/18-cales-para-la-construcion.pdf>
- Chirif, H. 2009. Historia de las Calizas. Publicación técnica. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Lima, Perú. Disponible en: <https://www.calameo.com/read/000820129b8fa61cce7f7>
- Fernández, G. 2013. Métodos de cubicación. Documento técnico. Universidad de Cantabria, Cantabria, España. Disponible en: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2894/course/section/2813/3.1%20EVALUACION%20DE%20YACIMIENTOS%20MINERALES.pdf>
- Ferrer, M.; González de Vallejo, L. 2002. Ingeniería Geológica. Texto académico. Pearson Educación, Madrid, España. Disponible en: https://www.academia.edu/106122656/Ingenieria_Geologica_Gonzalez_de_Vallejo?uc-sb-sw=9891016
- Folk, R. 2002. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, Estados Unidos. Disponible en: <https://core.ecu.edu/rigsbyc/rigsby/sedimentology/entirefolkpdf.pdf>
- Freas, R.; Hayden, J.; Pryor, C. 2006. Limestone and dolomite. En: Kogel, J.; Trivedi, N.; Barker, J.; Krukowski, S. (eds.). Industrial minerals and rocks: commodities, markets, and uses. Séptima edición. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Colorado, Estados Unidos, pp. 581–597. Disponible en: <https://archive.org/details/industrial-minerals-rocks-commodities-markets-and-uses-pdfdrive/page/581/mode/2up>
- González, E. J. 2021. Cálculo de Reservas para la Extracción de Calizas de la Formación Cajamarca, entre las Localidades de Colqueteña y Otuzco. Tesis de grado. Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/85800/Gonzales_CEJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Hernán R. 2005. Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de Caliza en la Región Metropolitana. Tesis de pregrado. Universidad de Chile. Santiago de Chile. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111195/tesis%20caliza.pdf?sequence=1>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). 2020. Estudio de recursos de rocas y minerales industriales para la inclusión económica social y desarrollo en la región Cajamarca. Boletín Serie B: Geología Económica N° 68. Lima, Perú. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2800>
- ISRM (International Society for Rock Mechanics). 2007. Métodos completos sugeridos por el ISRM para la caracterización, el análisis y el monitoreo de rocas: 1974–2006. Eds. J. Hudson y R. Ulusay. ISRM Grupo Nacional Turco e ISRM. Disponible en: <https://isrm.net/isrm/page/show/935>
- JORC (Joint Ore Reserves Committee). 2012. Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia. Disponible en: https://www.jorc.org/docs/JORC_Code_2012_Spanish_translation_March_2018.pdf
- Lokier S., Al Junaibi M. 2016. The petrographic description of carbonate facies: are we all speaking the same language? International Association of Sedimentologists. Zakum Development Company, Abu Dhabi. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/sed.12293>
- Lorenz W., Gwosdz W. 2005. Manual para la evaluación geológica-técnica de recursos minerales de construcción. Schweizerbart Science Publishers. Stuttgart, Alemania. Disponible en: http://www.schweizerbart.de/publications/detail/artno/188080917/CD_zu\Sonderheft_SH_17_Manual_para_la_e
- Martín J. M. 2007. Sedimentología. Universidad de Granada. Granada, España. Disponible en: <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/63648/Tema%207.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
- Maurice T. 2003. Petrología Sedimentaria. 3^a edición. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. Disponible en: https://personales.upv.es/lalonso/Traducciones/PETROLOG%C3%8DA_SEDIMIENTARIA.pdf
- Mitchell C. 2011. High purity limestone quest. Industrial Minerals. pp. 48–51. Disponible en: https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/15887/1/Reconnaissance_assessment_of_high-purity_limestone_plus_references.pdf
- Montijo A., Cuen F. 2019. Clasificación de rocas carbonatadas y descripción de láminas delgadas. Universidad de Sonora. Sonora, México. Disponible en:

<http://marina.geologia.uson.mx/academicos/amontijo/clasificacionderocascarbonatadas.pdf>

Muñoz Reinoso C. R. 2015. Evaluación de reservas y diseño del sistema de explotación del área minera Mary Elena, código 102317. Tesis de grado. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5652/1/T-UCE-0012-328.pdf>

Museo Comarcal de Daimiel. 2013. II Jornadas de Historia de Daimiel. Ayuntamiento de Daimiel. Daimiel, España.

Ortiz Ortiz S. E. 2016. Estimación de reservas de caliza en el sector Chuwitayo–Chiguaza. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/5415>

Rodríguez Daza I. E. 2017. Cálculo de reservas del macizo rocoso Cantera Los Deseos en el municipio de San Juan del Cesar, La Guajira. Fundación Universitaria del Área Andina. San Juan del Cesar, Colombia. Disponible en: <https://digitk.areandina.edu.co/bitstream/handle/areandina/1027/C%C3%A1lculo%20de%20reservas%20del%20macizo%20rocoso%20cantera%20los%20deseos%20en%20el%20municipio%20de%20san%20Juan%20del%20Cesar%20-%20la%20Guajira.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rodríguez S. R. 2016. Método de investigación geológico-geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos, zona Ronquillo–Corisorgona, Cajamarca–Perú. Tesis de maestría. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/50e16a7d-f6e8-40a8-bb83-a704829a17c2/content>

Tapia Varela G., López Blanco J. 2001. Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfogenéticas a escala 1:100,000. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Vol. 1: 59–65. Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://rmcg.geociencias.unam.mx/index.php/rmcg/article/view/985>

Universidad de Alicante. 2020. Esquema de clasificación Dunham. Revista Científica. Alicante, España. Disponible en: <https://web.ua.es/es/epesedua/carbonaticas/clasificacion-de-rocas-carbonaticas.html>

Weather Spark. 2024. Clima promedio en Magdalena, Perú. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/19942/Clima-promedio-en-Magdalena-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Yépez V. 2019. Coeficiente de esponjamiento en movimiento de tierras. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/03/01/coeficiente-de-esponjamiento-en-movimiento-de-tierras/>

ANEXO 01. PANEL DE FIGURAS



Figura 32. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 1, extraída de las coordenadas N: 9202006/ E: 766718/ Cota: 3440m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.



Figura 33. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 2, extraída de las coordenadas N: 9202001/ E: 766597/ Cota: 3438m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.



Figura 34. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 3, extraída de las coordenadas N: 9202053/ E: 766412/ Cota: 3480m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.

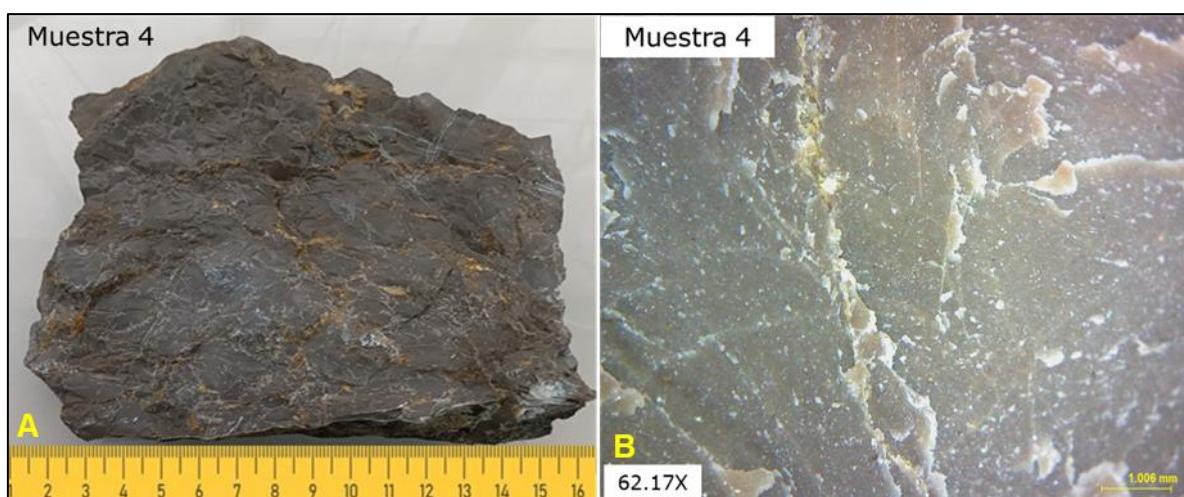


Figura 35. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 4, extraída de las coordenadas. N: 9202100/ E: 766377/ Cota: 3501m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.

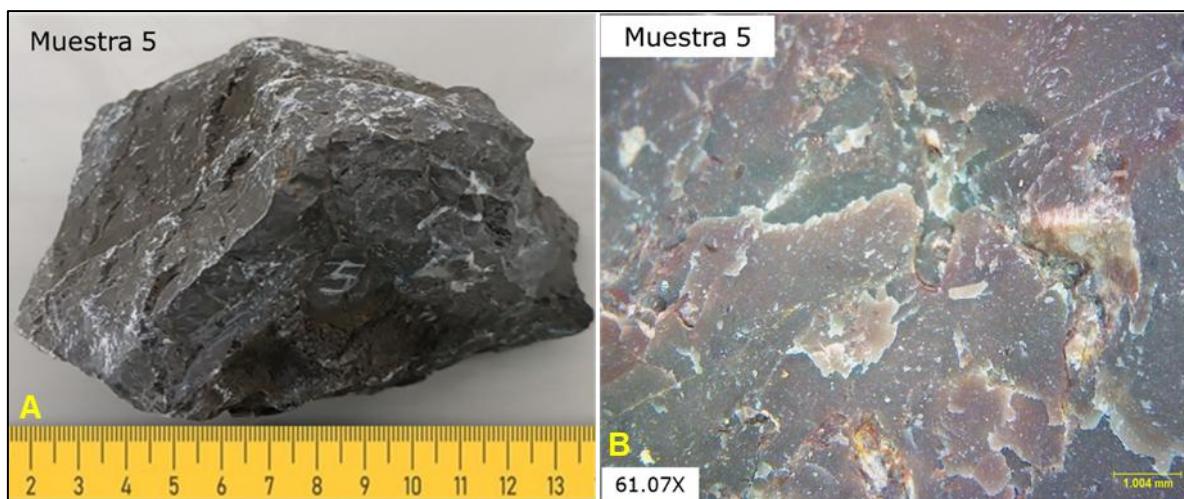


Figura 36. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 5, extraída de las coordenadas. N: 9202160/ E: 766132/ Cota: 3466m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.

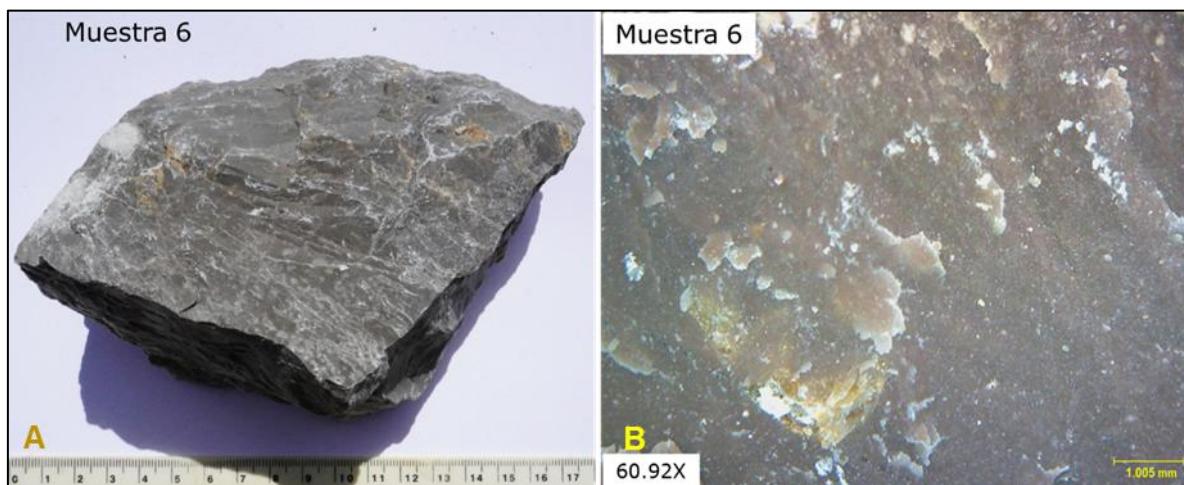


Figura 37. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 6, extraída de las coordenadas. N: 9202028/ E: 766090/ Cota: 3369m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.



Figura 38. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 7, extraída de las coordenadas. N: 9201992/ E: 766340/ Cota: 3426m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.



Figura 39. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 8, extraída de las coordenadas. N: 9202139/ E: 766554/ Cota: 3474m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.



Figura 40. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 9, extraída de las coordenadas. N: 9202289/ E: 766442/ Cota: 3519m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.

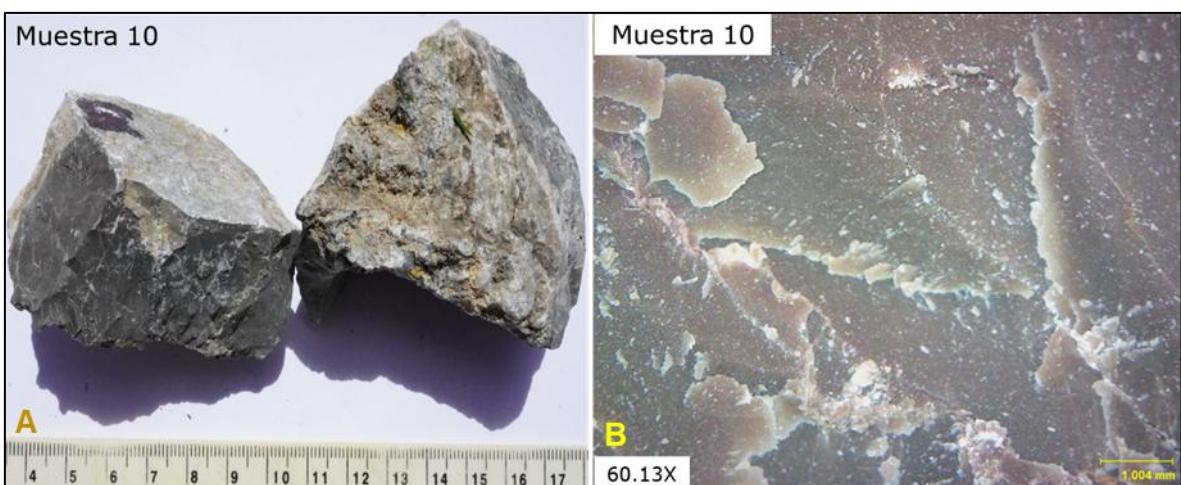


Figura 41. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 10, extraída de las coordenadas. N: 9202347/ E: 766544/ Cota: 3516m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.

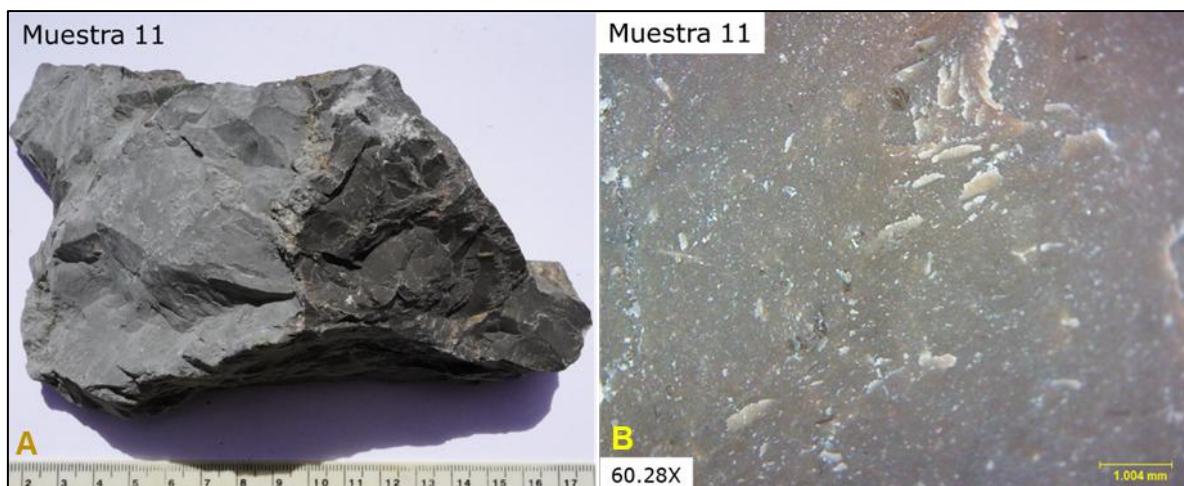


Figura 42. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 11, extraída de las coordenadas. N: 9202284/ E: 766328/ Cota: 3521m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.



Figura 43. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 12, extraída de las coordenadas. N: 9202309/ E: 766137/ Cota: 3499m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.

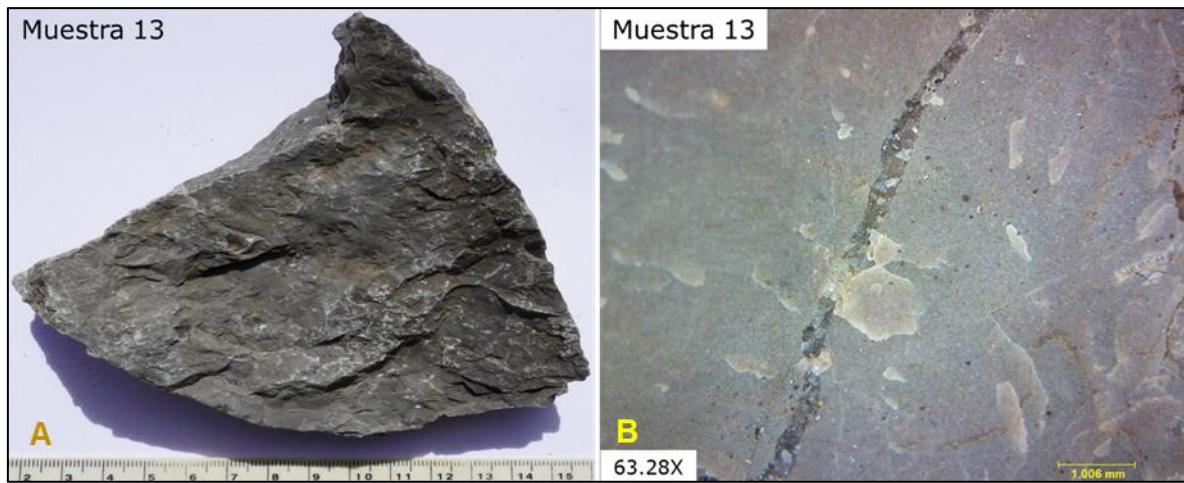


Figura 44. A: Vista macroscópica de la Muestra de campo número 12, extraída de las coordenadas. N: 9202376/ E: 766232/ Cota: 3531m.s.n.m. B: Imagen microscópica tomada con el dispositivo QSCOP.

**ANEXO 02. REPORTES DE ANÁLISIS DE CARBONATO DE CALCIO DE
LABORATORIO QUÍMICO**

1. Análisis Fisicoquímico de una muestra de Óxido de Calcio – M1.
2. Análisis Fisicoquímico de una muestra de Óxido de Calcio – M2.
3. Análisis Fisicoquímico de una muestra de Óxido de Calcio – M3.
4. Análisis Fisicoquímico de una muestra de Óxido de Calcio – M4.
5. Análisis Fisicoquímico de una muestra de Óxido de Calcio – M5.
6. Análisis Fisicoquímico de una muestra de Óxido de Calcio – M6.
7. Análisis Fisicoquímico de una muestra de Óxido de Calcio – M7.
8. Análisis Fisicoquímico de una muestra de Óxido de Calcio – M8.
9. Análisis Fisicoquímico de una muestra de Óxido de Calcio – M9.
10. Análisis Fisicoquímico de una muestra de Óxido de Calcio – M10.
11. Análisis Fisicoquímico de una muestra de Óxido de Calcio – M11.
12. Análisis Fisicoquímico de una muestra de Óxido de Calcio – M12.
13. Análisis Fisicoquímico de una muestra de Óxido de Calcio – M13.



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químico De Minerales y Agua.
Estudio De: Mecánica De Suelos Y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción De Edificios, Obras De Ingeniería Civil.
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA
RPM: *696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE ÓXIDO DE CALCIO (CAL VIVA)

SOLICITA : MARLYN VÁSQUEZ DÍAZ
PROCEDENCIA : Cumbico - Cajamarca
MUESTRA : M1
FECHA : 15/5/2024

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADO (%)
Óxido de Calcio CaO	95.5
Óxido Férrico Fe ₂ O ₃	0.078
Óxido de Magnesio	0.545
Óxido de Silicio SiO ₂	0.94
Óxido de Aluminio Al ₂ O ₃	0.63
Impurezas de Carbón	0
Insolubles	0.16

NOTA: La muestra fue alcanzada a este laboratorio por el interesado, al que luego se procedió a hacer análisis respectivo.

Ing. MSc. Hugo Masqueira Estrover
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27684



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químico De Minerales y Agua.
Estudio De: Mecánica De Suelos Y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción De Edificios, Obras De Ingeniería Civil.
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA
RPM: *696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE ÓXIDO DE CALCIO (CAL VIVA)

SOLICITA : MARLYN VÁSQUEZ DÍAZ
PROCEDENCIA : Cumbico - Cajamarca
MUESTRA : M2
FECHA : 15/5/2024

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADO (%)
Óxido de Calcio CaO	94.3
Óxido Férrico Fe ₂ O ₃	0.023
Óxido de Magnesio	0.45
Óxido de Silicio SiO ₂	0.85
Óxido de Aluminio Al ₂ O ₃	0.59
Impurezas de Carbón	0
Insolubles	0.18

NOTA: La muestra fue alcanzada a este laboratorio por el interesado, al que luego se procedió a hacer análisis respectivo.

Inq. MSc. Hugo Macqueira Estrada
JEFF DE LABORATORIO
CIP 27664



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químico De Minerales y Agua.
Estudio De: Mecánica De Suelos Y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción De Edificios, Obras De Ingeniería Civil.
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA
RPM: *696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE ÓXIDO DE CALCIO (CAL VIVA)

SOLICITA : MARLYN VÁSQUEZ DÍAZ
PROCEDENCIA : Cumbico - Cajamarca
MUESTRA : M3
FECHA : 15/5/2024

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADO (%)
Óxido de Calcio CaO	93.1
Óxido Férrico Fe ₂ O ₃	0.019
Óxido de Magnesio	0.35
Óxido de Silicio SiO ₂	0.82
Óxido de Aluminio Al ₂ O ₃	0.56
Impurezas de Carbón	0
Insolubles	0.21

NOTA: La muestra fue alcanzada a este laboratorio por el interesado, al que luego se procedió a hacer análisis respectivo.

Inq. MSc. Hugo Marqueira Estrada
JEFF DE LABORATORIO
CIP 27664



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químico De Minerales y Agua.
Estudio De: Mecánica De Suelos Y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción De Edificios, Obras De Ingeniería Civil.
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA
RPM: *696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE ÓXIDO DE CALCIO (CAL VIVA)

SOLICITA : MARLYN VÁSQUEZ DÍAZ
PROCEDENCIA : Cumbico - Cajamarca
MUESTRA : M4
FECHA : 15/5/2024

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADO (%)
Óxido de Calcio CaO	93.6
Óxido Férrico Fe ₂ O ₃	0.02
Óxido de Magnesio	0.38
Óxido de Silicio SiO ₂	0.91
Óxido de Aluminio Al ₂ O ₃	0.59
Impurezas de Carbón	0
Insolubles	0.15

NOTA: La muestra fue alcanzada a este laboratorio por el interesado, al que luego se procedió a hacer análisis respectivo.

Ing. MSc. Hugo Mosquera Estrada
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27684



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químico De Minerales y Agua.
Estudio De: Mecánica De Suelos Y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción De Edificios, Obras De Ingeniería Civil.
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA
RPM: *696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE ÓXIDO DE CALCIO (CAL VIVA)

SOLICITA : MARLYN VÁSQUEZ DÍAZ
PROCEDENCIA : Cumbico - Cajamarca
MUESTRA : M5
FECHA : 15/5/2024

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADO (%)
Óxido de Calcio CaO	92.4
Óxido Férrico Fe ₂ O ₃	0.016
Óxido de Magnesio	0.32
Óxido de Silicio SiO ₂	0.75
Óxido de Aluminio Al ₂ O ₃	0.51
Impurezas de Carbón	0
Insolubles	0.12

NOTA: La muestra fue alcanzada a este laboratorio por el interesado, al que luego se procedió a hacer análisis respectivo.

Ing. MSc. Hugo Mosquera Estrada
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27684



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químico De Minerales y Agua.
Estudio De: Mecánica De Suelos Y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción De Edificios, Obras De Ingeniería Civil.
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA
RPM: *696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE ÓXIDO DE CALCIO (CAL VIVA)

SOLICITA : MARLYN VÁSQUEZ DÍAZ
PROCEDENCIA : Cumbico - Cajamarca
MUESTRA : M6
FECHA : 15/5/2024

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADO (%)
Óxido de Calcio CaO	94.7
Óxido Férrico Fe ₂ O ₃	0.088
Óxido de Magnesio	0.55
Óxido de Silicio SiO ₂	0.97
Óxido de Aluminio Al ₂ O ₃	0.65
Impurezas de Carbón	0
Insolubles	0.17

NOTA: La muestra fue alcanzada a este laboratorio por el interesado, al que luego se procedió a hacer análisis respectivo.

Ing. MSc. Hugo Masqueira Estrover
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27684



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químico De Minerales y Agua.
Estudio De: Mecánica De Suelos Y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción De Edificios, Obras De Ingeniería Civil.
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA
RPM: *696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE ÓXIDO DE CALCIO (CAL VIVA)

SOLICITA : MARLYN VÁSQUEZ DÍAZ
PROCEDENCIA : Cumbico - Cajamarca
MUESTRA : M7
FECHA : 15/5/2024

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADO (%)
Óxido de Calcio CaO	95.1
Óxido Férrico Fe ₂ O ₃	0.043
Óxido de Magnesio	0.46
Óxido de Silicio SiO ₂	0.92
Óxido de Aluminio Al ₂ O ₃	0.63
Impurezas de Carbón	0
Insolubles	0.2

NOTA: La muestra fue alcanzada a este laboratorio por el interesado, al que luego se procedió a hacer análisis respectivo.

Ing. MSc. Hugo Masqueira Estrover
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27684



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químico De Minerales y Agua.
Estudio De: Mecánica De Suelos Y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción De Edificios, Obras De Ingeniería Civil.
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA
RPM: *696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE ÓXIDO DE CALCIO (CAL VIVA)

SOLICITA : MARLYN VÁSQUEZ DÍAZ
PROCEDENCIA : Cumbico - Cajamarca
MUESTRA : M8
FECHA : 15/5/2024

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADO (%)
Óxido de Calcio CaO	91.8
Óxido Férrico Fe ₂ O ₃	0.049
Óxido de Magnesio	0.365
Óxido de Silicio SiO ₂	0.91
Óxido de Aluminio Al ₂ O ₃	0.62
Impurezas de Carbón	0
Insolubles	0.24

NOTA: La muestra fue alcanzada a este laboratorio por el interesado, al que luego se procedió a hacer análisis respectivo.

Ing. MSc. Hugo Masqueira Estrover
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27684



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químico De Minerales y Agua.
Estudio De: Mecánica De Suelos Y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción De Edificios, Obras De Ingeniería Civil.
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA
RPM: *696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE ÓXIDO DE CALCIO (CAL VIVA)

SOLICITA : MARLYN VÁSQUEZ DÍAZ
PROCEDENCIA : Cumbico - Cajamarca
MUESTRA : M9
FECHA : 15/5/2024

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADO (%)
Óxido de Calcio CaO	91.2
Óxido Férrico Fe ₂ O ₃	0.025
Óxido de Magnesio	0.4
Óxido de Silicio SiO ₂	0.98
Óxido de Aluminio Al ₂ O ₃	0.67
Impurezas de Carbón	0
Insolubles	0.19

NOTA: La muestra fue alcanzada a este laboratorio por el interesado, al que luego se procedió a hacer análisis respectivo.

Ing. MSc. Hugo Masqueira Estrover
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27684



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químico De Minerales y Agua.
Estudio De: Mecánica De Suelos Y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción De Edificios, Obras De Ingeniería Civil.
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA
RPM: *696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE ÓXIDO DE CALCIO (CAL VIVA)

SOLICITA : MARLYN VÁSQUEZ DÍAZ
PROCEDENCIA : Cumbico - Cajamarca
MUESTRA : M10
FECHA : 15/5/2024

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADO (%)
Óxido de Calcio CaO	95.4
Óxido Férrico Fe ₂ O ₃	0.026
Óxido de Magnesio	0.345
Óxido de Silicio SiO ₂	0.9
Óxido de Aluminio Al ₂ O ₃	0.61
Impurezas de Carbón	0
Insolubles	0.17

NOTA: La muestra fue alcanzada a este laboratorio por el interesado, al que luego se procedió a hacer análisis respectivo.

Ing. MSc. Hugo Masqueira Estrover
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27684



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químico De Minerales y Agua.
Estudio De: Mecánica De Suelos Y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción De Edificios, Obras De Ingeniería Civil.
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA
RPM: *696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE ÓXIDO DE CALCIO (CAL VIVA)

SOLICITA : MARLYN VÁSQUEZ DÍAZ
PROCEDENCIA : Cumbico - Cajamarca
MUESTRA : M11
FECHA : 15/5/2024

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADO (%)
Óxido de Calcio CaO	90.7
Óxido Férrico Fe ₂ O ₃	0.103
Óxido de Magnesio	0.35
Óxido de Silicio SiO ₂	0.93
Óxido de Aluminio Al ₂ O ₃	0.76
Impurezas de Carbón	0
Insolubles	0.18

NOTA: La muestra fue alcanzada a este laboratorio por el interesado, al que luego se procedió a hacer análisis respectivo.

Ing. MSc. Hugo Masqueira Estrover
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27684



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químico De Minerales y Agua.
Estudio De: Mecánica De Suelos Y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción De Edificios, Obras De Ingeniería Civil.
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA
RPM: *696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE ÓXIDO DE CALCIO (CAL VIVA)

SOLICITA : MARLYN VÁSQUEZ DÍAZ
PROCEDENCIA : Cumbico - Cajamarca
MUESTRA : M12
FECHA : 15/5/2024

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADO (%)
Óxido de Calcio CaO	92.3
Óxido Férrico Fe ₂ O ₃	0.063
Óxido de Magnesio	0.355
Óxido de Silicio SiO ₂	0.96
Óxido de Aluminio Al ₂ O ₃	0.75
Impurezas de Carbón	0
Insolubles	0.19

NOTA: La muestra fue alcanzada a este laboratorio por el interesado, al que luego se procedió a hacer análisis respectivo.

Ing. MSc. Hugo Masqueira Estrover
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27684



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químico De Minerales y Agua.
Estudio De: Mecánica De Suelos Y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción De Edificios, Obras De Ingeniería Civil.
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA
RPM: *696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE ÓXIDO DE CALCIO (CAL VIVA)

SOLICITA : MARLYN VÁSQUEZ DÍAZ
PROCEDENCIA : Cumbico - Cajamarca
MUESTRA : M13
FECHA : 15/5/2024

I. ANÁLISIS QUÍMICO

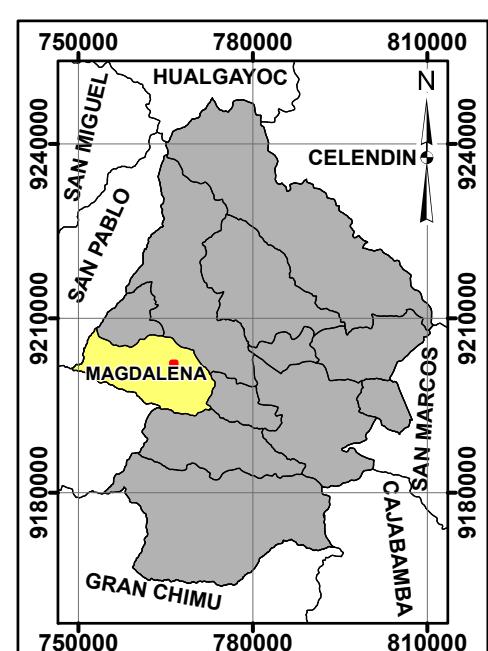
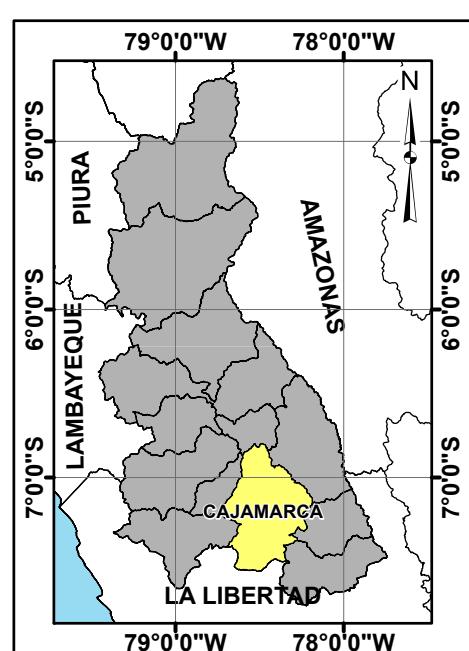
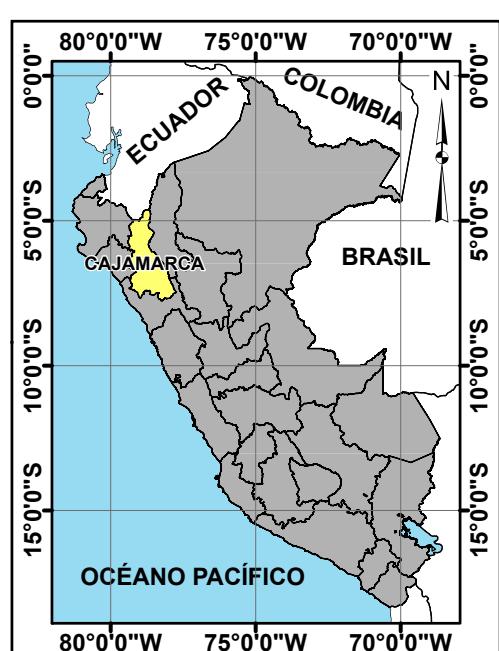
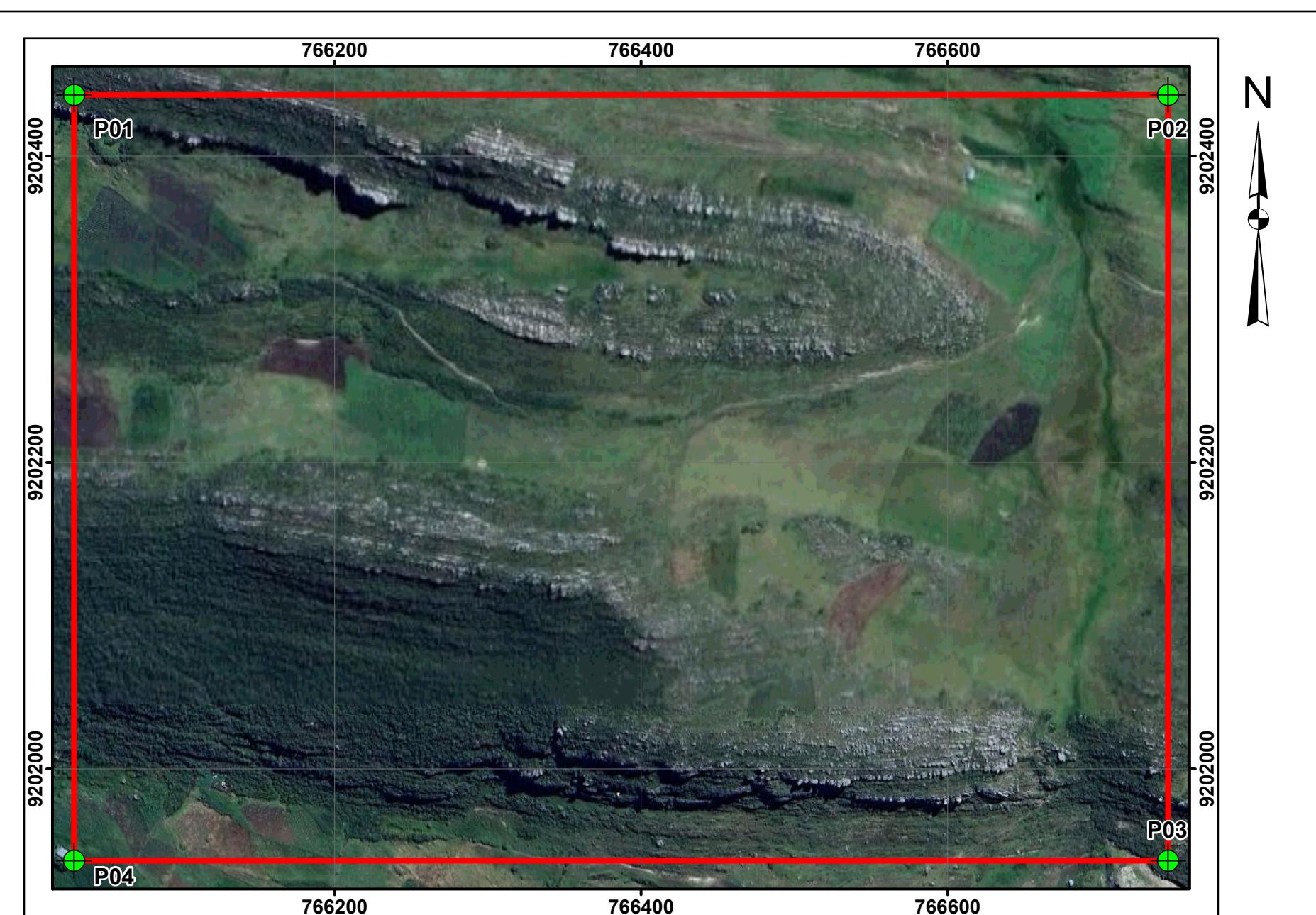
DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADO (%)
Óxido de Calcio CaO	90.2
Óxido Férrico Fe ₂ O ₃	0.074
Óxido de Magnesio	0.405
Óxido de Silicio SiO ₂	0.99
Óxido de Aluminio Al ₂ O ₃	0.71
Impurezas de Carbón	0
Insolubles	0.2

NOTA: La muestra fue alcanzada a este laboratorio por el interesado, al que luego se procedió a hacer análisis respectivo.

Ing. MSc. Hugo Masqueira Estrover
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27684

ANEXO 03. PLANO TEMÁTICOS

- 1. P-01: PLANO DE UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.**
- 2. P-02: PLANO GEOLOGICO**
- 3. P-03: PLANO GEOMORFOLOGICO.**
- 4. P-04: PLANO DE MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES.**

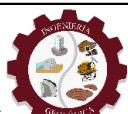


Sistema de Coordenadas:
WGS 84 / UTM Zona 17S
Datum: World Geodetic System 1984
EPSG: 32717

0 75 150 300 M

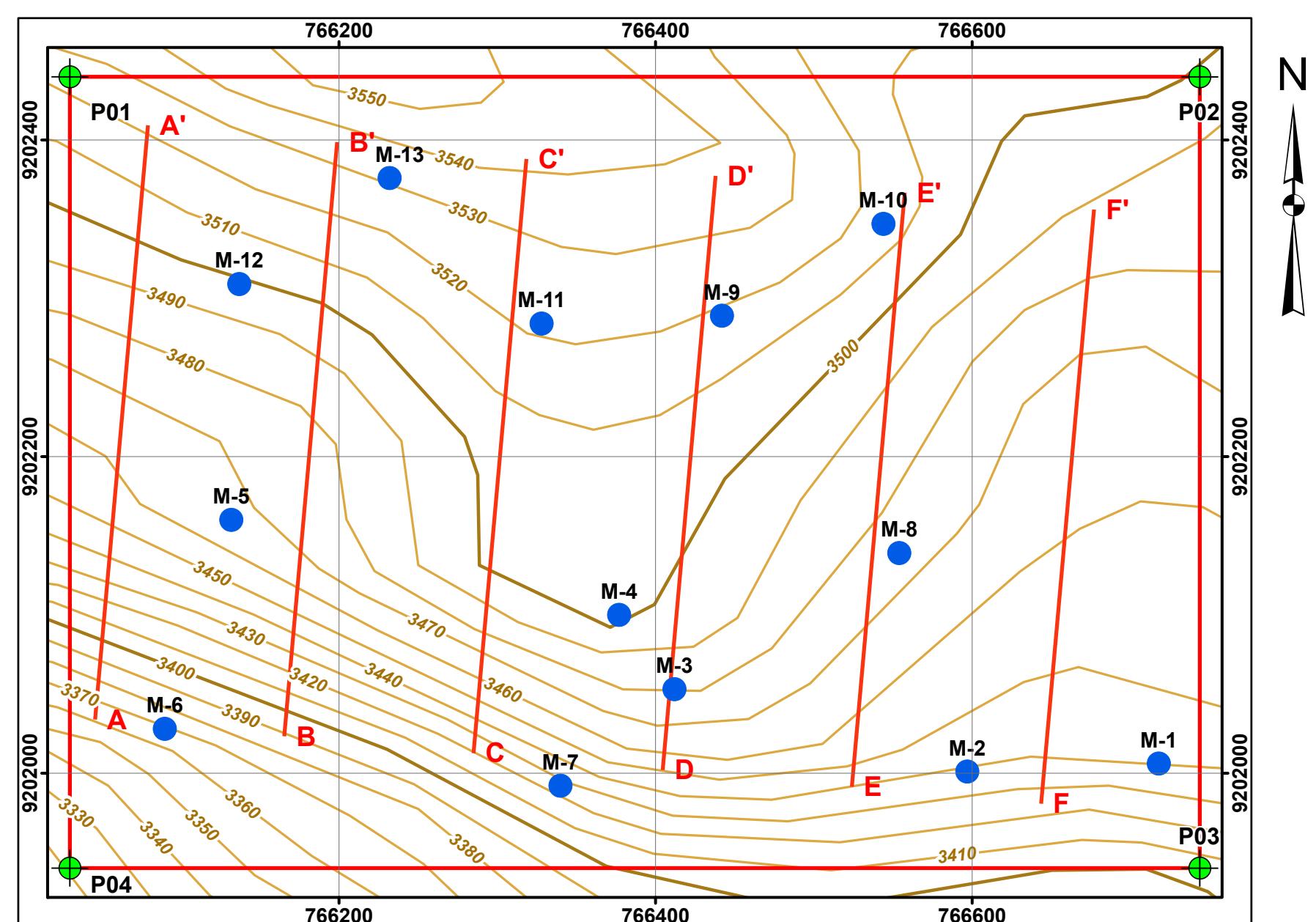


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



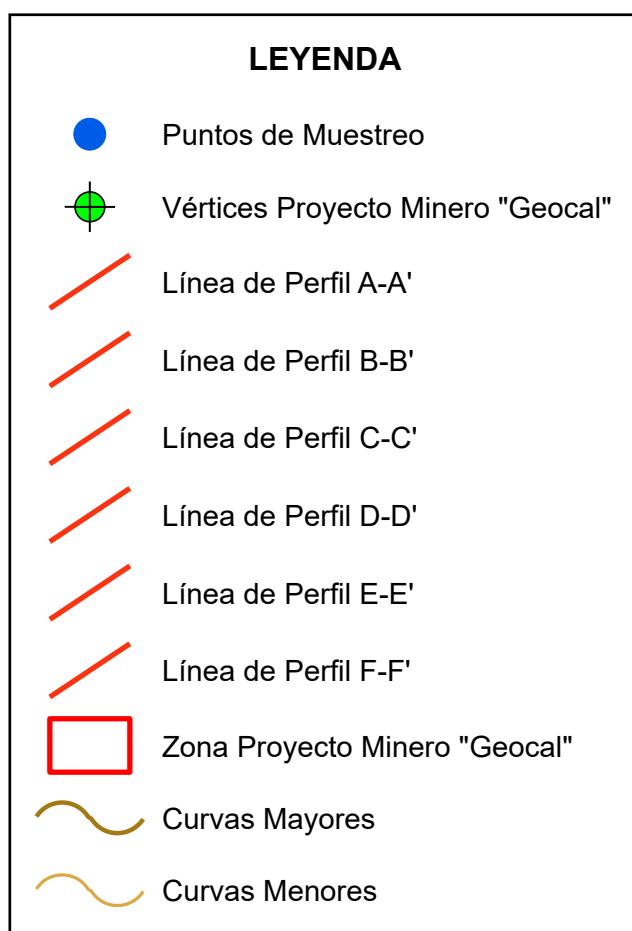
TESIS PROFESIONAL:
CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LA CALERA "GEOCAL", CENTRO POBLADO CUMBICO
PLANO: UBICACIÓN DEL PROYECTO MINERO "GEOCAL"
TESISTA: Bach. MARLYN YUDITH VÁSQUEZ DÍAZ
ASESOR: M.Cs. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA
SISTEMA: UTM-WGS84 | **ESCALA:** 1/3 500 | **FECHA:** Octubre 2025

P-01



Sistema de Coordenadas:
WGS 84 / UTM Zona 17S
Datum: World Geodetic System 1984
EPSG: 32717

0 75 150 300
M



PUNTOS DE MUESTREO DEL PROYECTO MINERO "GEOCAL"

Punto	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)
M-1	766718	9202006	3440
M-2	766597	9202001	3438
M-3	766412	9202053	3480
M-4	766377	9202100	3501
M-5	766132	9202160	3466
M-6	766090	9202028	3369
M-7	766340	9201992	3426
M-8	766554	9202139	3474
M-9	766442	9202289	3519
M-10	766544	9202347	3516
M-11	766328	9202284	3521
M-12	766137	9202309	3499
M-13	766232	9202376	3531

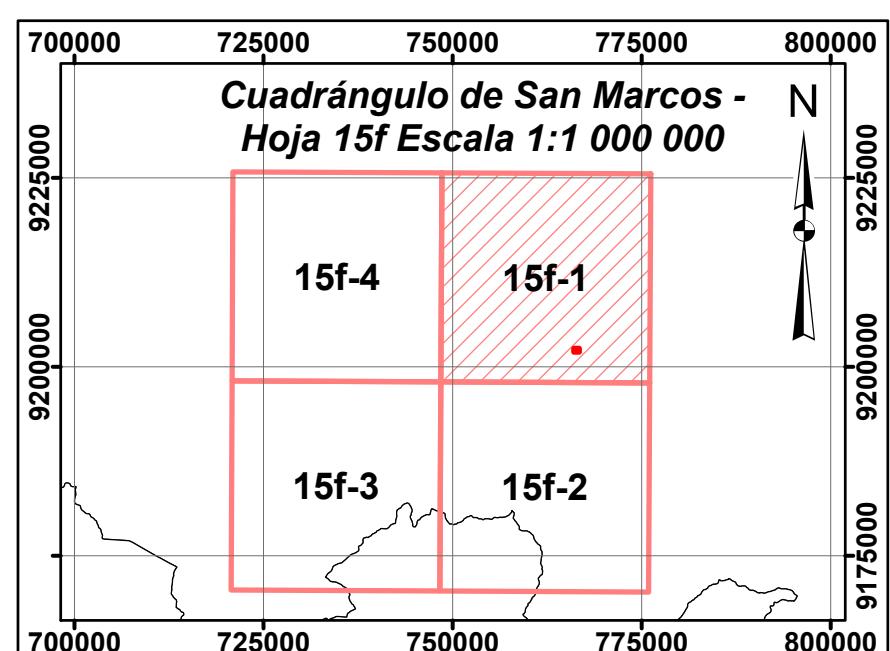
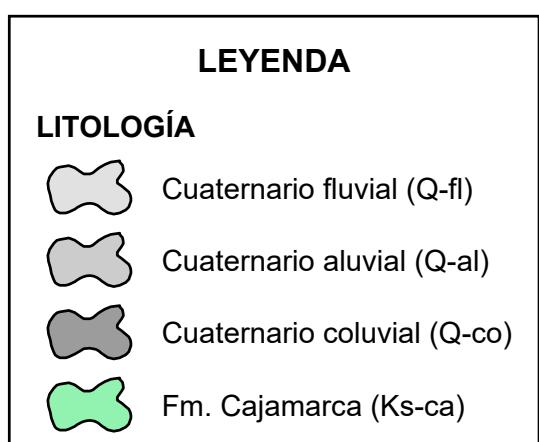
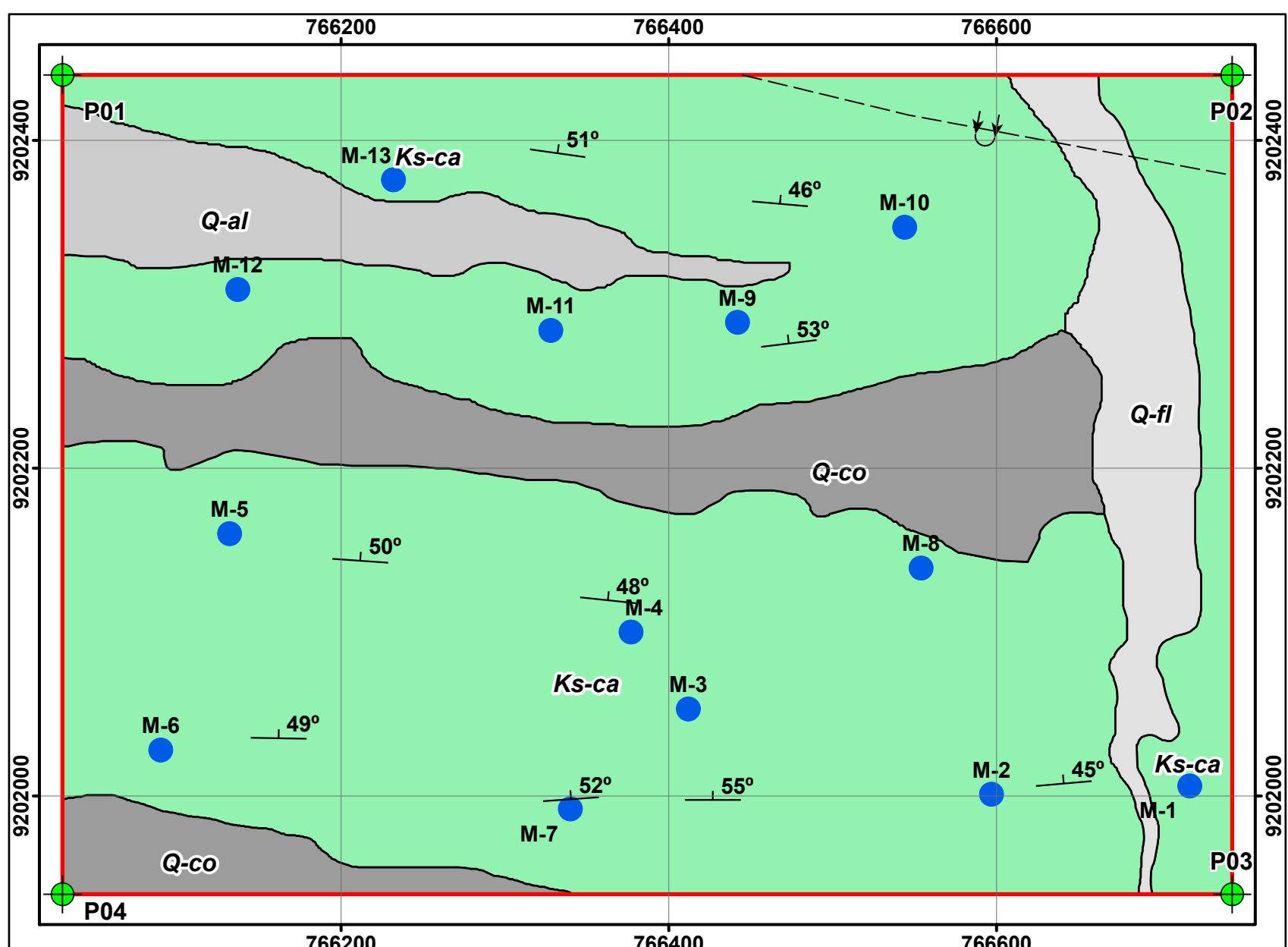


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
GEOLÓGICA



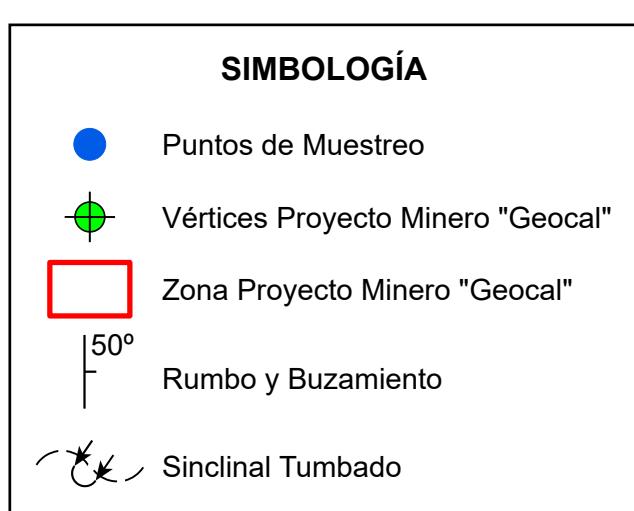
TESIS PROFESIONAL:
CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LA CALERA "GEOCAL", CENTRO POBLADO CUMBICO
PLANO: MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES DEL PROYECTO MINERO "GEOCAL"
TESISTA: Bach. MARLYN YUDITH VÁSQUEZ DÍAZ
ASESOR: M.Cs. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA
SISTEMA: UTM-WGS84 | ESCALA: 1/3 500 | FECHA: Octubre 2025

P-04



Sistema de Coordenadas:
WGS 84 / UTM Zona 17S
Datum: World Geodetic System 1984
EPSG: 32717

0 75 150 300 M



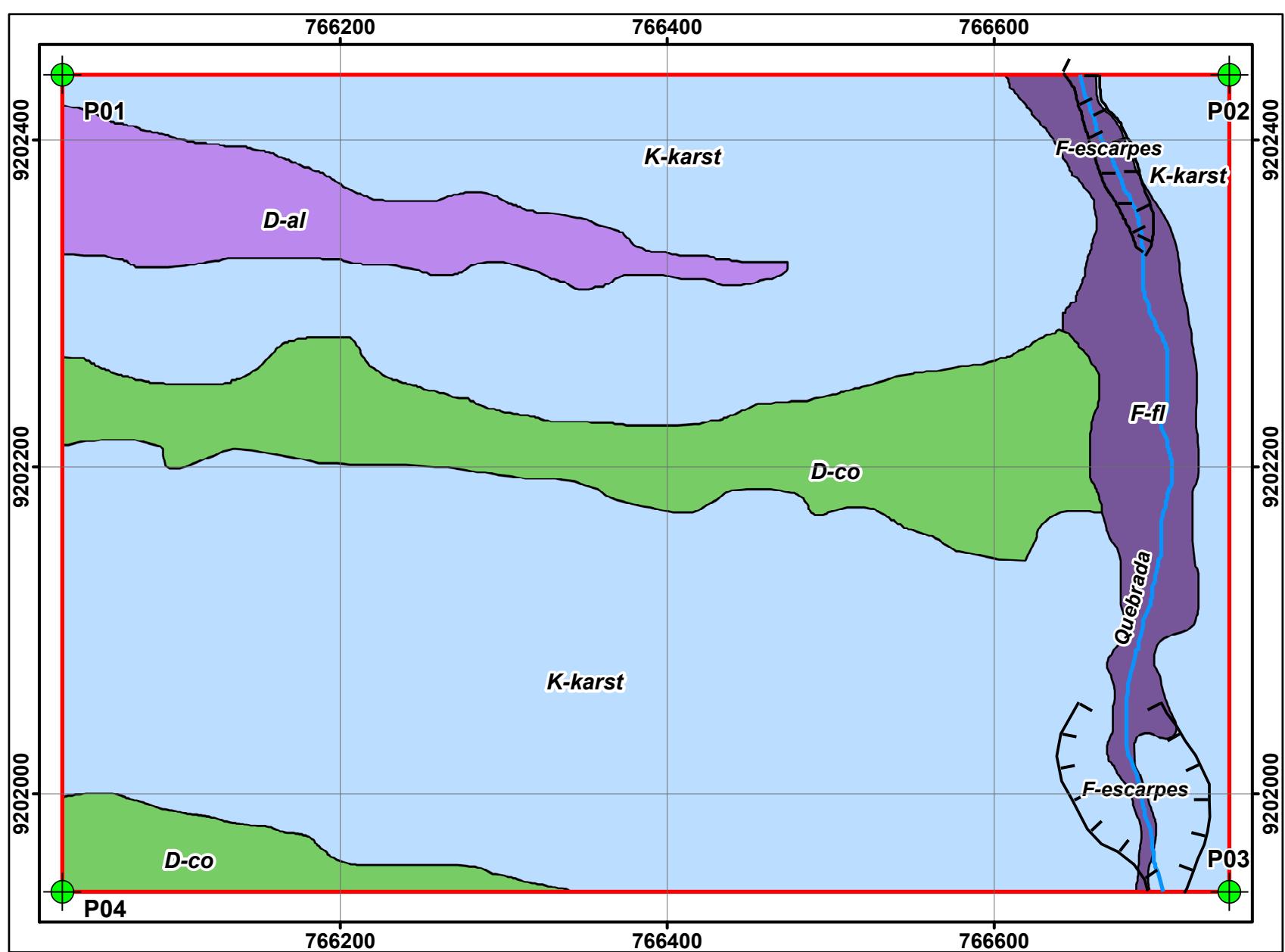
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS PROFESIONAL:
CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA
EXPLOTACIÓN DE LA CALERA "GEOCAL", CENTRO POBLADO CUMBICO

PLANO:	GEOLOGÍA DEL PROYECTO MINERO "GEOCAL"
TESISTA:	Bach. MARLYN YUDITH VÁSQUEZ DÍAZ
ASESOR:	M.Cs. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA
SISTEMA:	UTM-WGS84
ESCALA:	1/3 500
FECHA:	Octubre 2025

P-02



COMPONENTES MORFOGENÉTICOS

- Quebrada
- Depósito Fluvial (D-fl)
- Depósito Coluvial (D-co)
- Depósito Aluvial (D-al)
- Ambiente Kárstico (K-karst)
- Escarpe (F-Escarpe)

Sistema de Coordenadas:
WGS 84 / UTM Zona 17S
Datum: World Geodetic System 1984
EPSG: 32717



LEYENDA

- Vértices Proyecto Minero "Geocal"
- Zona Proyecto Minero "Geocal"



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

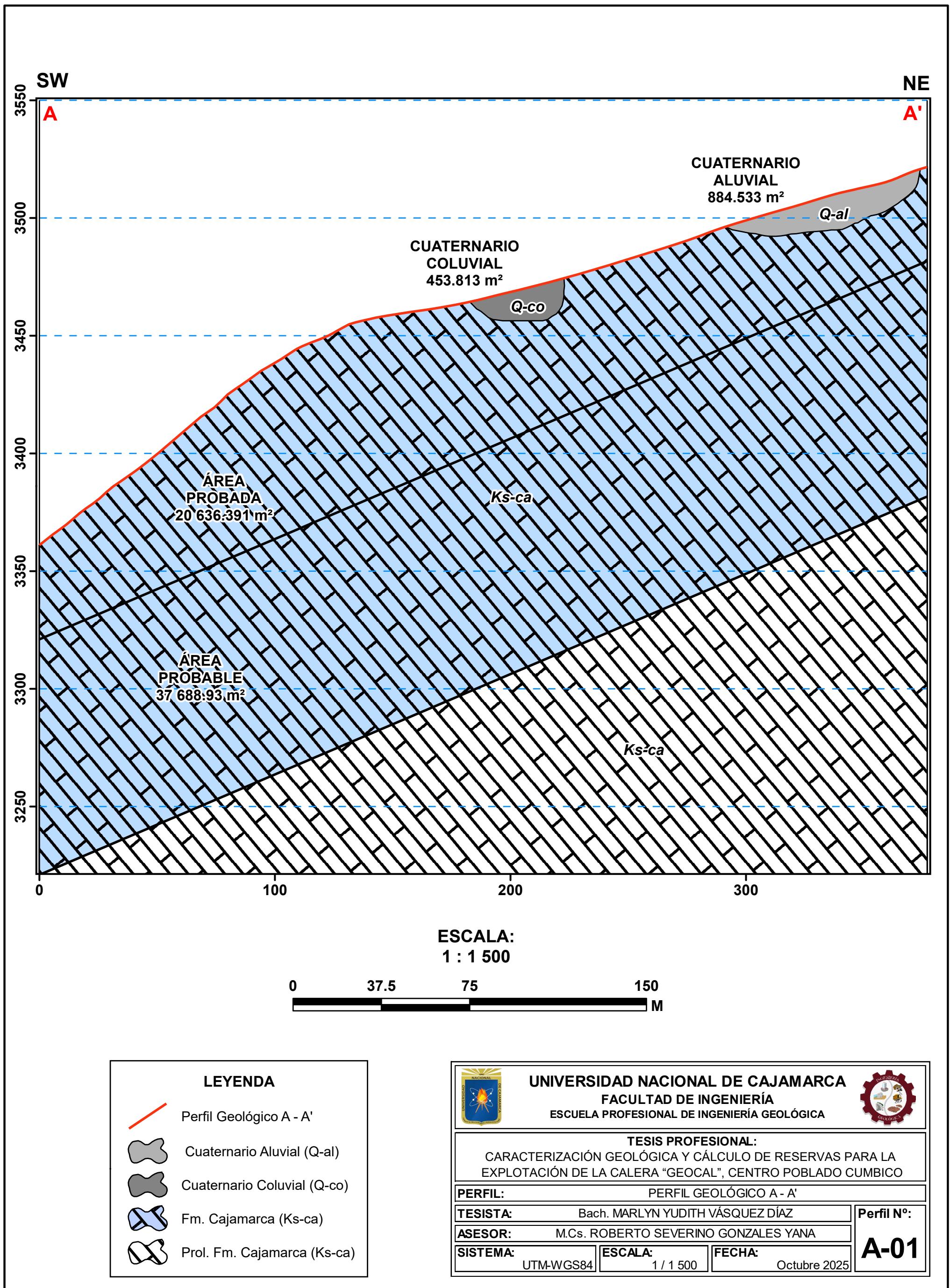


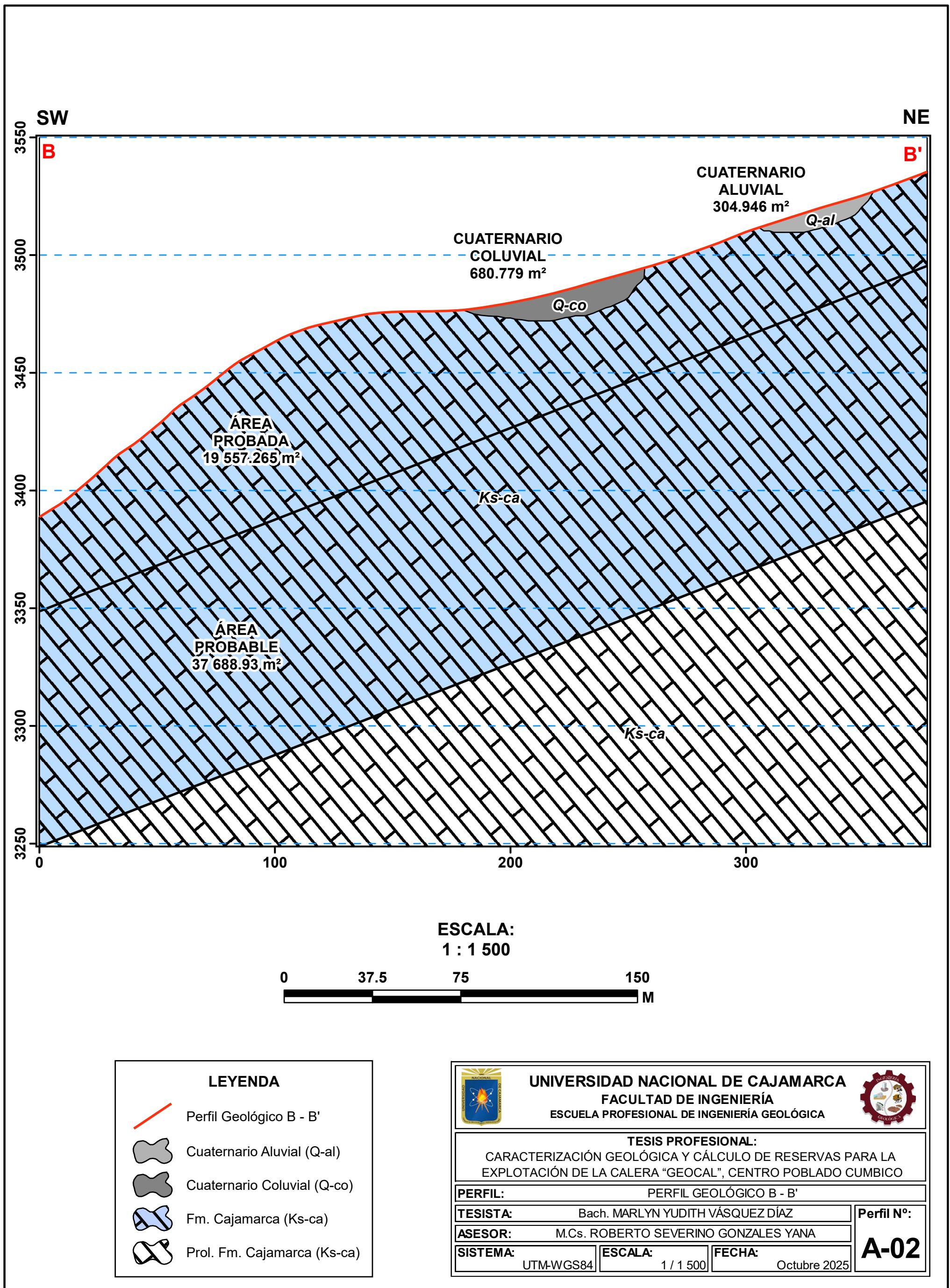
TESIS PROFESIONAL:	
CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LA CALERA "GEOCAL", CENTRO POBLADO CUMBICO	
PLANO:	GEOMORFOLOGÍA DEL PROYECTO MINERO "GEOCAL"
TESISTA:	Bach. MARLYN YUDITH VÁSQUEZ DÍAZ
ASESOR:	M.Cs. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA
SISTEMA:	UTM-WGS84
ESCALA:	1/3 500
FECHA:	Octubre 2025

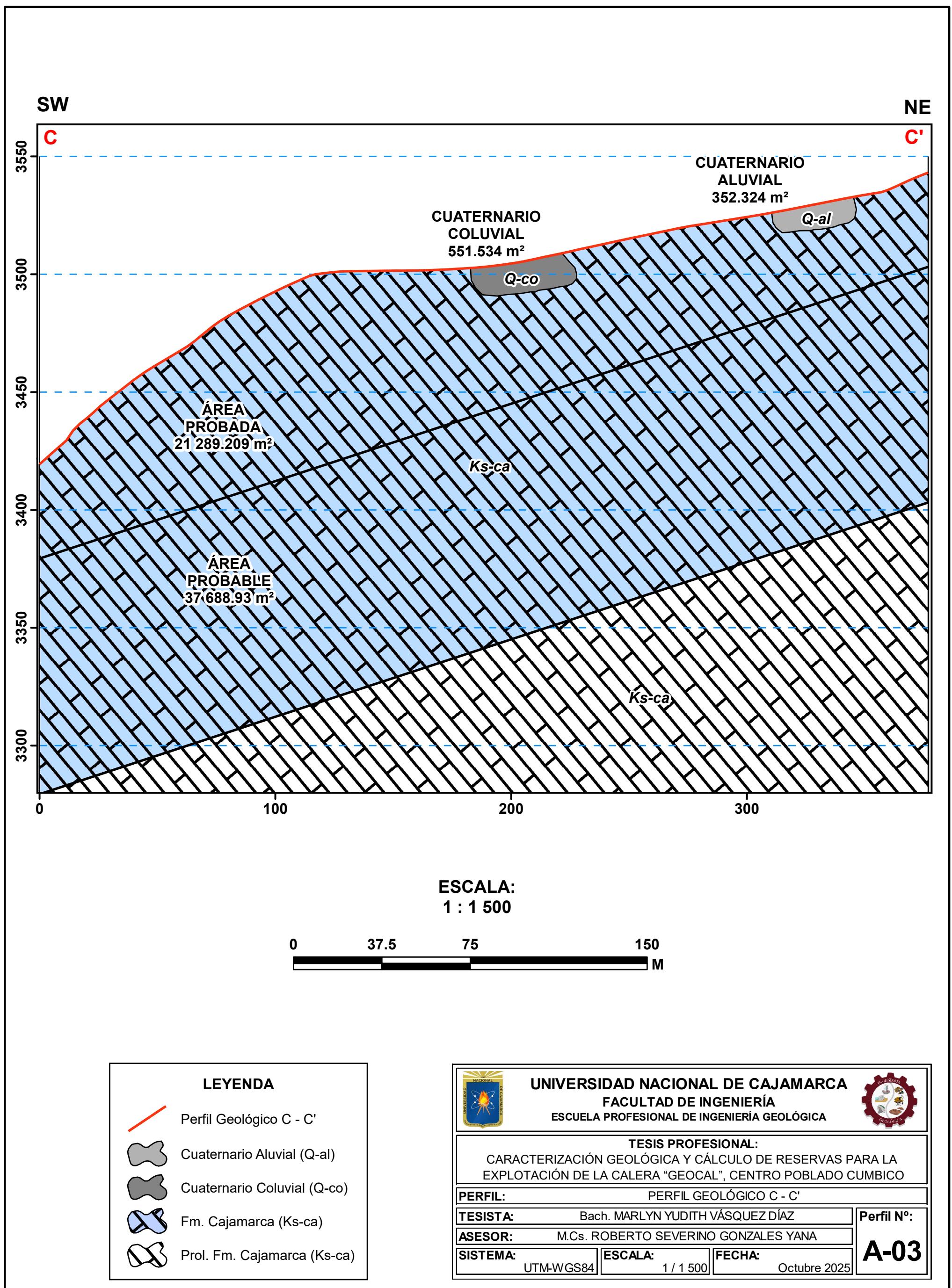
P-03

ANEXO 04. PERFILES GEOLÓGICOS

- 1. A-01: PERFIL GEOLÓGICO A-A'**
- 2. A-02: PERFIL GEOLÓGICO B-B'**
- 3. A-03: PERFIL GEOLÓGICO C-C'**
- 4. A-04: PERFIL GEOLÓGICO D-D'**
- 5. A-05: PERFIL GEOLÓGICO E-E'**
- 6. A-06: PERFIL GEOLÓGICO F-F'**

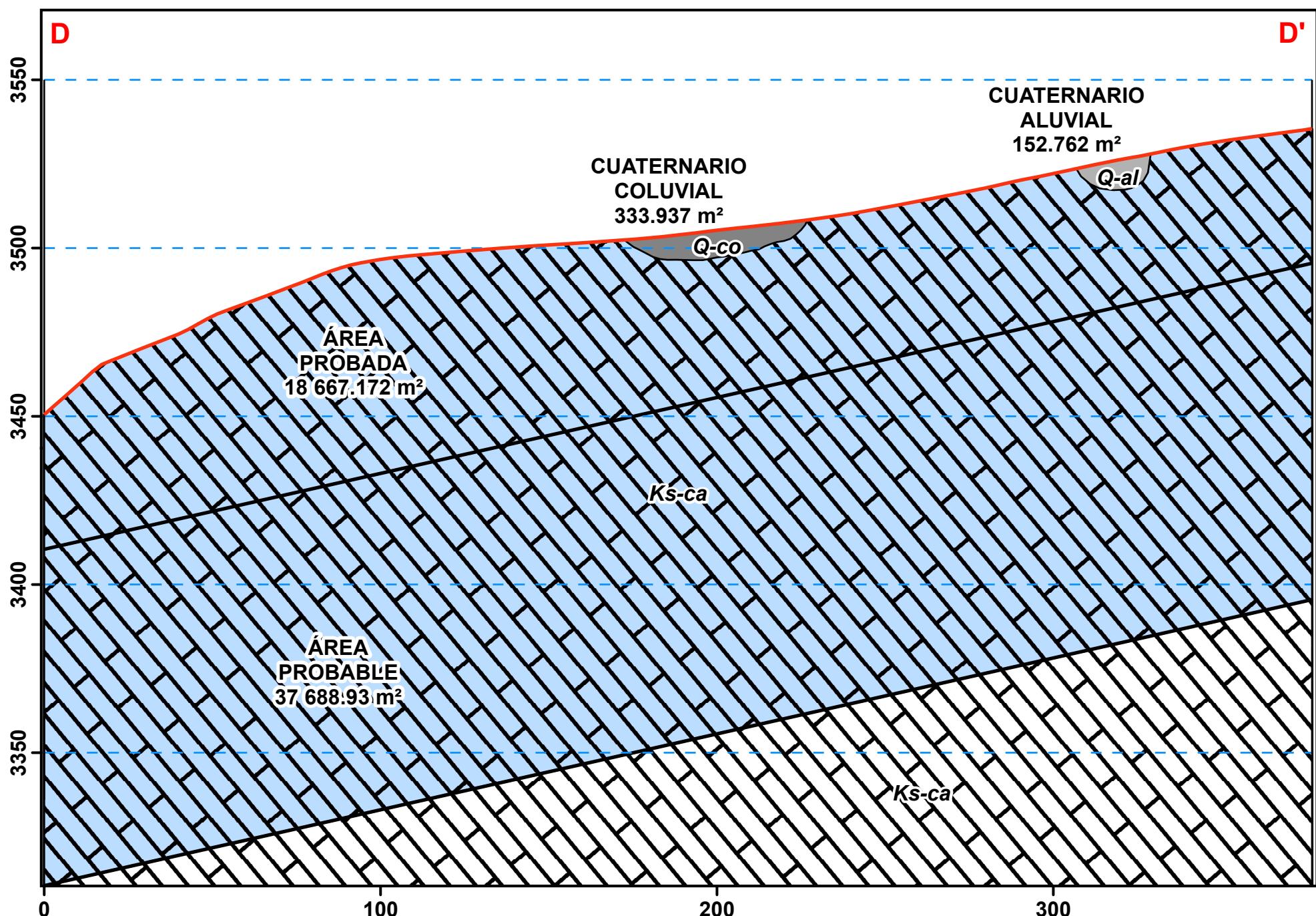






SW

NE



ESCALA:

1 : 1 500

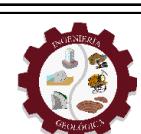


LEYENDA

- Perfil Geológico D - D '
- Cuaternario Aluvial (Q-al)
- Cuaternario Coluvial (Q-co)
- Fm. Cajamarca (Ks-ca)
- Prol. Fm. Cajamarca (Ks-ca')



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



TESIS PROFESIONAL:

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA
EXPLOTACIÓN DE LA CALERA "GEOCAL", CENTRO Poblado CUMBICO

PERFIL:

PERFIL GEOLÓGICO D - D'

TESISTA:

Bach. MARLYN YUDITH VÁSQUEZ DÍAZ

ASESOR:

M.Cs. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA

SISTEMA:

UTM-WGS84

ESCALA:

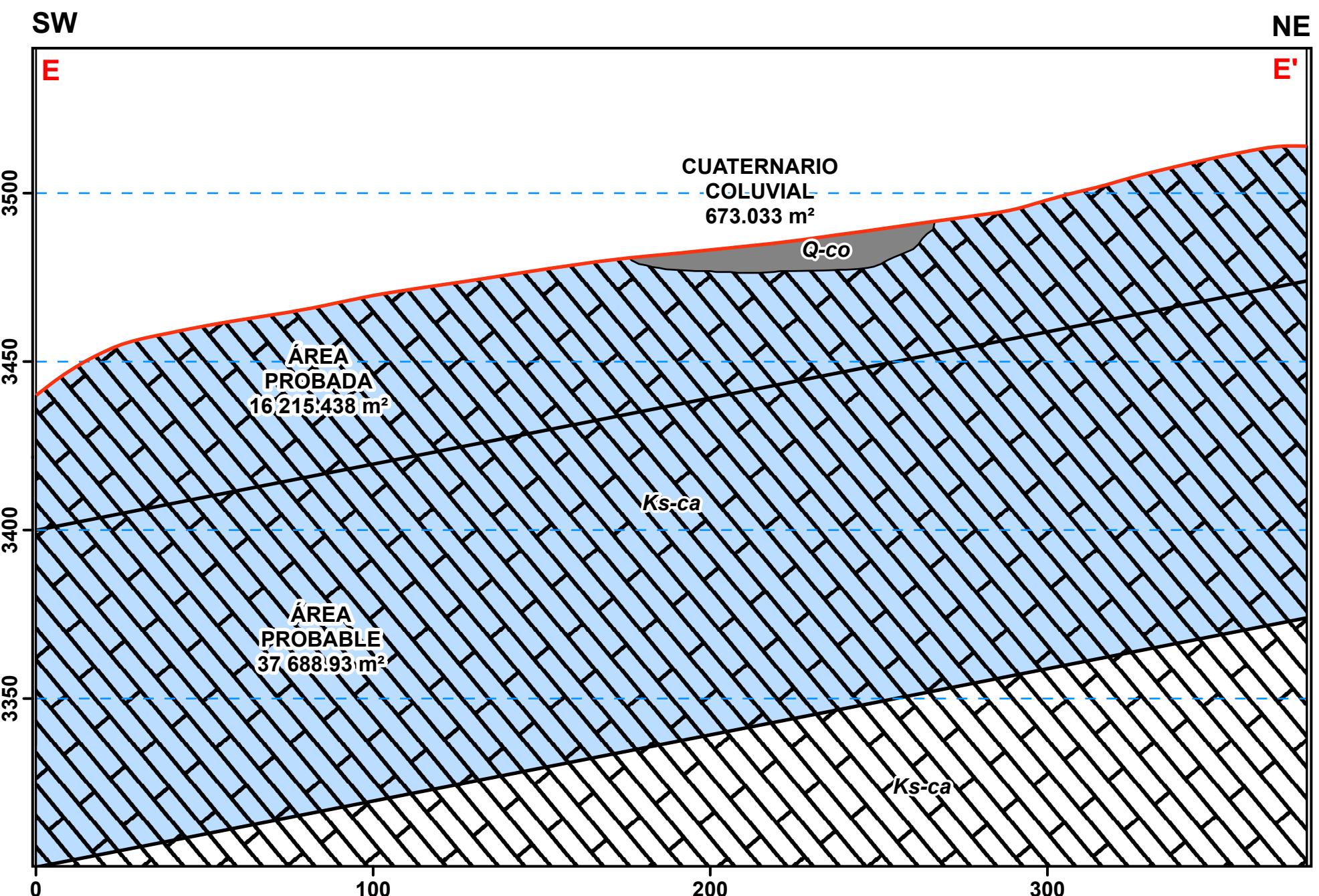
1 / 1 500

FECHA:

Octubre 2025

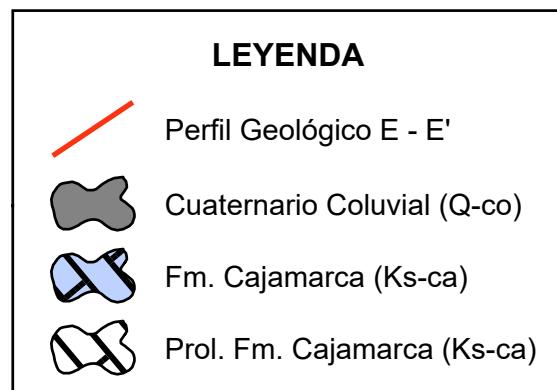
Perfil N°:

A-04

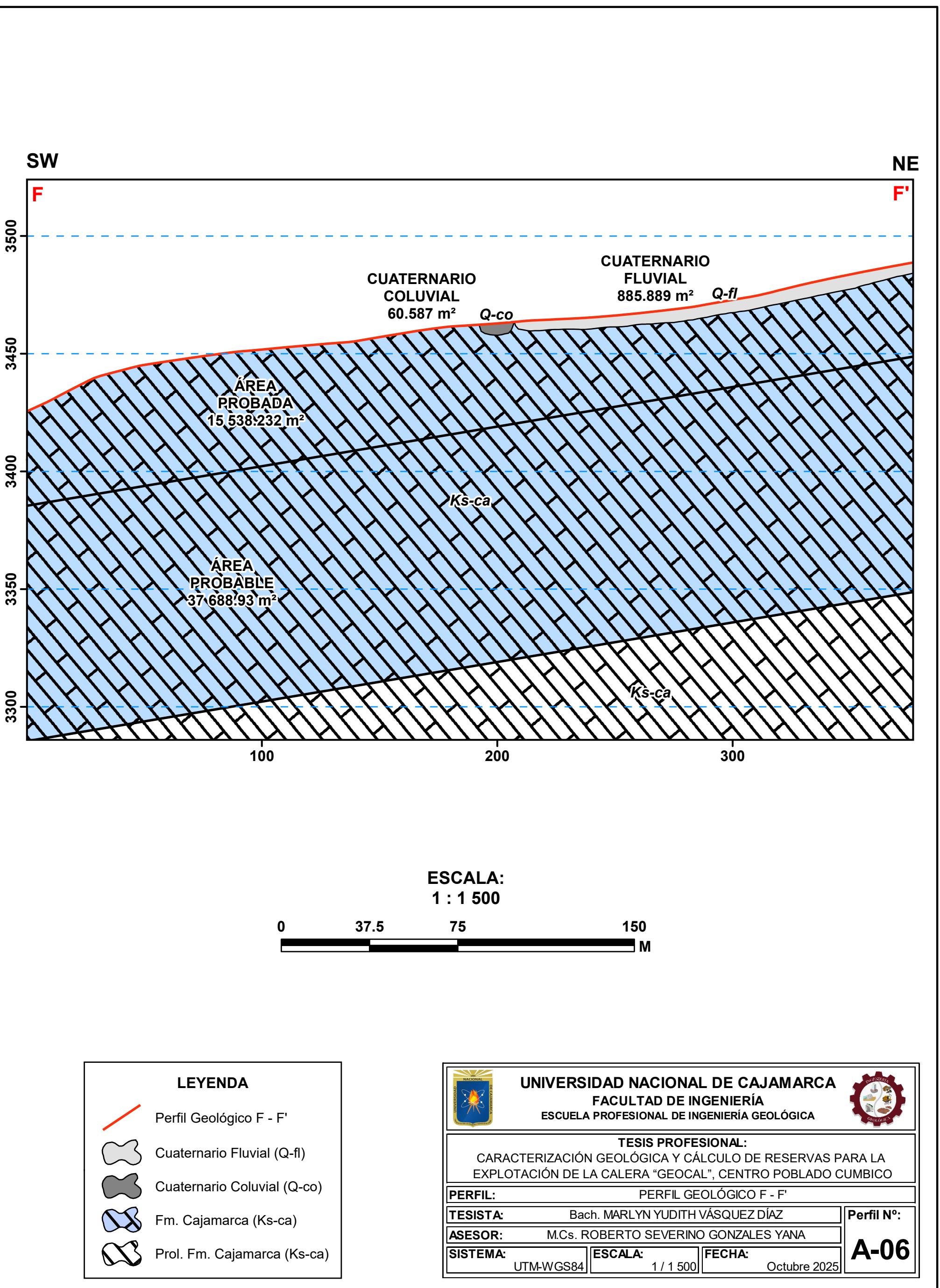


ESCALA:
1 : 1 500

0 37.5 75 150
M



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS PROFESIONAL: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LA CALERA “GEOCAL”, CENTRO POBLADO CUMBICO		
PERFIL:	PERFIL GEOLÓGICO E - E'	
TESISTA:	Bach. MARLYN YUDITH VÁSQUEZ DÍAZ	
ASESOR:	M.Cs. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA	
SISTEMA:	UTM-WGS84	ESCALA: 1 / 1 500
		FECHA: Octubre 2025
Perfil N°:		
A-05		



ANEXO 05. INFORMACIÓN DE LA CONCESIÓN MINERA

RESUMEN DEL DERECHO MINERO

Datos Generales

Código	060000895	Nombre	JUAN DE DIOS I
Fecha de Formulación	02/01/1995	Situación	VIGENTE
Estado	TITULADO(CONCESION)	Tipo	PETITORIO (D.LEG. 708)
Has. Formuladas	300.0000	Sustancia	NO METALICA
Has. Rectificadas		Has. Formadas	
Has. Reducidas	200.0000	Has. Disponibles	
Ubicación	UADA-ARCHIVO CENTRAL desde el 07/06/2025		

Titular Referencial

<u>Tipo</u>	<u>Nombre de Razón Social</u>	<u>Dirección</u>	<u>% Participación</u>
JURIDICO	S.M.R.L. JUAN DE DIOS I	JR. SOR MANUELA GIL K - 2	100

Demarcaciones

<u>Departamento</u>	<u>Provincia</u>	<u>Distrito</u>
CAJAMARCA	CAJAMARCA	MAGDALENA

Cartas

<u>Código</u>	<u>Descripción</u>	<u>Zona UTM</u>
15-F	CAJAMARCA	17

Coordenadas UTM PSAD56

<u>Vertice</u>	<u>Norte</u>	<u>Este</u>	<u>Norte</u>	<u>Este</u>
1	9,204,000.00	767,000.00	9,203,637.47	766,743.80
2	9,202,000.00	767,000.00	9,201,637.47	766,743.80
3	9,202,000.00	766,000.00	9,201,637.46	765,743.82
4	9,204,000.00	766,000.00	9,203,637.45	765,743.82

Pagos

<u>Nro. Recibo</u>	<u>Monto</u>	<u>Fecha Pago</u>	<u>Nro. Cuenta</u>	<u>Banco</u>	<u>Concepto</u>
000 0006003	S/ 170.00	30/12/1994	0000173177	LA NACION	Tramite
000 0007314	US \$/ 300.00	30/12/1994	6000025788	LA NACION	Vigencia

Resoluciones

<u>Nro. Resolución</u>	<u>Fec. Resolución</u>	<u>Decisión</u>	<u>Plazo</u>
01341-2001-INACC/J	12/11/2001	APROBACION DE DIVISION	0 dias
01341-2001-INACC/J	12/11/2001	APROBACION DE REDUCCION	15 dias
INACC	31/08/2001	DIVISION - Requerimiento	

OCM	18/07/2001	EXPIDASE LOS CARTELES	30 dias
OCM	13/06/2001	REMITIR A TECNICA (VARIOS)	0 dias
OCM	18/05/2001	REQUERIMIENTO DE REQUISITOS-VARIOS	10 dias
3279-97-RPM	29/04/1997	CONCESION Y SOCIEDAD LEGAL	15 dias
- -OCM	24/03/1997	REMITIR A TECNICA (PARA INFORME AMPLIATORIO)	0 dias

Escriptos

<u>Escrito</u>	<u>Sede</u>	<u>Trámite</u>	<u>F. Presentación</u>	<u>Contenido</u>	<u>Razon Social</u>
0600000422R	CAJAMARCA	REEMBOLSO	22/06/2022	REEMBOLSO	JULIA EDITH URRUTIA CUBAS
0100006522D	LIMA	DOCUMENTO	21/01/2022	CERTIFICADO DE DEVOLUCION	JULIA EDITH URRUTIA CUBAS
0600004817T	CAJAMARCA	TRAMITE P.O.M.	29/09/2017	SUBSANACION DE REQUERIMIENTOS (CAMBIO DE NOMBRE, RUC, ESTADO CIVIL, DATOS CÓNYUGE)	JULIA EDITH URRUTIA CUBAS
0600000617T	CAJAMARCA	TRAMITE P.O.M.	16/01/2017	CAMBIO DE DOMICILIO	JULIA EDITH URRUTIA CUBAS
0600004401T	CAJAMARCA	TRAMITE P.O.M.	29/10/2001	ADJ. RECIBO DE PAGO POR DERECHO DE VIGENCIA	ITALO RONAL URRUTIA CUBAS
0600004201T	CAJAMARCA	TRAMITE P.O.M.	01/10/2001	ADJ. COPIAS CERTIFICADAS DE EXPEDIENTE-FRACCIONAMIENTO	ITALO RONAL URRUTIA CUBAS
0600003801T	CAJAMARCA	TRAMITE P.O.M.	21/08/2001	ADJ. PUBLICACION: EL PERUANO	ITALO RONAL URRUTIA CUBAS
0600002801T	CAJAMARCA	TRAMITE P.O.M.	02/07/2001	ACREDITA PAGO DE DERECHO DE VIGENCIA	ITALO RONAL URRUTIA CUBAS
0600002701T	CAJAMARCA	TRAMITE P.O.M.	25/06/2001	ACREDITA PAGO DE DERECHO DE VIGENCIA	ITALO RONAL URRUTIA CUBAS
0600001101T	CAJAMARCA	TRAMITE P.O.M.	29/05/2001	RATIFICACION	ITALO RONAL URRUTIA CUBAS
0600000901T	CAJAMARCA	TRAMITE P.O.M.	24/04/2001	FRACTONAMIENTO Y DIVISIÓN DE DERECHO MINERO	JULIA EDITH URRUTIA CUBAS
0600005300T	CAJAMARCA	TRAMITE P.O.M.	25/07/2000	ACREDITA PAGO DE DERECHO DE VIGENCIA	JULIA EDITH URRUTIA CUBAS
0600006499T	CAJAMARCA	TRAMITE P.O.M.	28/12/1999	CAMBIO DE DOMICILIO	S.M.R.L. JUAN DE DIOS I
0101635697T	LIMA	TRAMITE P.O.M.	24/06/1997	NOTIFICACION DEVUELTA	S.M.R.L. JUAN DE DIOS I