

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN
CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDOS DE CALCIO (CaO).**

DISTRITO DE JORGE CHÁVEZ - CELENDÍN.

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

BACH. MUJICA CABRERA JUAN ANTONIO

Asesor:

Dr. LAGOS MANRIQUE ALEJANDRO CLAUDIO

Cajamarca – Perú

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA –

1. Investigador : MUJICA CABRERA JUAN ANTONIO
2. DNI : 72842121
Escuela Profesional : INGENIERÍA DE MINAS
3. Asesor : ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE Facultad :
INGENIERÍA
4. Grado académico o título profesional

☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor

5. Tipo de Investigación:

☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico

Título de Trabajo de Investigación: CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDOS DE CALCIO (CaO). DISTRITO DE JORGE CHÁVEZ - CELENDÍN.

1. Fecha de evaluación: 30 CDE ENERO DEL 2025

2. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
3. Porcentaje de Informe de Similitud: 16%
4. Código Documento: oid: 3117:425076602
5. Resultado de la Evaluación de Similitud:

☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 30/01/2025

 <i>Ing. Alejandro C. Lagos Manrique</i>	 Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 30/01/2025 20:12:24-0500
FIRMA DEL ASESOR Alejandro Claudio Lagos Manrique DNI:09224934	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.

TÍTULO : "CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDOS DE CALCIO (CaO). DISTRITO DE JORGE CHÁVEZ - CELENDÍN."

ASESOR : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0134-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 21 de abril de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veintitrés días del mes de abril de 2025**, siendo las ocho horas (08:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4) - 210, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Vocal : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Secretario : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada "CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDOS DE CALCIO (CaO). DISTRITO DE JORGE CHÁVEZ - CELENDÍN", presentado por el Bachiller en Ingeniería de Minas **JUAN ANTONIO MUJICA CABRERA**, asesorado por el Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique, para la obtención del Título Profesional

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

EVALUACIÓN PRIVADA :³..... PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA :^{1.0}..... PTS.
EVALUACIÓN FINAL :^{1.3}..... PTS. *Trece* (En letras)

En consecuencia, se lo declara *Aprobado* con el calificativo de *TRICE*.
acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *9.00 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. Roberto Severino Gonzales Yana.
Vocal

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

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Asesor

AGRADECIMIENTO

Expreso mi reconocimiento a la Universidad Nacional de Cajamarca, su Facultad de Ingeniería y la Escuela de ingeniería de minas por haberme forjado como profesional

Un agradecimiento a Dios por haberme dado a mis padres y familiares, quienes me ayudaron día a día a ser una mejor persona y el profesional que soy ahora.

Finalmente, mi especial gratitud al ingeniero Alejandro Lagos Manrique, cuya experiencia y entrega han sido esenciales para el desarrollo de este trabajo de investigación. A todos mi más profunda gratitud y respeto.

Juan Antonio

DEDICATORIA

A mis padres Edgar Antonio Mujica Alfaro y
Sofía Cabrera Vargas, abuelos, hermanos,
familiares y amigos que me apoyaron,
confiaron en mí y nunca me dieron la espalda.

.

Juan Antonio

ÍNDICE GENERAL

	Pag
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv

ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ABREVIATURAS	xxiv
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I	3
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	5
2.1.1 Internacionales	5
2.1.3. Locales	6
2.2. BASES TEÓRICAS	7
2.2.1. Caliza	7
2.2.2. Origen de las calizas	7
2.2.2.1. Origen Químico	7
2.2.2.2. Origen Biológico	7
2.2.3. Tipos de calizas	7
2.2.3.1. Caliza cretácea	7
2.2.3.2. Caliza dolomítica	7
2.2.3.3. Caliza bioclástica	8
2.2.4. Formación geológica de las Calizas	8

2.2.4.1. Origen químico	
8 2.2.4.2. Origen orgánico	8
2.2.5. Rocas sedimentarias Carbonatadas	
8 2.2.6. Principales usos de la caliza	10
2.2.7. Descomposición térmica de las rocas carbonatadas	11
2.2.8. Características de las calizas	
11 2.2.9. Óxidos Totales	12
2.2.10. Óxidos Disponibles	12
2.2.11. Pérdidas por Calcinación	12
2.2.12. Óxido de Calcio	12
2.2.14. Proceso de explotación de las caliza	13
2.2.15. Oxido de calcio	13
2.2.16. Procesamiento de la cal	14
2.2.17. Etapas para la producción de cal	14
2.2.17.1. Extracción	15
2.2.17.2. Trituración	16
2.2.17.3. Manejo de la roca caliza	16
2.2.17.4. Calcinación	16
2.2.17.5. Cribado	17
2.2.17.6. Trituración y pulverización	17
2.2.17.7. Hidratación	17
2.2.18. Propiedades fisicoquímicas de la cal hidratada	17
2.2.19. Propiedades físicas del proceso de hidratación de cal	18

2.2.20.	La cal en la construcción	18
	2.2.21. Mortero de Cal	19
2.2.22.	Consolidación y Restauración	19
2.2.23.	Pinturas de Cal	19
2.2.24.	Adición a Mezclas de Cemento	19
2.2.25.	Estabilización de Suelos	19
2.2.26.	Aislamiento Térmico	19
2.2.27.	Concreto	20
2.2.28.	La pintura	20
2.2.29.	Impermeabilizante	20
2.2.30.	Adobes estabilizados	20
2.2.31.	Recursos Minerales	21
2.2.32.	Cálculo de reservas.....	22
2.2.33.	Tipos de reservas por su certeza	22
2.2.33.1.	Probado.....	22
2.2.33.2.	Probable	23
2.2.34.	Método de cálculo de reservas	23
2.2.34.1.	Por Triangulación	23

2.2.34.2.	Método de secciones	23
2.2.34.3.	Método de los Contornos	25
2.2.34.4.	Método de los Polígonos	25
2.2.34.5.	Métodos de Capas	26
2.2.34.6.	Método de la distancia ponderada o de la Inversa de la Distancia	27
2.2.35.	Normas de cubicación	28
2.2.35.1.	Determinación de la ley promedia	29
2.2.35.2.	Determinación de ancho promedio	29
	2.2.35.3. Cálculo de área.....	29
2.2.35.4.	Cálculo de volumen	29
2.2.35.5.	Cálculo del tonelaje	30
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	30
CAPÍTULO III		32
MATERIALES Y MÉTODOS		32
3.1.	UBICACIÓN	32
3.1.1.	Geográfica	32
3.1.2.	Política	33
3.3.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.3.1.	Tipo, nivel, diseño y método de la investigación	36
3.3.1.1.	Tipo de investigación.....	36

3.3.1.2.	Nivel de investigación	36
3.3.1.3.	Diseño de investigación	36
3.3.1.4.	Método de investigación	36
3.3.1.5.	Población de estudio	36
3.3.1.6.	Muestras	36
3.6.1.7.	Unidad de análisis	37
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	37
3.4.1.	Técnicas	37
3.4.1.1	Procedimiento de recolección de datos	37
3.4.1.2	Procedimiento para el análisis de datos	38
3.4.2.	Instrumentos y equipos	38
3.8.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	40
3.9.	GEOLOGÍA LOCAL	41
3.9.1.	Cretácico Inferior.....	42
3.9.2.3.	Formación Cajamarca (Ks- ca)	42
9.3.4.	Cuaternario	42
9.3.4.1.	Depósitos aluviales (Qh-al)	42

CAPÍTULO IV	44
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	44
4.1. Resultados de la investigación	44
4.1.1. Método de Triangulación	44
4.1.2. Metodología	44
4.1.3. Caculo de reservas	46
4.1.3.1. Dimensión de los lados de los triángulos	46
4.1.3.2. Determinación de las áreas de los triángulos	47
4.1.3.3. Determinación de las leyes de los triángulos	50
4.1.3.3. Determinación de los volúmenes	57
4.1.3.4. Determinación de los tonelajes	67
4.2. Análisis químico de laboratorio de muestras de calizas	69
4.2.1. Control de calidad de los resultados químicos	87
4.2.1.1. Balance de masa	87
4.3. Determinación de las reservas de CaCO_3	88
4.3.1. Determinación de las reservas de desmonte 1	89
4.3.2. Determinación de las reservas de CaO	89
4.3.2.1. Determinación de las reservas de desmonte 2	89
4.3.2.2. Castigo por dilución	90
4.4. Tonelaje de los desmontes 1 y 2.....	92
4.5. Explotación por bancos escalonados ascendentes.....	94

4.5.1	Diseño del yacimiento de calizas.....	94
4.5.2	Diseño del yacimiento de calizas Jorge Chávez.....	94
4.5.3	Altura de explotación del yacimiento.....	94
4.5.4	Angulo de banco.....	94
4.5.5	Altura de banco (HB).....	95
4.5.6	Numero de bancos.....	96
4.5.7	Ancho de la plataforma de trabajo.....	96
4.5.8	Angulo de talud final (β).....	97
4.5.9	Secuenciamiento de explotación de las calizas.....	98
4.6	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	99
CAPÍTULO V.....		100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		100
5.1.	CONCLUSIONES	100
5.2.	RECOMENDACIONES	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		102
ANEXOS		105

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Proceso de baja ractividad de la cal.....	13
Figura 2. Proceso de la extracción de las calizas.....	13
Figura 3. Diagrama de flujo de elaboración de la cal.....	15
Figura 4. Relación entre los resultados de Exploración, Recursos y Reservas.....	21
Figura 5. Método Clásico por Triangulación.....	23
Figura 6. Esquema de secciones de un yacimiento.....	24
Figura 7. Etapa de la estimación de recursos mediante el método de secciones.....	24
Figura 8. Método por Contornos.....	25
Figura 9 Cálculo de reservas por el método de los polígonos.....	26
Figura 10. Modelo de capas.....	27
Figura 11 Método de la Inversa de la Distancia.....	28
Figura 12 Ubicación.....	32
Figura 13. Fotografía tomada en la plaza de armas del distrito de Jorge Chávez.....	33
Figura 14. Fotografía tomada frente a las calizas de la formación Cajamarca.....	34
Figura 15. Fotografía sobre los afloramientos de calizas de la formación Cajamarca.....	34
Figura 16. Plano de ubicación del área de estudio.....	35
Figura 17. GPS Navegatorio Marca Garmin.....	39
Figura 18. Brújula Brunton para muestreo.	39
Figura 19 Mapa geológico del cuadrángulo de Celendín.....	41
Figura 20. Afloramientos de Calizas	42
Figura 21. Depósitos aluviales en zona de estudio.....	43
Figura 22. Representación de los 12 vértices de los triángulos.....	45
Figura 23. Muestras y distancias del triángulo 1.....	50

Figura 24. Muestras y distancias del triángulo 2.....	51
Figura 25. Muestras y distancias del triángulo 3.....	52
Figura 26. Muestras y distancias del triángulo 4.....	52
Figura 27. Muestras y distancias del triángulo 5.....	53
Pag	
Figura 28. Muestras y distancias del triángulo 6.....	53
Figura 29. Muestras y distancias del triángulo 7.....	54
Figura 30. Muestras y distancias del triángulo 8.....	54
Figura 31. Muestras y distancias del triángulo 9.....	55
Figura 32. Muestras y distancias del triángulo 10.....	55
Figura 33. Muestras y distancias del triángulo 11.....	56
Figura 34. Muestras y distancias del triángulo 12.....	56
Figura 35. Espesor de cuaternario del triángulo 1.....	57
Figura 36. Espesor de cuaternario del triángulo 2.....	58
Figura 37. Espesor de cuaternario del triángulo 3.....	59
Figura 38. Espesor de cuaternario del triángulo 4.....	60
Figura 39. Espesor de cuaternario del triángulo 5.....	61
Figura 40. Espesor de cuaternario del triángulo 6.....	62
Figura 41. Espesor de cuaternario del triángulo 7.....	63
Figura 42. Espesor de cuaternario del triángulo 8.....	64
Figura 43. Espesor de cuaternario del triángulo 9.....	65
Figura 44. Espesor de cuaternario del triángulo 10.....	66
Figura 45. Espesor de cuaternario del triángulo 11.....	67
Figura 46. Espesor de cuaternario del triángulo 12.....	68
Figura 47. Superficie de terreno, material cuaternario, y caliza.....	68
Figura 48. Superficie de terreno, material cuaternario, y caliza.....	68
Figura 49. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 1.....	69

Figura 50. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 1.....	69
Figura 51. Volumen del material cuaternario del triángulo 1.....	69
Figura 52. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 2.....	70
Figura 53. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 2.....	70
Figura 54. Volumen del material cuaternario del triángulo 2.....	70
Figura 55. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 3.....	71
Figura 56. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 3.....	71
Figura 57. Volumen del material cuaternario del triángulo 3.....	71
Figura 58. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 4.....	72
Figura 59. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 4.....	72
Figura 60. Volumen del material cuaternario del triángulo 4.....	72
Figura 61. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 5.....	73
Figura 62. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 5.....	73
Figura 63. Volumen del material cuaternario del triángulo 5.....	73
Figura 64. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 6.....	74
Figura 65. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 6.....	74
Figura 66. Volumen del material cuaternario del triángulo 6.....	74
Figura 67. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 7.....	75
Figura 68. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 7.....	75
Figura 69. Volumen del material cuaternario del triángulo 7.....	75
Figura 70. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 8.....	76
Figura 71. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 8.....	76
Figura 72. Volumen del material cuaternario del triángulo 8.....	76
Figura 73. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 9.....	77
Figura 74. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 9.....	77

Figura 75. Volumen del material cuaternario del triángulo 9.....	77
Figura 76. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 10.....	78
Figura 77. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 10.....	78
Figura 78. Volumen del material cuaternario del triángulo 10.....	78.
Figura 79. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 11.....	79
Figura 80. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 11.....	79
Figura 81. Volumen del material cuaternario del triángulo 10.....	79
Figura 82. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 12.....	80
Figura 83. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 12.....	80
Figura 84. Volumen del material cuaternario del triángulo 12.....	80
Figura 85. Triángulos de cuaternario.....	81
Figura 86. Cuaternario y contacto con caliza.....	81
Figura 87. Superficie de terreno, material cuaternario, y caliza.....	82
Figura 88. Espesor de material cuaternario y contacto con caliza.....	82
Figura 89. Representación de los resultados de los análisis químicos de las calizas.....	85
Figura 90. Representación de los resultados de los análisis de CaCO_3 vs CaO	86
Figura 91. Representación de la altura de cobertura cuaternaria de 5.25 m.....	91
Figura 92. Especificaciones Técnicas Excavadora Hidráulica CAT 320.....	95
Figura 93. Especificaciones Técnicas Volquete 2506.....	96
Figura 94. Parámetro de diseño de minas.....	98
Figura 95. Secuencia de explotación de los bancos.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag
Tabla 1 Composición química de la calcita y dolomita.....	9
Tabla 2 Propiedades de las Caliza.....	11
Tabla 3 Acceso a la zona de estudio.....	33
Tabla 4 Coordenadas de los triángulos de la Zona de Reservas A1.....	44

Tabla 5 Coordenadas de los triángulos de la Zona de Reservas A2.....	44
Tabla 6 dimensiones de los lados de los 12 triángulos.....	46
Tabla 7 resultado del análisis de CaCO ₃	50
Tabla 8 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 1.....	57
Tabla 9 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 2.....	58
Tabla 10 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 3.....	58
Tabla 11 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 4.....	59
Tabla 12 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 5.....	60
Tabla 13 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 6.....	60
Tabla 14 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 7.....	61
Tabla 15 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 8.....	62
Tabla 16 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 9.....	63
Tabla 17 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 10.....	64
Tabla 18 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 11.....	65
Tabla 19 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 12.....	66
Tabla 20 Determinación de las reservas en TM.....	68
Tabla 21 Resultado del espesor de cuaternario por triángulo	81
Tabla 22 Resultado del análisis químico de las muestras de calizas.....	83
Tabla 23 Resultado de los análisis químicos de las muestras de calizas.....	84
Tabla 24. Balance de masa.....	87
Tabla 25 Calculo en TM del desmonte 1	89
Tabla 26 Cálculo en TM del desmonte 2.....	90
Tabla 27. Espesor promedio de material cuaternario por triángulo.....	90
Tabla 28 Cálculo del castigo por dilución.....	91
Tabla 29 Cálculos efectuados de los 12 triángulos	93
Tabla 30 Clasificación de las rocas según Protodyakonov.....	95
Tabla 31 Resumen de los parámetros calculados.....	98

ABREVIATURAS

m : Metro cm : Centímetro

mm : Milímetro

msnm : Metros sobre el nivel de mar

h : Hora

Km : kilómetro

S : Sur

N : Norte

E : Este

O : Oeste

NE : Noreste

NO : Noroeste

SE : Sureste

SO : Suroeste

SENAMHI : Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

TM : Toneladas métricas

CaO : Óxido de Calcio

CaCO₃ : Carbonato de Calcio

MUJ : Codificación por cada muestra tomada en campo

ph : Potencial de Hidrógeno

Ca : Calcio

IDW : Inverso a la distancia

CO₂ : Dióxido de Carbono

% : Porcentaje

RESUMEN

El distrito de Jorge Chávez está situado al NO de la provincia de Celendín, dentro del departamento de Cajamarca. En este lugar afloran calizas, las cuales son fuente principal de la obtención de óxido de calcio (CaO). El presente estudio se centra en el análisis y cálculo de las reservas de calizas pertenecientes a la Formación Cajamarca con el objetivo de obtener óxido de calcio. El propósito principal es determinar con precisión las reservas de calizas, esenciales para la producción de óxido de calcio, un insumo clave en diversas industrias. Para alcanzar este objetivo, se llevó a cabo una exhaustiva recopilación de antecedentes, seguida por un muestreo sistemático de rocas. Estas muestras fueron sometidas a análisis mineralógicos detallados en laboratorio para evaluar su porcentaje de pureza y determinar las propiedades físicas de la caliza. Los análisis incluyeron ensayos químicos que revelaron un contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) entre el 90.11% y el 93.72%, y un contenido de óxido de calcio (CaO) que varía entre el 52.22% y el 60.91%. Se emplearon avanzadas técnicas geoespaciales y modelos matemáticos para realizar cálculos precisos de las reservas. En este proceso, se utilizó el método del inverso de la distancia al cuadrado para modelar la distribución espacial de las leyes y garantizar la exactitud en la estimación de los recursos los cuales se estiman en 41520853 m³. Los afloramientos de calizas fueron cuidadosamente segmentados en 12 triángulos, y para cada uno se calcularon las áreas y volúmenes respectivos, permitiendo una caracterización más detallada de la formación geológica. El análisis final de las reservas indica un total de 21858963.83 m³ de óxido de calcio disponible. Estos hallazgos no solo aportan información relevante sobre el potencial minero del área, sino que también sientan las bases para un aprovechamiento sostenible de los recursos, con implicancias económicas y estratégicas significativas para la región de Cajamarca.

Palabras claves: cálculo de reserva, desmonte, estimación.

ABSTRACT

The Jorge Chávez district is located in the northwest (NW) of the Celendín province, within the Cajamarca department. In this area, limestone outcrops serve as the primary source for obtaining calcium oxide (CaO). The present study focuses on the analysis and calculation of limestone reserves belonging to the Cajamarca Formation with the aim of producing calcium oxide. The main purpose is to precisely determine the limestone reserves, essential for calcium oxide production, a key input for various industries. To achieve this goal, a thorough background review was conducted, followed by a systematic rock sampling process. These samples underwent detailed mineralogical analyses in the laboratory to evaluate their purity percentage and determine the physical properties of the limestone. The analyses included chemical tests that revealed calcium carbonate (CaCO_3) content ranging between 90.11% and 93.72%, and calcium oxide (CaO) content varying between 52.22% and 60.91%. Advanced geospatial techniques and mathematical models were employed to carry out accurate reserve calculations. In this process, the inverse distance squared method was used to model the spatial distribution of grades and ensure accuracy in resource estimation, which amounts to 41520853 metric tons (MT). The limestone outcrops were carefully divided into 12 triangles, and the respective areas and volumes were calculated for each, enabling a more detailed characterization of the geological formation. The final reserve analysis indicates a total of 21858963.83 (m^3) of available calcium oxide. These findings not only provide valuable insights into the mining potential of the area but also lay the groundwork for the sustainable utilization of resources, with significant economic and strategic implications for the Cajamarca region. **Keywords:** reserve calculation, waste rock, estimation

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La cal viva, conocida por su importancia en procesos industriales, es un reactivo utilizado en la extracción de minerales. Hoy en día, tiene aplicaciones en sectores como el acero, la construcción, la química y la agricultura, destacándose por su versatilidad. Derivada de la caliza, la cal viva ha sido utilizada desde el Neolítico, cuando se usaban piedras con carbonato de calcio para controlar el fuego.

El óxido de calcio se aplica en diversos campos. En la minería, ajusta el pH para mejorar la recuperación de minerales valiosos. En el tratamiento de aguas, modifica el pH de aguas ácidas. Su alta reactividad reduce costos en procesos de flotación. En la agricultura, mejora el pH y aporta calcio a los suelos, favoreciendo el crecimiento de leguminosas con alto contenido proteico y mejor digestibilidad para el ganado. Además, elimina compuestos orgánicos persistentes como dioxinas y metales pesados de incineradoras municipales e industriales.

En el distrito de Jorge Chávez ubicado en la Provincia de Celendín, se encuentran afloramientos de calizas de la Formación Cajamarca que posee un gran contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) por esta razón son consideradas, como materia prima para la obtención de óxido de calcio.

Se han formulado las siguientes interrogantes ¿Cuáles son las reservas probadas y probables de las calizas de la Formación Cajamarca para ser explotadas en la obtención de óxido de calcio en el distrito de Jorge Chávez? y ¿Cuál es el contenido de CO_3Ca de las calizas de la Formación Cajamarca para la obtención de óxido de calcio? Como objetivo principal se tiene calcular las reservas de las calizas de la Formación Cajamarca en el distrito de Jorge Chávez, Celendín, con el fin de determinar su potencial para la obtención de óxido de calcio (CaO). Como objetivos específicos se tiene, Determinar las propiedades químicas de las muestras de caliza para evaluar su idoneidad en la producción de óxido de calcio (CaO). Aplicar el método del inverso a la distancia al cuadrado para el cálculo de reservas geológicas y su posterior cuantificación del volumen de caliza disponible en el área de estudio y su capacidad para la producción de CaO .

La presente tesis permitirá la identificación y análisis de las reservas probadas y probables de las calizas de la Formación Cajamarca en el distrito de Jorge Chávez - Celendín, junto con la determinación de su contenido de óxido de calcio (CaO) mediante análisis químico, permitirá estimar con precisión el tonelaje de CaO recuperable. Se plantea como hipótesis que el

método de inverso de la distancia al cuadrado (IDW) es el más adecuado para estimar las leyes en la zona de estudio, dadas sus características geométricas y geológicas, lo que permitiría una posterior estimación precisa de las reservas de CaO. El presente estudio está conformado por cinco capítulos. Dentro del Capítulo I que lleva por título Introducción, está la descripción del contenido de los capítulos de la tesis, se mencionan las interrogantes, los objetivos, la hipótesis y el contenido de toda la tesis. En el Capítulo II, titulado como Marco Teórico se describen los antecedentes internacionales, nacionales y locales así mismo están las bases teóricas que servirán para la elaboración de la tesis y finalmente se tiene la Definición de Términos Básicos. Dentro del capítulo III, denominado como Materiales y Métodos esta la Ubicación del área de estudio, su accesibilidad, el clima y la vegetación, la flora y fauna. También se describe el tipo de investigación, los procedimientos, la metodología utilizados en la investigación, la descripción de las técnicas utilizadas, los instrumentos y los equipos, además en este capítulo se desarrollan los objetivos planteados y se presentan los resultados de la investigación. En el Capítulo IV, denominado Análisis y Discusión de Resultados, están los Resultados de la investigación; los resultados deben estar íntimamente relacionado con los objetivos. Además, está la contrastación de la hipótesis con los resultados obtenidos. Dentro del capítulo V, están ubicadas las conclusiones y recomendaciones. Las conclusiones están relacionadas con los objetivos planteados. En la parte final estarán las referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1 Internacionales

Zabala, (2022), en su trabajo de investigación titulado: “Estudio petrográfico de la piedra caliza y potencial de carbonato de calcio en el sector Chiguaza en cantón huamboya provincia de Morona Santiago”, concluye que bajo el proceso de interpolación geoestadística de Kriging se analizó el potencial de CaCO_3 y los resultados fueron comparados con la herramienta de interpolación Distancia Inversa Ponderada (IDW). Como resultado se obtuvo un valor mínimo del 87,27% y un valor máximo del 98.75%. En conclusión, gran parte del área de estudio está constituida por un alto potencial de carbonato de calcio. Se recomienda extender la zona de estudio para continuar explorando y levantando información, con la finalidad de establecer un posible proyecto para la extracción del mineral.

Muñoz (2018), en su trabajo de tesis titulado “Evaluación de reservas y diseño del sistema de explotación del área minera Mary Elena”, llega a las siguientes conclusiones: El diseño de explotación que se propone es técnicamente viable, ambientalmente sostenible y económicamente rentable, por lo tanto, debe ser implementado en el Proyecto Minero Mary Elena; con la ayuda de Autocad Civil 2015 obteniéndose un total de 367222.5 toneladas como Reservas Probadas, considerando la característica que tiene la caliza de presentar oquedades; con el uso del software Vulcan 8.0 se obtuvo un total de 399325 toneladas y con el Gemcom 6.3 se calcula 399318.46 toneladas. Como Reservas Probables tenemos 1321851.66 toneladas y como Reservas Posibles 1714368.53 toneladas.

2.1.2 Nacionales

Gonzales, (2021). En su investigación titulada: “Cálculo de Reservas para la Extracción de Calizas de la Formación Cajamarca, entre las Localidades de Colqueteña y Otuzco” Se concluyó que determinar las reservas probadas y probables de extracción de calizas de la formación Cajamarca en las localidades de Colqueteña y Otuzco para fines industriales. El volumen calculado utilizando el método de perfiles fue de 71 335 112.8954 m³. El peso específico de las calizas se estimó en 2.5 TN/m³, con un tonelaje total calculado para el área de explotación de 831236.33 TN. Finalmente, se llevó a cabo un análisis de las calizas de la formación Cajamarca, las cuales presentaron un contenido promedio de CaO del 94%.

2.1.3. Locales

Orrilla, (2019) En su investigación titulada: Influencia del tipo de calizas de la calera Bendición de Dios E.I.R.L en la calidad del óxido de calcio, Cajamarca – 2019 concluye que

El propósito fue realizar un estudio físico-químico de las calizas para evaluar su impacto en la calidad del óxido de calcio. Se llevó a cabo el muestreo de 15 muestras de calizas procedentes de las formaciones Cajamarca y Celendín para realizar los análisis correspondientes tanto físicos como químicos. Se extrajo una muestra del producto final (óxido de calcio) para determinar el porcentaje de óxido de calcio efectivamente útil. Los resultados mostraron que ambas calizas tienen un contenido de sílice superior al 2%, lo cual no cumple con el mínimo requerido para calizas metalúrgicas. Además, se encontró que el porcentaje de óxido de calcio es del 85.54%. Se determinó que las calizas de la Formación Celendín contienen un 93.36% de CaCO_3 , comparado con el 90.87% de CaCO_3 encontrado en las calizas de la Formación Cajamarca. Esto indica que las calizas de la Formación Celendín tienen un 2.5% más de CaCO_3 , lo cual influye en la calidad del óxido de calcio obtenido.

Llovera, (2020). Realizó su investigación titulada: “Propuesta de plan de minado en la concesión minera no metálica monte alto caserío de Shiguas, distrito de Bambamarca, provincia de Hualgayoc, Cajamarca 2020”. Se procedió a calcular las reservas disponibles en la Cantera y a determinar el método y diseño para su explotación. Se planea extraer 880 toneladas mensuales, alcanzando un total de 10,560 toneladas anuales, con reservas totales de 67,992.3 toneladas de caliza listas para ser explotadas. La geología del área está compuesta por material sedimentario de la Formación Cajamarca, caracterizado por secuencias calcáreas del Cretáceo Superior con una potencia que alcanza hasta los 400 metros. Esta formación se distingue por su homogeneidad litológica, con bancos gruesos y duros que muestran estratificación regular y uniforme en tonos grisáceos. Las reservas probadas actualmente ascienden a 61,236 toneladas, con reservas probables adicionales de 6,756.3 toneladas y una ley de corte del 96%.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Caliza

La caliza es una roca sedimentaria formada principalmente por carbonato de calcio (CaCO_3), mayormente en forma de calcita, con trazas de magnesita y otros minerales como arcilla, sílice, óxidos de hierro y materiales orgánicos. Se origina por la acumulación de sedimentos orgánicos e inorgánicos, como conchas marinas, o por precipitación química de CaCO_3 en agua. Es una de las rocas más abundantes en la corteza terrestre y se utiliza ampliamente en diversas industrias.

2.2.2. Origen de las calizas

2.2.2.1. Origen Químico

El carbonato de calcio se disuelve fácilmente en aguas que contienen dióxido de carbono disuelto (CO_2). Cuando estas aguas, con alto contenido de CO_2 , desprenden abruptamente este gas en la atmósfera, generalmente ocurre la precipitación excesiva de carbonato de calcio según la siguiente reacción: $\text{Ca}^{2+} + 2(\text{HCO}_3^-) = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$. Esta liberación de CO_2 juega un papel importante en dos tipos de entornos: en las costas cuando aguas cargadas de CO_2 emergen a la superficie, y en tierra firme cuando las aguas subterráneas alcanzan la superficie. (Martínez, 2018).

2.2.2.2. Origen Biológico

Muchos organismos utilizan el carbonato de calcio para formar sus estructuras minerales, aprovechando su abundancia y la tendencia a precipitarse en aguas superficiales casi saturadas. Al morir, sus restos se acumulan como sedimentos, dando origen a gran parte de las calizas. En el pasado, la sedimentación calcárea fue más extensa, especialmente en épocas de climas cálidos, sin hielo en los polos y con mares de mayor nivel, cuando vastas áreas continentales estaban sumergidas. Actualmente, las plataformas carbonatadas son menos comunes, y los arrecifes marinos desempeñan un rol esencial en la fijación del carbonato de calcio. (Martínez, 2018).

2.2.3. Tipos de calizas

Dentro de los tipos de Caliza tenemos Caliza cretácea, dolomítica, bioclástica.

2.2.3.1. Caliza cretácea

Formada durante el período Cretácico, esta caliza a menudo contiene fósiles marinos.

2.2.3.2. Caliza dolomítica

Contiene además de carbonato de calcio, carbonato de magnesio (dolomita).

2.2.3.3. Caliza bioclástica

Se forma a partir de restos de organismos marinos y puede contener una gran cantidad de fósiles. Para la extracción de la caliza se puede realizar de canteras a cielo abierto o mediante minería subterránea.

2.2.4. Formación geológica de las Calizas

Carpio et.al. (2019) de manera sintética resume los dos procesos que contribuyen a la formación de calizas. Estas calizas son de origen químico y orgánico.

2.2.4.1. Origen químico

Los de origen químico se han formado por precipitación de disoluciones bicarbonatadas o carbonatadas con dióxido de carbono y agua.

2.2.4.2. Origen orgánico

Carpio et.al. (2019) Estas rocas se han formado por acumulaciones de caparzones de fósiles acuáticos (fragmentos de organismos como corales, bivalvos, briozoos y moluscos, que son las partes calcificadas de organismos).

2.2.5. Rocas sedimentarias Carbonatadas

Huang (2019) menciona que las rocas sedimentarias de carbonatos más importantes son las calizas, la dolomía y rocas afines. Las calizas han recibido especialmente este nombre ya que al ser quemadas se quita el dióxido de carbono y dejan finalmente la cal.

Estas rocas están formadas en su mayoría por carbonatos, cálcico (calcita en las calizas) o cálcico- magnésico (dolomita en las dolomías). La denominación de las rocas de composición intermedia puede efectuarse utilizando adjetivos como, caliza dolomítica, dolomita calcítica y caliza magnesiana. (Huang, 2019). Los carbonatos son sustancias compuestas por dos o más elementos en una proporción fija por peso, conteniendo carbono (C) y oxígeno (O) en la forma de CO_3 , con un átomo de carbono y tres átomos de oxígeno. Estos compuestos se clasifican en anhidros, hidratados y con o sin aniones adicionales. Los minerales de carbonato se agrupan en dos categorías principales: el primero incluye la calcita y la dolomita, mientras que el segundo incluye el aragonito. La calcita y la dolomita son particularmente importantes debido a su abundancia y amplia gama de aplicaciones, ya que son componentes fundamentales de numerosas rocas y minerales. (Díaz, 2009).

Tabla 1 Composición química de la calcita y dolomita

Mineral	Fórmula	Componentes	Porcentaje (%)
Calcita	CaCO_3	C + O	56,2
		Ca	43,8
Dolomita	$\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$	Mg	30,4
		Ca	21,7

Fuente: Dias (2009)

Las rocas carbonatadas más empleadas en la industria son las calizas y las dolomías. Las calizas son rocas sedimentarias compuestas principalmente por calcita (CaCO_3), mientras que las dolomías contienen tanto calcita como dolomita ($\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$). Otros carbonatos como el aragonito (CaCO_3), la siderita (FeCO_3), la ankerita ($\text{Ca}_2\text{MgFe}(\text{CO}_3)_4$) y la magnesita (MgCO_3) también se encuentran frecuentemente asociados con calizas y dolomías, aunque generalmente en cantidades menores.

Las calizas al estar formadas principalmente por calcita, su contenido de CaO y CO_2 viene a ser muy alto, llegando a ser en algunos casos más del 95% con porcentajes variables de impurezas (Huang, 2019).

Pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, calcedonia, entre otros, a veces alteran notablemente el color y la cohesión de la roca. La casi monomineralidad de las calizas facilita su identificación debido a dos características fundamentales de la calcita: su dureza, que alcanza un nivel de 3 en la escala de Mohs, y su efervescencia cuando se expone al ácido clorhídrico. En el contexto de las rocas ornamentales o como material de construcción, también se conoce a las calizas como piedra caliza. (Zarate, 2022).

En la naturaleza se encuentran diversos tipos de rocas calizas: las biohérticas se forman por la acumulación de esqueletos de organismos acuáticos que construyen arrecifes; las biostrómic, de origen similar, ocupan áreas más extensas y se presentan en estratos de grosor variable separados por capas de arcilla; las bituminosas son calizas de color negro que contienen compuestos orgánicos como queroseno y asfaltos; las de crinoides son calizas con dolomita, donde la calcita siempre representa más del 50% del total (de lo contrario serían dolomías); las calizas fétidas contienen cierto porcentaje de azufre reducido, emitiendo un olor desagradable a huevos podridos al ser golpeadas; y las litográficas, de grano fino y colores claros, se forman a partir de restos de organismos marinos microscópicos como foraminíferos y ciertas algas, por lo que también se conocen como calizas pelágicas. (Hernández, 2021). El uso de las calizas está principalmente determinado por su contenido de carbonato, especialmente en términos de grado químico, como se detalla en la tabla que sigue. Esta medida de pureza química es bastante directa y sirve para comparar cómo se distribuye la pureza entre diferentes tipos de calizas, facilitando así la evaluación de sus propiedades químicas (Contreras, 2017).

2.2.6. Principales usos de la caliza

La cal se usa principalmente en la metalurgia, donde actúa como fundente en la producción de acero y en procesos de oxigenación básica. También se emplea en la obtención de magnesio, aluminio y la fundición de metales ferrosos. En construcción, se utiliza para estabilizar suelos, carreteras y estructuras, además de mejorar la resistencia al agua del concreto. En la industria papelera, se usa como neutralizante en la fabricación de pulpa. Desde una perspectiva ambiental, la cal es clave en el tratamiento de aguas, eliminando metales pesados, desinfectando y previniendo la corrosión en tuberías. También se aplica en el tratamiento de desechos industriales, la industria alimentaria y la neutralización de suelos áridos. (Espino, 2013)

Según Zarate (2022), en cuanto a sus principales aplicaciones de importancia comercial se mencionan:

- a) La caliza, ya sea cortada, tallada o desbastada, se emplea como material de construcción o decorativo en forma de placas para revestimiento. Este uso es evidente en numerosos edificios históricos, que van desde las pirámides de Egipto hasta la Catedral de Burgos.
- b) Chancada se usa como árido de construcción. También suele usarse para la subbase de carreteras.
- c) Es un elemento muy importante del cemento gris usado en las modernas construcciones
- d) Es una roca muy importante como almacenamiento de petróleo, dada su gran porosidad.
- e) Otra aplicación común, aunque actualmente en retroceso, es la obtención de cal (CaO), por calcinación.

2.2.7. Descomposición térmica de las rocas carbonatadas

Todas las rocas carbonatadas se descomponen a elevadas temperaturas formando óxido y gas (CO_2). Siendo la descomposición térmica para la caliza la propiedad más importante. (Zapana, 2019)

Reacción térmica del CaCO_3 :

La temperatura a la cual la caliza comercialmente utilizable se descompone oscila entre 896 y 910 °C (a una presión parcial de CO_2 de 100 kPa). Este valor está principalmente influenciado por la pureza de la cal y las impurezas presentes. La presencia de contaminantes como SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 puede reducir significativamente esta temperatura de descomposición en varios cientos de grados. (Zapana, 2019).

2.2.8. Características de las calizas

En la presente tabla se muestran las características que presentan las calizas, dolomitas y el óxido de calcio:

Tabla 2 Propiedades de las Caliza

Propiedades	Datos
Coeficiente de dilatacion	20.50°: 0.000005/°C. la dilatacion total de la caliza durante el proceso de calentamiento desde 20°C a 800°C es de aproximadamente 2- 2.4%
Conductividad termica	Caliza a 130° 1.6341 W/mK Dolomita a 123°C 1.4246 W/mK
calor integrado	CaCO ₃ A 100°C 0.874KJ/Kg°C (0.209kcal/Kg°C) A 800°C 1.104KJ/Kg°C (0.264kcal/Kg°C) CaO A 100°C 0.786KJ/Kg°C (0.188kcal/Kg°C) A 800°C 0.887KJ/Kg°C (0.212kcal/Kg°C)
Resistencia	Resistencia a la compresion: 10- 200MPa Resistencia al cizallamiento: 5- 20 MPa Resistencia a la traccion: 2-7MPa
Propiedades quimicas	La caliza y la dolomita no se ven atacadas por el agua libre de CO ₂ . La descomposicion solo puede producirse a temperaturas muy elevadas o en la reaccion quimica con potenteros acidos

Fuente: (Vilca, 2019).

2.2.9. Óxidos Totales

Los contenidos porcentuales de MgO, SiO₂, Fe₂O₃ y Al₂O₃ se consideran impurezas tanto en el óxido, hidróxido y carbonato de calcio. Para calcular el porcentaje total de óxido en una muestra de óxido de calcio, se debe realizar una serie de cálculos: (Zarate, 2022)

2.2.10. Óxidos Disponibles

El óxido disponible se define como el óxido de calcio que es efectivamente útil y que reacciona con el agua durante el proceso de hidratación. (Zarate, 2022)

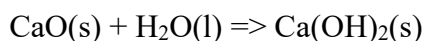
2.2.11. Pérdidas por Calcinación

Nos informa sobre el porcentaje de carbonato de calcio (CaCO₃) que permanece en la piedra de óxido de calcio (CaO) tras el proceso de calcinación. (Zarate, 2022)

2.2.12. Óxido de Calcio

El óxido de calcio (CaO) se obtiene al someter el carbonato de calcio a altas temperaturas, liberando dióxido de carbono y produciendo cal viva. Al agregarle agua, se transforma en cal

apagada o hidróxido de calcio. Físicamente, es un sólido cristalino blanco, inodoro, con alta estabilidad térmica, presentando puntos de fusión y ebullición de 2572 °C y 2850 °C, respectivamente. Su peso molecular es de 55,958 g/mol y posee propiedades termoluminiscentes, emitiendo una intensa luz blanca al exponerse a la llama. Además, los iones Ca^{2+} generan una llama rojiza al contacto con el fuego. Como óxido básico, tiene gran afinidad por el agua, siendo higroscópico, lo que le permite absorber humedad y formar hidróxido de calcio:



Esta reacción es exotérmica (desprende calor) debido a la formación de un sólido con interacciones más fuertes y una red cristalina más estable. Sin embargo, la reacción es reversible si se calienta el Ca(OH)_2 , deshidratándolo y encendiendo la cal apagada; entonces, la cal “renace”. (Vilca, 2019).

2.2.13. Reactividad

Esta característica de la cal viva se relaciona con la rapidez con la que el óxido de calcio reacciona al entrar en contacto con el agua, es decir, cómo aumenta la temperatura con el tiempo. Esta propiedad es crucial en diversos procesos, especialmente en aquellos que implican la hidratación, donde se busca una reactividad alta. No obstante, en ciertos procesos como la producción de concreto celular, se prefiere utilizar cal con una reactividad baja



Figura 1. Proceso de baja reactividad de la cal

Fuente: (Vilca, 2019).

2.2.14. Proceso de explotación de las calizas

Las rocas sedimentarias conocidas como calizas están formadas por al menos un 50% de calcita (CaCO_3) y dolomita ($\text{Ca, Mg (CO}_3\text{)}$), con mayor presencia de calcita. Si la dolomita predomina, se llama dolomía. La caliza sirve como aglomerante, neutralizante, escorificante y fundente. El proceso para la obtención de cal que se presentan a continuación.

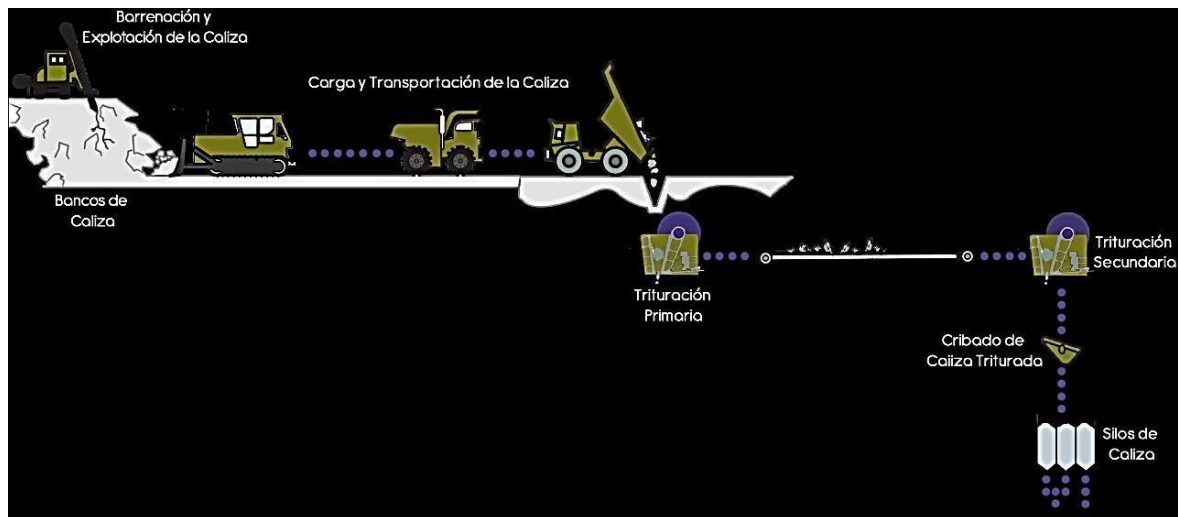


Figura 2. Proceso de la extracción de las calizas

Fuente: (Foccal, 2018).

2.2.15. Óxido de calcio

El óxido de calcio (CaO), conocido como cal viva, se obtiene al calcinar la piedra caliza (CaCO_3) a temperaturas de 900 a 1200 °C, liberando dióxido de carbono y formando óxido de calcio. Este proceso se realiza en hornos rotatorios o tradicionales. El CaO reacciona vigorosamente con agua, alcanzando hasta 90 °C y produciendo hidróxido de calcio (cal apagada), que deshidrata los tejidos orgánicos debido a su afinidad por el agua. El hidróxido de calcio reacciona con el dióxido de carbono del aire, formando nuevamente carbonato de calcio, lo que endurece la masa en los morteros. Por esta razón, se usa como aglutinante en la construcción, en el enlucido de paredes y en el encalado de muros. Desde la antigüedad, ha sido empleado en la construcción de viviendas mediterráneas y en la fabricación de fuego griego. En Latinoamérica, se utiliza en la nixtamalización, un proceso esencial para producir masa de maíz y tortillas.

Dentro de las propiedades físico químicas tenemos las siguientes.

- Fórmula química: CaO
- Punto de fusión: 2,572 °C (4,662 °F)
- Densidad: 3.34 g/cm³
- Solubilidad: Insoluble en agua, pero reacciona fuertemente para formar hidróxido. Así mismo dentro de las aplicaciones se tiene:
- **Producción de cemento:** Se utiliza en la fabricación de cemento como un componente importante en el proceso de clinkerización.

- **Industria metalúrgica:** Se utiliza como fundente para ayudar a eliminar impurezas durante la fundición de metales.
- **Tratamiento de aguas:** Se utiliza para estabilizar y ajustar el pH en tratamientos de agua.
- **Agricultura:** A veces se aplica en el suelo agrícola como enmienda para corregir la acidez y proporcionar calcio a las plantas.

Desulfuración de gases de combustión: Se utiliza para capturar dióxido de azufre (SO_2) en procesos de desulfuración.

2.2.16. Procesamiento de la cal

El procesamiento de la cal consiste en obtener óxido de calcio (CaO) a partir de la piedra caliza (CaCO_3) mediante un proceso de calcinación. Esta operación implica la descomposición térmica de la caliza, liberando dióxido de carbono y produciendo cal viva, un insumo clave en la industria y la agricultura. Cuando la cal viva se mezcla con agua, se transforma en hidróxido de calcio (cal hidratada), un polvo blanco, seco y de textura fina, ampliamente utilizado en diversas aplicaciones.

2.2.17. Etapas para la producción de cal

Para la obtención de la cal se consideran cinco etapas:

- Extracción de la Materia Prima
- Trituración
- Selección
- Calcinación
- Hidratación
- y Envase.

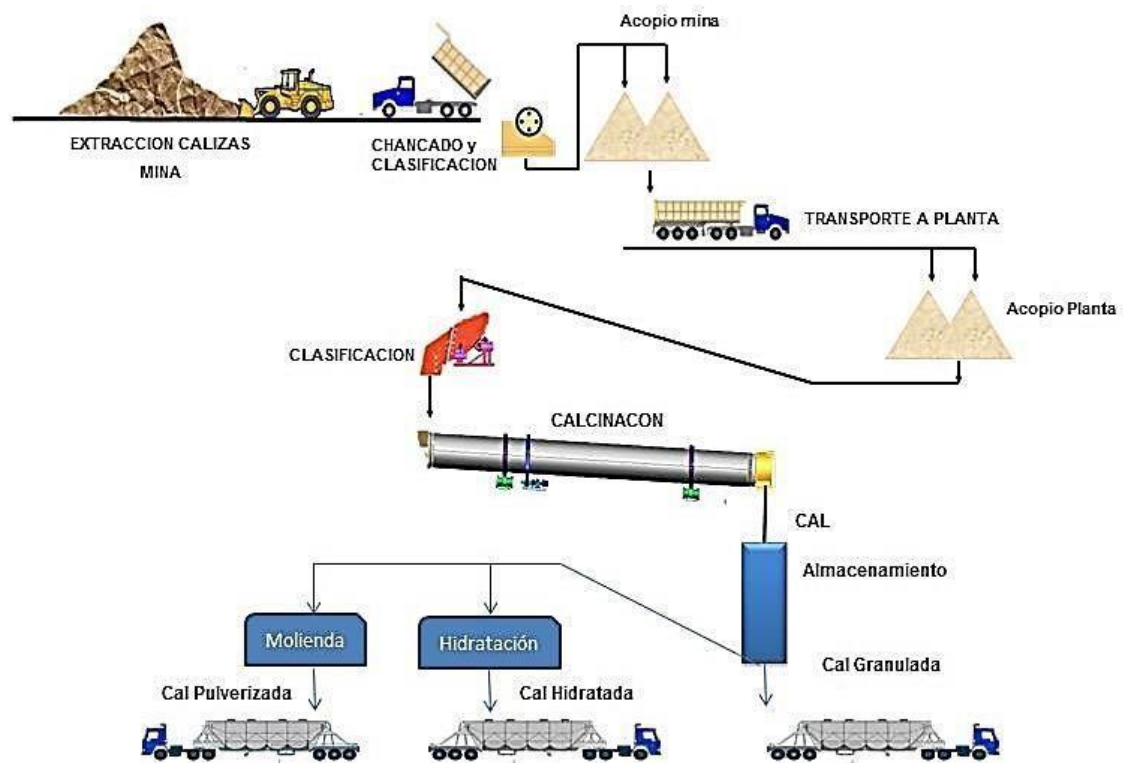


Figura 3. Diagrama de flujo de elaboración de la cal

Fuente: (Jopia, 2018).

2.2.17.1. Extracción

La extracción de caliza es un proceso clave en la industria minera, ya que esta roca es una materia prima esencial para la producción de cemento, cal, construcción y agricultura, entre otras aplicaciones. La caliza se obtiene de canteras o minas, donde la pureza de la roca es un factor crítico para la calidad del producto final. El proceso comienza con la remoción del material vegetal, seguida de la perforación conforme a un plan de minado. Luego, se cargan explosivos para realizar el tumble, tras lo cual el material fragmentado se carga y se transporta al sistema de trituración. Antes de iniciar la extracción, se realiza una exploración geológica para identificar y evaluar la presencia de depósitos de caliza. Esto implica estudios geológicos, muestreo de suelos y rocas, y análisis para determinar la calidad y cantidad de la caliza.

2.2.17.2. Trituración

La trituración de la caliza es esencial para obtener tamaños y formas específicas del material, utilizado en sectores como la construcción, fabricación de cemento y agricultura. Este proceso reduce el tamaño de las rocas extraídas mediante maquinaria especializada, triturando y moliendo la caliza para obtener partículas más pequeñas. Esto aumenta la

superficie de reacción durante la calcinación. Los fragmentos resultantes se homogenizan en tamaño, se tamizan y luego se transportan a su siguiente destino.

A continuación, muestro una descripción general del proceso de trituración de la caliza:

2.2.17.3. Manejo de la roca caliza

Es importante seleccionar la roca caliza idónea para luego ser transportada a la planta de alimentación del horno y donde se la van a calcinar.

2.2.17.4. Calcinación

La calcinación es el proceso central en el que la piedra caliza se calienta a temperaturas elevadas (alrededor de 900-1000 grados Celsius) en hornos especiales. Durante este proceso, la piedra caliza libera dióxido de carbono y se forma óxido de calcio según la reacción



Para producir cal, las rocas calizas se cocinan en un horno de alta eficiencia, donde circulan corrientes de aire caliente a través de los poros y cavidades de los fragmentos. Durante este proceso, las rocas liberan dióxido de carbono, formando óxido de calcio. Debido al tamaño y forma uniforme de los fragmentos, la cocción se realiza de manera que la calcinación ocurra de forma completa y uniforme, comenzando desde la superficie hacia el centro de la roca.

Gas natural

El gas natural está compuesto por una variedad de hidrocarburos gaseosos, siendo el metano el componente principal, que constituye más del 90% del total. También se encuentran en proporciones menores el etano, propano, butano, pentano, y pequeñas cantidades de gases inertes como dióxido de carbono y nitrógeno.

2.2.17.5. Enfriamiento

Después de la calcinación, el óxido de calcio se enfría para prevenir la recarbonatación, lo cual es esencial para mantener la calidad del producto final. Este proceso debe controlarse cuidadosamente. Luego, la cal enfriada puede ser manejada de manera segura, mientras que los gases calientes generados se redirigen al horno para alimentar a la siguiente planta, si corresponde **2.2.17.6. Cribado**

Este procedimiento implica separar la cal viva en trozos, los cuales deben ser triturados y pulverizados. Durante esta etapa, también se separan los fragmentos que no se calcinaron adecuadamente, los cuales se enviarán de nuevo al proceso de hidratación.

2.2.17.7. Trituración y pulverización

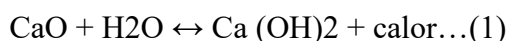
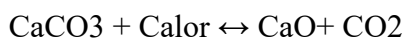
Esta etapa se realiza con el propósito de reducir más el tamaño y así obtener cal viva molida y pulverizada.

2.2.17.8. Hidratación

En algunas aplicaciones, el óxido de calcio se hidrata al mezclarlo con agua, formando hidróxido de calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$. Esta reacción es exotérmica y se usa en la preparación de morteros y otros productos. La cal se mezcla con agua de manera controlada, con menos del 1% de humedad por agua no reaccionada. El proceso de "hidratación" dispersa el hidróxido de calcio en agua. Aunque las reacciones químicas son simples, la fisicoquímica involucrada en el proceso es compleja.

2.2.18. Propiedades fisicoquímicas de la cal hidratada

La cal hidratada se obtiene a temperaturas mayores a los 800°C con un componente de la cal viva de alto Calcio, generalmente reacciona fácilmente con agua, liberando calor (276Kcal/Kg de CaO), a temperatura mayores la reacción ocurre en forma inversa como se muestra en la ecuación 1.



2.2.19. Propiedades físicas del proceso de hidratación de cal

Cuando la cal viva se hidrata, puede alcanzar temperaturas de hasta 100°C . Se añade el doble de agua debido a la relación estequiométrica, y el exceso se libera como vapor, absorbiendo calor. Es importante agregar agua bajo agitación para evitar el sobrecalentamiento. Durante el proceso, el agua migra a través de los poros de la cal, causando su expansión y liberación de calor, lo que expone nuevas superficies para una hidratación continua. Si se produce sobrecalentamiento, la cal hidratada puede tener una textura arenosa, con partículas que se hidratan demasiado rápido, formando núcleos no hidratados. Para evitar esto, se debe reducir el tamaño de las partículas a menos de 10 mm. Algunos de los factores que afectan la hidratación son:

- La reactividad
- La densidad aparente
- La distribución de la densidad de partícula
- La distribución del tamaño de partícula
- % de Carbonato
- % de sulfatos
- % de óxido de Magnesio (por el tipo de piedra es bajo el porcentaje)
- Otras impurezas, sobre todo en la superficie

- Si el material esta triturado

2.2.20. La cal en la construcción

Desde la antigüedad, la cal ha sido utilizada en la arquitectura, siendo actualmente el sector de la construcción el mayor consumidor de este material. La calidad del producto es fundamental para garantizar la durabilidad, resistencia y economía de los trabajos. Tanto la cal apagada (hidróxido de calcio) como la cal viva (óxido de calcio) son esenciales en la preparación de morteros y la construcción de estructuras.

2.2.21. Mortero de Cal

La cal se ha utilizado tradicionalmente en la preparación de morteros, que consisten en cal apagada, arena y agua. Durante el proceso de carbonatación, la cal reacciona con el dióxido de carbono del aire, formando hidróxido de calcio y proporcionando cohesión a la mezcla. Los morteros de cal son apreciados por su flexibilidad y capacidad para adaptarse a los movimientos de las estructuras, además de tener propiedades de autorreparación, ya que continúan endureciéndose con el tiempo al absorber dióxido de carbono.

2.2.22. Consolidación y Restauración

En la restauración de edificios antiguos y monumentos históricos, la cal se utiliza a menudo para consolidar y reparar estructuras de albañilería. La cal puede ayudar a preservar la autenticidad de las construcciones históricas al proporcionar una compatibilidad química y mecánica con los materiales originales.

2.2.23. Pinturas de Cal

En algunas regiones, se utilizan pinturas de cal para revestir paredes exteriores e interiores. Estas pinturas son transpirables y ayudan a regular la humedad en las paredes.

2.2.24. Adición a Mezclas de Cemento

En la fabricación de cemento, la cal a menudo se agrega en pequeñas cantidades para mejorar la trabajabilidad y la durabilidad del cemento.

La adición de cal puede reducir la posibilidad de fisuración y mejorar la resistencia a los sulfatos en ciertos ambientes agresivos.

2.2.25. Estabilización de Suelos

La cal también se utiliza para estabilizar suelos en proyectos de construcción de carreteras y cimentaciones. La adición de cal puede mejorar las propiedades del suelo, como la cohesión y la resistencia, lo que facilita la construcción en terrenos problemáticos.

2.2.26. Aislamiento Térmico

Los morteros y revestimientos de cal también pueden tener propiedades aislantes, contribuyendo al ahorro de energía en edificaciones.

2.2.27. Concreto

El concreto, compuesto por cal hidratada, arena, grava y cemento, mejora su fluidez y ofrece ventajas como la protección del acero de refuerzo, mayor impermeabilidad y reducción de costos. La cal hidratada, al tener partículas más finas que el cemento, ayuda a compactar el concreto y a llenar los espacios vacíos. Además, reduce las eflorescencias, previene agrietamientos y mejora la resistencia a cambios de temperatura. Su capacidad para retener agua favorece el fraguado, especialmente en climas cálidos o secos, permitiendo que el concreto alcance su máxima resistencia.

2.2.28. La pintura

El producto generado por la cal hidratada es un líquido blanco y espeso que puede ser pigmentado; en muchos lugares es utilizado para cubrir paredes lográndolas protegerlas y como decoración a muy bajo costo. Este tipo de pintura permite que la pared transpire.

2.2.29. Impermeabilizante

El impermeabilizante a base de cal hidratada es utilizado desde tiempos pasados. Esta solución impermeabilizante de aspecto cristalino se aplica sobre las superficies expuestas, penetrando los poros y creando una capa protectora que perdura por mucho tiempo.

2.2.30. Adobes estabilizados

La construcción con adobes estabilizados con cal hidratada ofrece una opción ecológica y económica, proporcionando beneficios como aislamiento térmico, resistencia al agua y mayor durabilidad contra movimientos y vibraciones, lo que resulta en estructuras más robustas. La cal hidratada estabiliza la masa de arcilla, facilitando la modelación de los adobes y permitiendo obtener las dimensiones y formas adecuadas mediante presión.

Reservas minerales: Se define como reservas minerales a la parte de un yacimiento mineral que es factible de explotar desde el punto de vista económico y legal al momento de su evaluación. Su estimación implica la realización de evaluaciones detalladas que consideran aspectos mineros, metalúrgicos, económicos, ambientales, de mercado, sociales y gubernamentales, potencialmente incluyendo estudios de factibilidad. Las reservas minerales incluyen solo el mineral recuperable y diluido, expresado en términos de tonelaje y leyes. El término "económicamente minable" indica que la extracción de estas reservas ha demostrado ser viable desde el punto de vista de la inversión. Generalmente se aplica a minerales

metálicos y requiere determinar una ley mínima explotable (Cut-Off), que se calcula en función de costos totales, resultados metalúrgicos, condiciones de mercado y precio de los metales. Una vez establecido el Cut-Off, el yacimiento desarrollado se divide en bloques de mineral según su valor, certeza y accesibilidad, para definir las reservas minerales que pueden ser accesibles de manera actual o eventualmente en el futuro

2.2.31. Recursos Minerales

Un recurso mineral se define como una concentración o presencia de material de valor económico tanto dentro como fuera de la corteza terrestre, donde existen perspectivas razonables de una posible explotación económica debido a su calidad, cantidad y características geológicas conocidas, estimadas o interpretadas con base en evidencias específicas y conocimientos geológicos. Los recursos minerales se clasifican según la confianza geológica decreciente en medidos, indicados e inferidos, indicando únicamente el nivel de certeza. No se consideran recursos minerales aquellas partes de un yacimiento que carecen de perspectivas razonables de ser económicamente explotables. El concepto de "perspectivas razonables de una eventual explotación económica" implica un criterio preliminar de valor económico evaluado por un competente en términos técnicos y económicos, considerando los factores que podrían influir en la viabilidad económica, incluidos los parámetros mineros aproximados. En resumen, un recurso mineral no es un inventario completo de toda la mineralización perforada o muestreada, independientemente de la ley de corte (Cut-Off), las posibles escalas de producción, ubicación y continuidad. Es más bien una evaluación realista del yacimiento mineral que, bajo condiciones técnicas y económicas asumidas y justificables, podría llegar a ser económicamente explotable total o parcialmente, asignándole valores de mena y/o marginal.



Figura 4. Relación entre los resultados de Exploración, Recursos y Reservas

2.2.32. Cálculo de reservas Las reservas mineras son los minerales que pueden ser extraídos de manera legal, económica y técnica. Su estimación determina la cantidad, calidad y viabilidad comercial de los minerales en un yacimiento, y es clave para la planificación de la explotación minera, el procesamiento del mineral y la restauración ambiental. Este proceso se realiza mediante la modelación del yacimiento y se divide en tres etapas: exploración, evaluación y clasificación. La estimación de reservas es un proceso continuo, que comienza con la exploración y sigue durante la explotación, considerando factores como los métodos de minería, la metalurgia y los aspectos ambientales y legales. Las reservas se calculan en toneladas métricas o, en el caso de metales preciosos, en onzas. (Luque 2017). La estimación de reservas es esencial en proyectos mineros, ya que determina la cantidad de mineral extraíble y la rentabilidad del proyecto. Este cálculo incluye una evaluación detallada del mineral recuperable, considerando tonelaje y ley (porcentaje de mineral económicamente aprovechable). También se deben tener en cuenta los aspectos técnicos y legales que impactan la viabilidad de las reservas, cuya explotación está influenciada por marcos legales y técnicos actuales y futuros. (Rebaza, 2015). Las reservas mineras son cifras que cambian con el tiempo, influenciadas por la extracción del mineral o variaciones en la viabilidad económica. Por ejemplo, una caída en los precios de un metal puede aumentar la ley de corte, reduciendo la cantidad de mineral explotable. También pueden incrementarse si se descubren nuevos depósitos o si avances tecnológicos hacen rentables áreas previamente no viables. En comparación, un recurso es cualquier concentración natural de materiales cuya extracción es posible o potencial, mientras que las reservas son la porción de esos recursos que son económicamente extraíbles, considerando factores geológicos, metalúrgicos, geotécnicos, ambientales, sociales y gubernamentales. (Luque, 2017). Las reservas pueden ser:

2.2.33. Tipos de reservas por su certeza

2.2.33.1. Probado

Las reservas probadas son aquellas cuya estimación se basa en información detallada y confiable obtenida mediante técnicas de exploración precisas, como muestreos en afloramientos, tajos, labores subterráneas y sondajes. Estas reservas tienen un alto nivel de certeza en cuanto al tonelaje y la ley del mineral, con características geológicas bien definidas, lo que permite determinar con precisión su tamaño, forma y contenido. Esta categoría proporciona el mayor grado de confianza, minimizando el riesgo de discontinuidad y sirviendo como base sólida para decisiones de inversión y desarrollo minero. Valenzuela y Buendía (2020)

2.2.33.2. Probable

Las reservas probables son aquellas cuyo volumen se estima con un nivel de confianza razonable, basándose en muestras más dispersas que las de las reservas probadas. Aunque se asume una alta continuidad geológica y de ley, el riesgo de discontinuidad es mayor, con un coeficiente de certeza del 75%. Valenzuela y Buendía (2020)

2.2.34. Método de cálculo de reservas

2.2.34.1. por Triangulación

El método de triangulación utiliza tres perforaciones adyacentes para crear prismas rectangulares, conectando los sondeos existentes con líneas rectas. La ley de cada prisma se calcula como el promedio de las leyes de las perforaciones o un promedio ponderado. Este enfoque reduce la incertidumbre y mejora la precisión, especialmente en depósitos con poca variación en su espesor. (Morales, 2014)

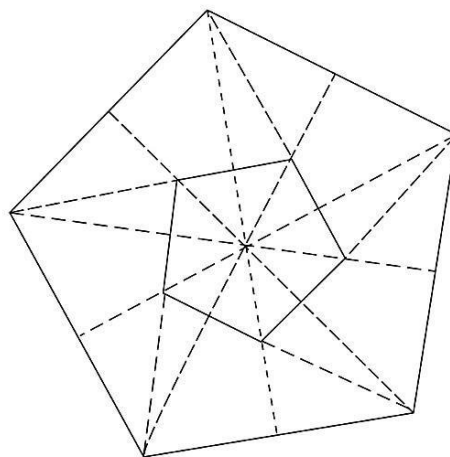


Figura 5. Método Clásico por Triangulación

(Castillo & Piscoya, 2021)

2.2.34.2. Método de secciones

El Método de Secciones es una técnica para estimar las reservas minerales en yacimientos de forma irregular, usando secciones transversales construidas a partir de perforaciones. Cada sección define el límite de la zona mineralizada, y el volumen total del bloque se calcula sumando los volúmenes parciales obtenidos multiplicando las áreas de las secciones por su espesor. El promedio del bloque se obtiene a partir de los datos de las secciones adyacentes. (Cuador, 2013)

$$(A1 + A2 + A3)$$

Donde:

V_t : Volumen total de material (m^3)

A_s : Área del depósito en la sección

J_s : Espesor del bloque representado por la sección n y

s : total número de secciones

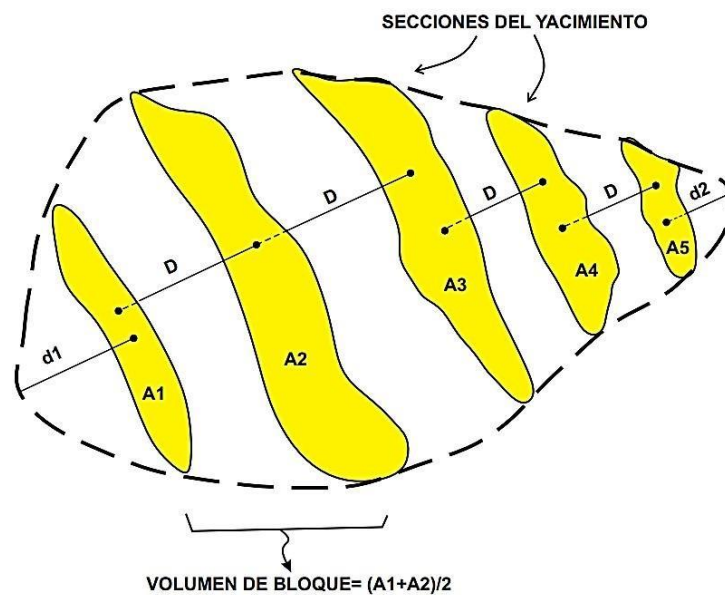


Figura 6. Esquema de secciones de un yacimiento

Fuente: Castillo & Piscoya, (2021)

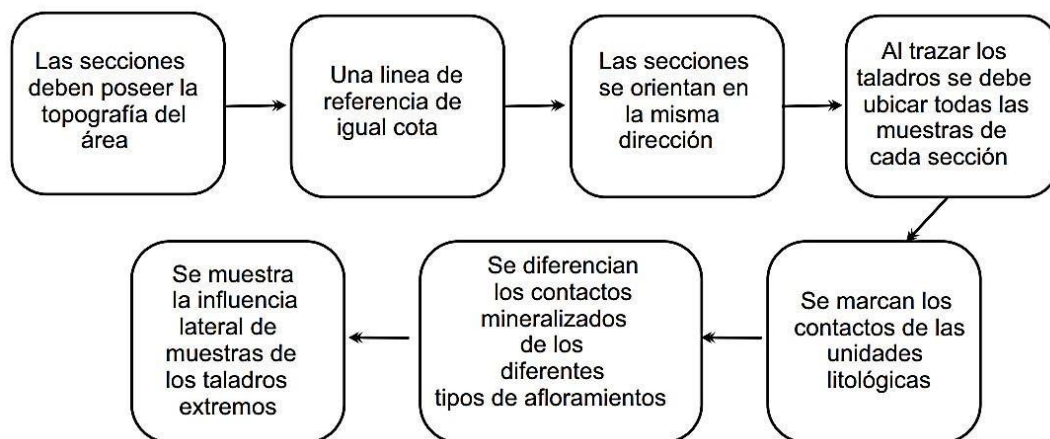


Figura 7. Etapa de la estimación de recursos mediante el método de secciones

Fuente: Castillo & Piscoya (2021)

2.2.34.3. Método de los Contornos

El cálculo de reservas por el método de los contornos no está fundamentado en las curvas de nivel que puede tener un mineral en proyección horizontal, más bien este método se aplica mejor para cuantificar estéril a mover.

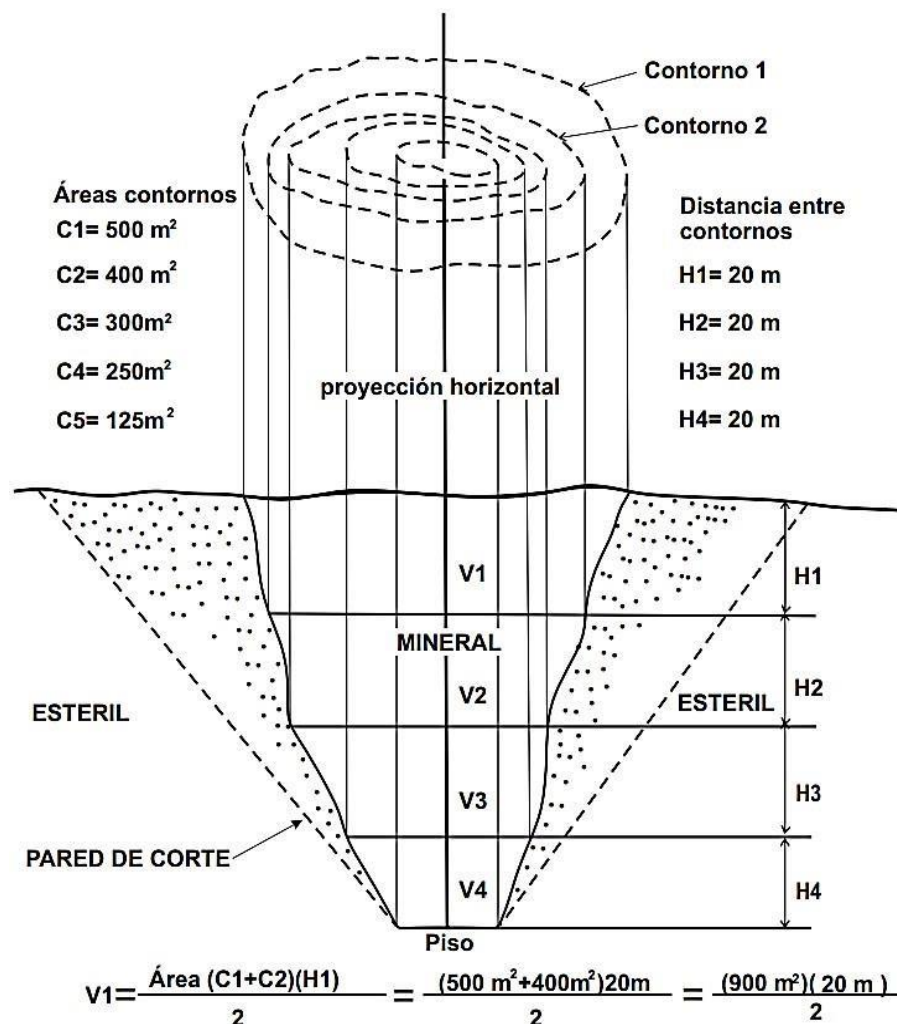


Figura 8. Método por Contornos

Fuente: Centro Nacional Minero (2015)

2.2.34.4. Método de los Polígonos

Este método se utiliza cuando los sondeos están distribuidos de manera irregular. Consiste en construir polígonos alrededor de cada sondeo, asignando a cada uno sus parámetros de espesor, densidad y ley, bajo la suposición de que estos permanecen constantes dentro de su área de influencia. Los polígonos se crean mediante dos métodos: bisectrices perpendiculares, donde los vértices se definen por los puntos de corte de las mediatrices entre sondeos, o bisectrices angulares, donde los vértices se definen por el corte de las bisectrices

de los ángulos formados por las líneas que unen los sondeos. Este enfoque ayuda a representar áreas de influencia en un mapa de labores mineras. (Maza, 2017).

Bustillo y López (1997) definen la utilización de este método a yacimientos que poseen poca variación en la calidad del material que presenta el yacimiento.

El método de los polígonos se basa en lo siguiente: Asignar a cada punto del espacio la ley del dato más próximo. Para estimar una zona S se ponderan las leyes de los datos por el área (o volumen) de influencia Si. (Alfaro, 2007)

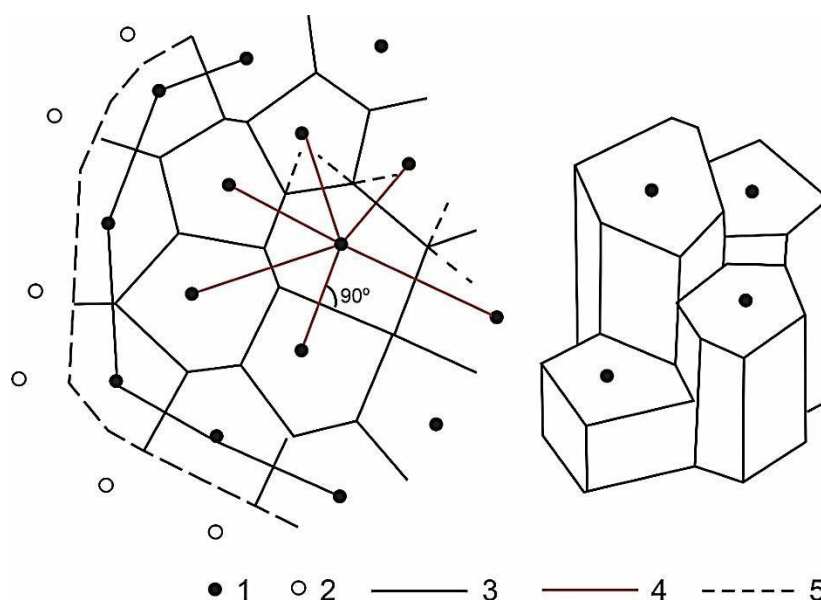


Figura 9 Cálculo de reservas por el método de los polígonos

Fuente: (Alfaro, 2007)

2.2.34.5. Métodos de Capas

Los modelos de capas son utilizados en yacimientos estratigráficos, aplicando bloques con altura variable según el grosor de los estratos. Estos modelos asumen que los estratos no se cortan entre sí y que las zonas mineralizadas pasan por los sondeos exploratorios. A diferencia del modelo de bloques, donde se asignan características a cada punto del yacimiento en coordenadas (X, Y, Z), en el modelo de capas estas asignaciones se realizan en coordenadas (X, Y) de las capas C1, C2... Ci. La altura de cada sección se estima según la altura de la capa correspondiente en ese punto específico. Este enfoque ofrece ventajas significativas para la interpolación geológica, especialmente en yacimientos con numerosas capas, fallas y pliegues. (Reinoso, 2015)

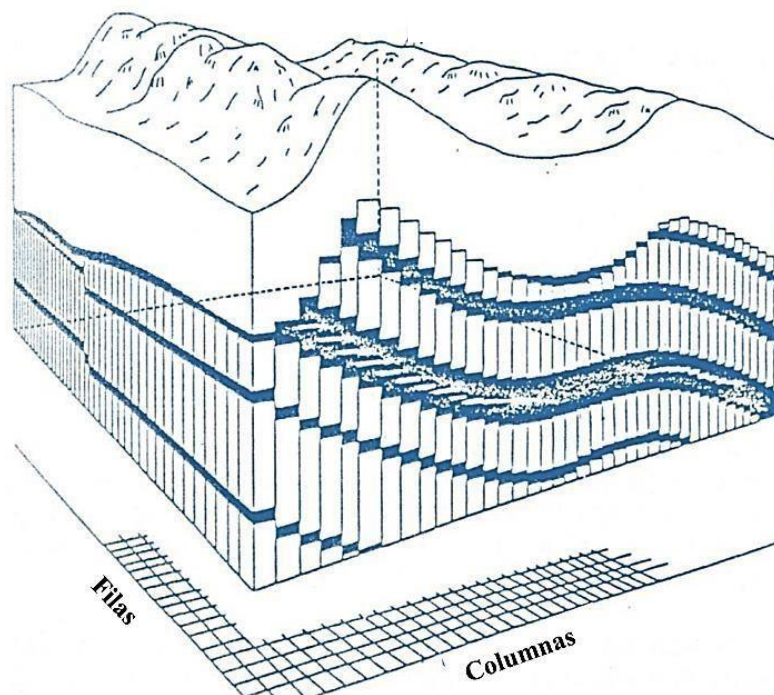


Figura 10. Modelo de capas

Fuente: (Reinoso, 2015)

El Método de Capas divide el yacimiento en capas horizontales para calcular las reservas mineralizadas en cada una. La selección del método de explotación, como minería a cielo abierto, subterránea o mediante lavado y dragado, depende de las características del yacimiento y busca una extracción técnica y económicamente eficiente. (Luque, 2017).

2.2.34.6. Método de la distancia ponderada o de la Inversa de la Distancia

El método de distancia ponderada asigna valores a bloques o puntos mediante la combinación ponderada de las muestras más cercanas, bajo la premisa de que la influencia de un dato disminuye con la distancia. Este enfoque, basado en la Ley de Variación Gradual, es ampliamente utilizado para interpolar datos de variables no muestreadas. La selección del exponente para la función inversa de la distancia es clave, ya que determina cómo influye la distancia en los valores ponderados; exponentes comunes son 2, 3 y 1. El radio de influencia, definido por el explorador, depende de factores como el tipo de mineralización y la dispersión de las leyes.

$$Z_m = \frac{\sum_{i=1}^n z_i \left(\frac{1}{d_i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i} \right)^2}$$

Donde:

Z_i = Es la variable en cada punto (ley, potencia, etc) Z_m = Es el valor medio de la variable ponderada d_i =es la distancia entre cada sondeo y el epicentro del bloque

Al incrementar el exponente en la fórmula, se incrementa la influencia de las muestras cercanas al punto de estimación. Usualmente, se establece que el exponente tiene un valor de 2, según se indica en la fórmula. **Ventajas**

Implementación sencilla, facilidad de uso, asigna pesos a cada muestra basados en su distancia al punto de estimación. **Desventajas**

Los pesos de cada muestra se calculan mediante un criterio geométrico y no tienen en cuenta la agrupación de los datos.

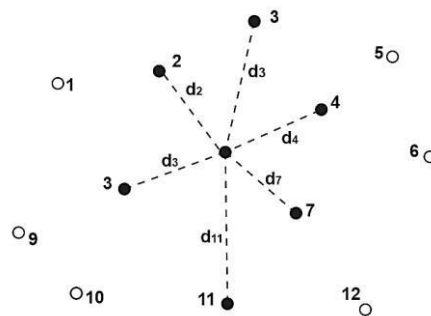


Figura 11 Método de la Inversa de la Distancia

Fuente: Reinoso, (2015)

2.2.35. Normas de cubicación

Para realizar un cálculo preciso de las reservas en cualquier mina, se deben seguir varios pasos clave:

- Realización de muestreos sistemáticos.
- Corrección de leyes debido a factores como variaciones erráticas y errores de muestreo.
- Consideración de la dilución de leyes, incluyendo el ancho de muestra, el ancho mínimo de explotación, el tipo de cajas y el sistema de explotación.
- Dimensionamiento de los bloques de mineral utilizando criterios geológicos y geométricos.
- Realización de un inventario de minerales.
- Clasificación de las reservas minerales según criterios de certeza, accesibilidad y valor.
- Determinación final de las reservas minerales.

El cálculo del tonelaje de las reservas se basa en el muestreo documentado en los planos, y la consistencia de las leyes en los depósitos ayuda a evitar valores erráticos, sin necesidad de ajustes punitivos. Los cuerpos minerales homogéneos en dureza y ley aseguran que los ensayos tengan poca variabilidad, como se confirma con muestreos exhaustivos en la zona.

2.2.35.1. Determinación de la ley promedia

La ley promedio de cada bloque se determina dividiendo la suma del mineral extraído entre la suma de su ancho. Así, la ley de cada bloque se calcula utilizando las leyes medias de los frentes expuestos que lo delimitan, teniendo en cuenta también que la ley promedio del bloque se determina en relación con la longitud de sus lados:

Donde:

L= Largo del Block

A= Ancho del block

2.2.35.2. Determinación de ancho promedio

Para calcular el ancho promedio, se suma el ancho medido en cada muestra y se divide entre el número total de muestras. Luego, para determinar el ancho de cada bloque, se multiplica el ancho promedio de los lados que lo limitan por las longitudes respectivas (L); la suma de estos productos se divide entre la suma de las longitudes del periodo del bloque

2.2.35.3. Cálculo de área

El área de los bloques se calculará utilizando métodos geométricos, siendo el resultado de multiplicar la longitud por la altura de cada bloque.

2.2.35.4. Cálculo de volumen

Los volúmenes se calcularon multiplicando el área obtenida de los bloques por la potencia media de cada uno. También es crucial considerar el buzamiento. En el caso de bloques regulares, se multiplica la longitud por la altura para obtener el área; mientras que en los irregulares, se utiliza un planímetro en una sección longitudinal a escala. Por lo tanto, el volumen de los bloques se determina de la siguiente manera:

$$\text{Volumen} = \text{Área} \times \text{Potencia media}$$

2.2.35.5. Cálculo del tonelaje

Con el conocimiento de la densidad específica del mineral, determinada por métodos exclusivamente geológicos, es posible calcular fácilmente el tonelaje del bloque utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Tonelaje} = \text{Volumen} \times \text{Peso específico}$$

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Caliza: Se define de esta manera a una roca sedimentaria que consiste principalmente en carbonato de calcio (CaCO_3), típicamente en forma de calcita.. (Morales, 2014)

Cal: Se define así como el resultado de calentar piedra caliza por debajo de la temperatura en la cual se descompone el óxido de calcio. Al calentar la piedra caliza a 900°C , pierde dióxido de carbono (CO_2) y se transforma en cal viva. (Cuador, 2013).

Extracción: Se prepara el área de trabajo desmontando y realizando el descapote. Luego se perfora según el plan de minado establecido, se carga explosivos y se efectúa la voladura inicial, seguida por el desmonte, la extracción, la carga y el transporte hacia la planta de trituración. (Reinoso, 2015)

Ley de CaCO_3 : La ley de CaCO_3 se define como el porcentaje de carbonato de calcio presente en la roca caliza. Se considera que una caliza tiene una buena ley cuando contiene más del 95% de carbonato de calcio. (Morales, 2014)

Minería no metálica: La minería no metálica se enfoca en la extracción de minerales y recursos naturales que no contienen metales. Esta categoría incluye una diversidad de minerales y materiales utilizados en múltiples industrias. Es una actividad económica relacionada con la extracción de materias primas con el objetivo de obtener beneficios económicos. (Morales, 2014)

Operaciones mineras: Conjunto de actividades requeridas para aprovechar un depósito mineral y, en ocasiones, las instalaciones necesarias para procesar el mineral extraído. (Olórtégui, 2014)

Reserva Minera: Una reserva se define como la parte del recurso medido o indicado que puede ser económicamente extraída según un escenario planificado basado en consideraciones productivas, ambientales, económicas y financieras derivadas de un plan minero. (Gavilanes & Torres, 2014)

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

3.1.1. Geográfica

El Distrito de Jorge Chávez se ubica en la parte norte del Perú, en el departamento de Cajamarca, al sur de la provincia de Celendín. (Ver Anexo 1. Plano N.º 01)

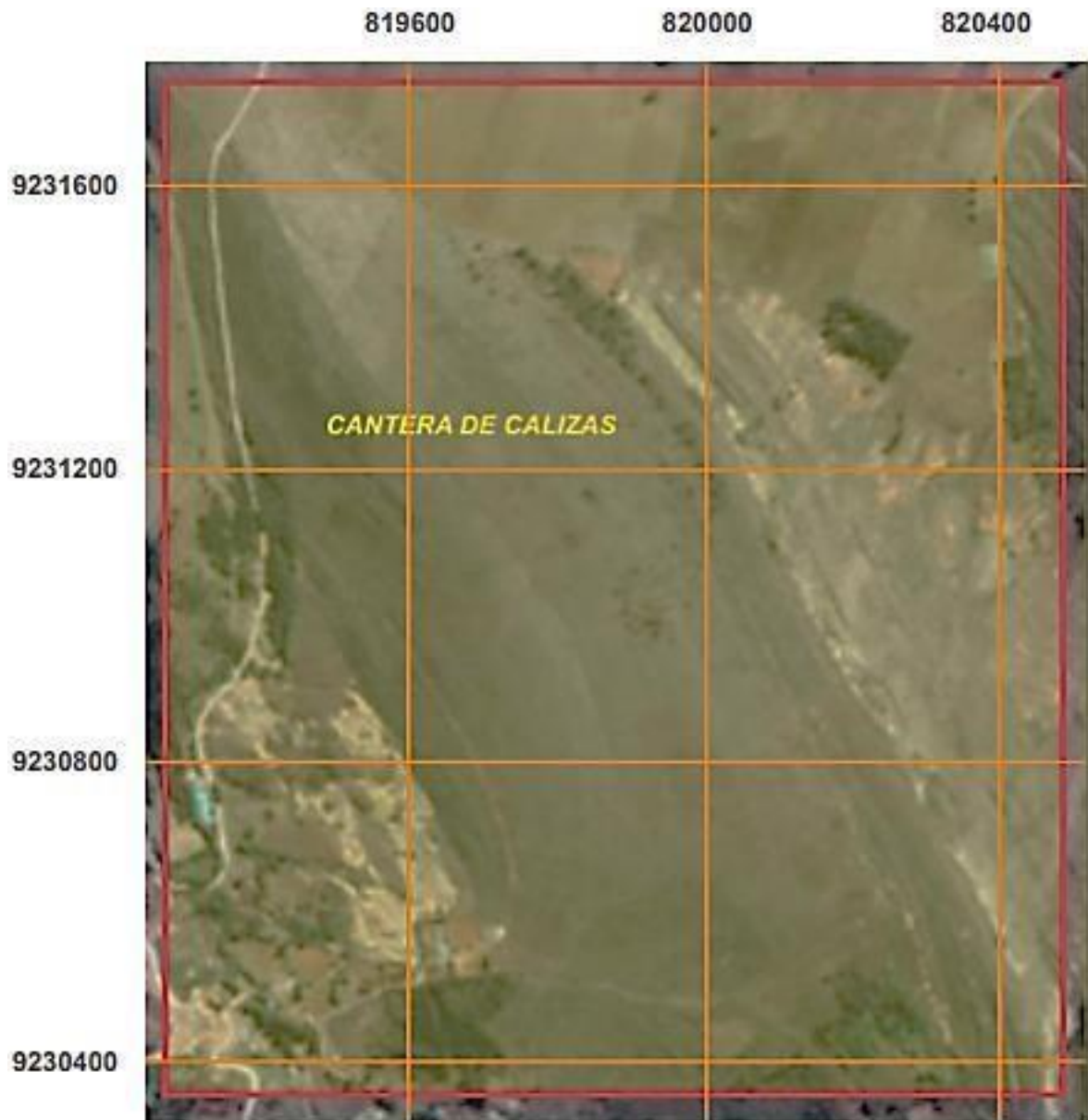


Figura 12 Ubicación

Fuente: Google Earth, (2022)

3.1.2. Política

El área de estudio se localiza en el departamento de Cajamarca, específicamente en la provincia de Celendín, dentro del distrito de Jorge Chávez. Este distrito está compuesto por 20 centros poblados: Animas Potrero, Atuyunga, Campanaorco, Casha Pampa, Churupampa, Cismalca, Conga de La Laguna, Cotorbamba, Cungat, El Puquio, El Trapiche, Huasapampa, Jacada, La Lima, La Morada, Lajapampa, Lucmapampa, Macas, Pauca y Puquio de Los Chuyos.

3.2. ACCESIBILIDAD

Para acceder a la zona de estudio, utiliza la carretera asfaltada de Cajamarca Celendín:

Tabla 3 Acceso a la zona de estudio

<u>Tramo</u>	<u>Tipo</u>	<u>Tiempo (horas)</u>
Cajamarca- Celendín	Asfaltado	2.00
Celendín- Jorge Chávez	Afirmado	0.30
Sucre – Jorge Chávez	Herradura	0.20



Figura 13. Fotografía tomada en la plaza de armas del distrito de Jorge Chávez. Con coordenadas Este: 785000, N: 9245000 y cota :3452 m.s.n.m



Figura 14. Fotografía tomada frente a las calizas de la formación Cajamarca. Con coordenadas Este: 785173, N: 9245120 y cota :3452 m.s.n.m



Figura 15. Fotografía tomada sobre los afloramientos de las calizas de la formación Cajamarca. Con coordenadas Este: 785221, N: 9245462 y cota :3452 m.s.n.m

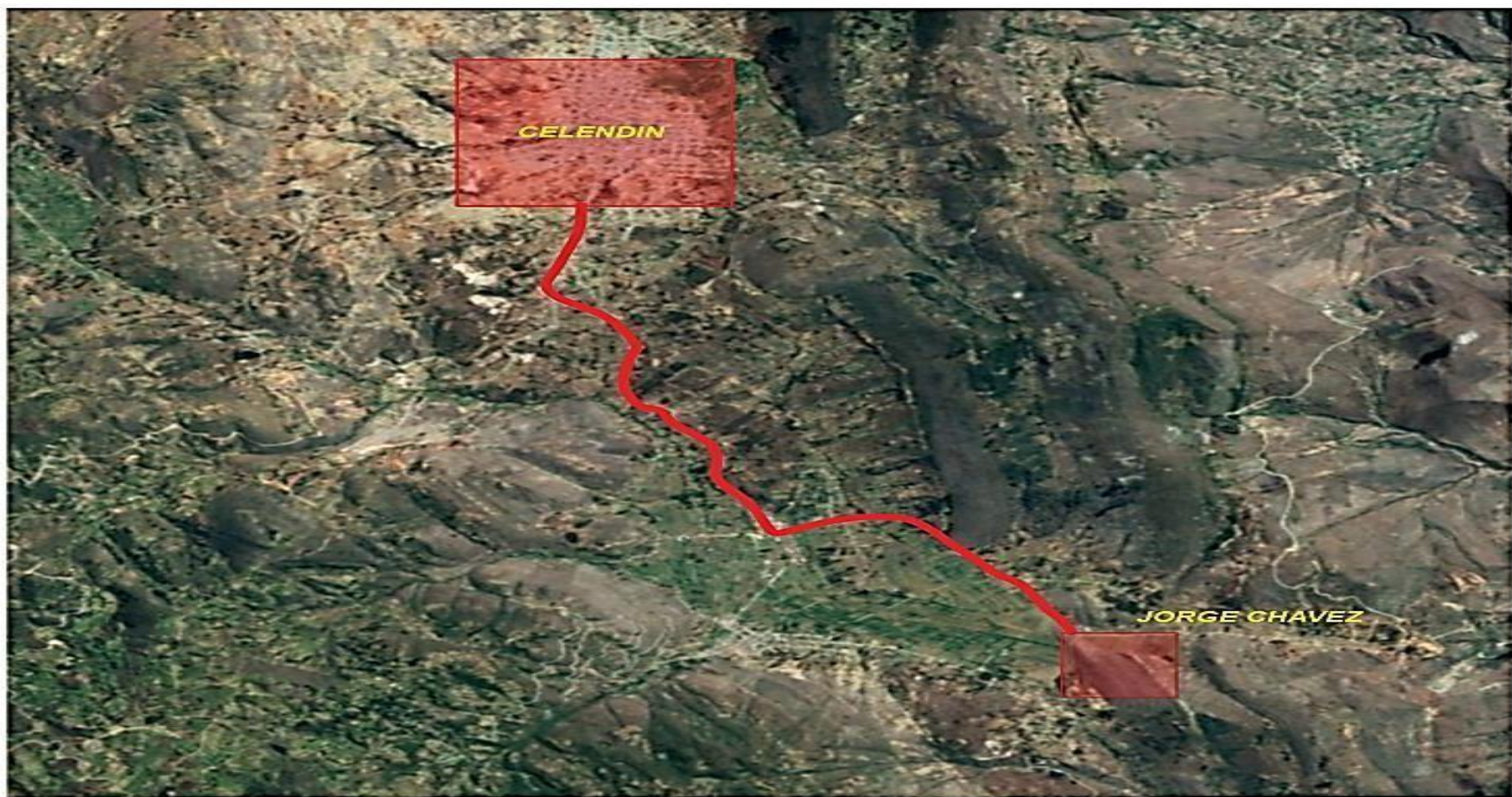


Figura 16. Plano de ubicación del área de estudio Fuente:

Google Earth, (2022)

3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación

3.3.1.1. Tipo de investigación

De carácter descriptiva correlacional. Descriptiva, porque busca comprender las características de las calizas en la Formación Cajamarca, y correlacional porque analiza la relación entre variables, como cantidad y calidad del material, para evaluar la obtención de CaO.

3.3.1.2. Nivel de investigación

De carácter cualitativo y cuantitativo. Es cualitativa porque examina características no numéricas de las calizas, como su composición y propiedades, lo cual es esencial para entender su potencial en la obtención de CaO. Es cuantitativa porque mide y calcula las reservas, determinando cantidades y porcentajes específicos, necesarios para estimar la viabilidad económica y técnica del material en el distrito de Jorge Chávez, Celendín.

3.3.1.3. Diseño de investigación

De sección transversal pues se estudia en un momento determinado de tiempo. Es decir, se considera **de sección transversal** porque se recopilan datos y se realizan mediciones en un solo momento o período específico de tiempo, sin hacer un seguimiento prolongado. Esto implica que el cálculo de reservas y análisis de las calizas se hace basándose en las condiciones actuales, en lugar de observar cambios o variaciones a lo largo del tiempo

3.3.1.4. Método de investigación

De carácter cuantitativo y analítico. Es decir, de carácter cuantitativo porque involucra la recopilación y análisis de datos numéricos, como la cantidad de caliza y su concentración de CaO, necesarios para el cálculo de reservas. Es analítica porque no solo describe los datos, sino que también los descompone y examina en profundidad para entender relaciones y factores que afectan la viabilidad de la caliza para la producción de óxido de calcio

3.3.1.5. Población de estudio

Todos los tipos de movimientos de masa que se encuentran en la localidad de Sucre en un área de 20 km².

3.3.1.6. Muestras

Se recolectará un total de 12 muestras de caliza para los análisis respectivos de contenido de carbonato de calcio y óxido de calcio.

3.3.1.7. Unidad de análisis

La unidad de análisis hace referencia a variables como: litología, estructuras geológicas y análisis químico con el propósito de determinar la cantidad de reservas de caliza para la extracción y producción de óxido de calcio (CaO)%

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Técnicas

Este trabajo de investigación se realizó teniendo en cuenta en su parte inicial una exhaustiva recopilación bibliográfica. Luego se realizaron salidas al campo para la recolección de muestras de roca caliza para su análisis de laboratorio para determinar el contenido de carbonato de calcio. También se hicieron una serie de mediciones para determinar el tipo de método de explotación a aplicar. Finalmente, se elaboran los diversos mapas y planos.

a) Técnica de recolección de datos

- Observación directa y muestreo: Realiza visitas al sitio para recopilar muestras representativas de las calizas y datos sobre su extensión y calidad.

b) Técnicas para el procesamiento de la información

- Modelado geoespacial: Emplea software de Arcgis para mapear y modelar las reservas de caliza.
- Análisis químico: Procesa datos de laboratorio para determinar la concentración de CaO y otros componentes relevantes en las muestras de caliza.

c) Instrumentos de Recolección de datos

- Equipos de muestreo: Incluyen, bolsas de muestreo para obtener muestras de caliza.
- Instrumentos de georreferenciación: Como el GPS para determinar la ubicación espacial de las muestras extraídas

3.4.1.1 Procedimiento de recolección de datos

La recolección de datos se realizó en tres etapas: La primera fue la etapa de gabinete que consistió en llevar a cabo una revisión bibliográfica según el tema de interés, que en este caso viene a ser sobre análisis químico de calizas para la obtención de óxido de calcio, cálculo de reservas probadas y probables, y diseño de mina. También se realizaron análisis

de imágenes satelitales, elaboración de planos geológicos y de diseño de mina. En la segunda etapa, que corresponde a la etapa de campo, se recolectaron muestras in situ de los afloramientos de caliza, se tomaron coordenadas de cada punto del que se tomaron muestras y se fueron tomando medidas haciendo uso de la wincha para poder formar los polígonos posteriormente. En la tercera etapa que corresponde a la etapa final, toda la información obtenida anteriormente tanto en la etapa de gabinete y la de campo se consolida haciendo uso del Software ArcGIS, Excel para poder realizar los planos y cálculos requeridos para la determinación de reservas.

3.4.1.2 Procedimiento para el análisis de datos

Para el análisis de datos se tomó en cuenta lo siguiente:

1. Recolección de muestras geológicas: en la cual se realizó un muestreo sistemático de las calizas en diferentes puntos de la zona de estudio, los cuales fueron registrados con un GPS para determinar su ubicación exacta
2. Análisis de laboratorio: se realizó el análisis químico de las muestras para determinar el contenido de CaCO_3 y otros componentes.
3. Mapeo Geológico: Se elaboró un mapa geológico detallado del área de estudio con su respectiva identificación de las unidades litológicas y estructuras geológicas presentes.
4. Estimación de Reservas: En la cual fueron aplicados los métodos de estimación como el método del polígono para calcular las reservas, las que posteriormente fueron categorizadas en reservas probadas y probables posteriormente.
5. Informe final: Se preparó un informe detallado en el cual fueron incluidos todos los datos recopilados, análisis de muestras, modelos geológicos, cálculos de reserva y planos geológicos, de ubicación y topográficos

3.4.2. Instrumentos y equipos

GPS Navegatorio

Un GPS navegatorio es un dispositivo de navegación por satélite que proporciona información de ubicación y direcciones en tiempo real. Utiliza una red de satélites para determinar la posición exacta del usuario en la Tierra, permitiendo la navegación precisa en diferentes entornos, ya sea en carretera, mar o aire. Estos dispositivos son fundamentales para conductores, marineros y aviadores, ofreciendo rutas optimizadas, alertas de tráfico y

puntos de interés cercanos. Además, los GPS navegatorios modernos suelen incluir características avanzadas como mapas en 3D, comandos de voz y actualización de mapas en línea. Su precisión y confiabilidad los hacen indispensables para la navegación moderna y la planificación de viajes eficientes.



Figura 17. GPS Navegatorio Marca Garmin

Fuente: Fuentes y Gargate (2021)

Brújula tipo Brunton

La brújula tipo Brunton es un instrumento geológico y topográfico portátil utilizado para mediciones precisas de orientación y pendiente en el campo. Diseñada con una carcasa robusta y resistente, integra una aguja magnética que señala el norte magnético con exactitud. Además, cuenta con escalas graduadas y niveles para la medición de ángulos de inclinación y dirección de estratos geológicos. Su uso es fundamental en geología, cartografía y actividades al aire libre donde se requiere determinar con precisión la ubicación y la orientación del terreno, facilitando así la elaboración de mapas detallados y la planificación de estudios geológicos y topográficos.



Figura 18. Brújula Brunton para muestreo.

Fuente: Fuentes y Gargate (2021)

Picota del geólogo

Es una herramienta esencial utilizada por los geólogos en el campo para examinar y recolectar muestras de rocas. También se conoce comúnmente como martillo de geólogo o simplemente picota. Esta herramienta es fundamental para la toma de muestras y el estudio detallado de las formaciones rocosas. Se utiliza para obtener una superficie fresca de una roca con el fin de determinar su composición, su naturaleza, la mineralogía.

Ficha de recolección de datos

Instrumentos en los cuales plasmamos por escrito información importante que hemos encontrado en nuestros procesos de búsqueda de información y que deseamos tener al alcance de nuestras manos en cualquier momento.

Flexómetro de 5 m

El flexómetro es una herramienta versátil y esencial en una variedad de aplicaciones, permitiendo mediciones precisas de longitudes lineales y circunferenciales en una variedad de campos **Wincha 30 m**

Se trata de una cinta métrica flexible guardada en una caja de plástico o metal, típicamente marcada con graduaciones en centímetros en un lado y en pulgadas en el otro.

Libreta de campo

Una libreta de campo es un cuaderno utilizado principalmente por científicos, investigadores y profesionales de campo para documentar observaciones, datos y reflexiones durante su trabajo en entornos naturales o experimentales. Esta herramienta es esencial para registrar información de manera precisa y detallada, incluyendo fechas, ubicaciones, condiciones ambientales y cualquier dato relevante obtenido durante el estudio. Las libretas de campo permiten una recopilación ordenada de datos, facilitando el análisis posterior y la replicación de estudios. Además, sirven como un registro histórico de las investigaciones y pueden ser cruciales para la verificación y validación de resultados científicos.

Lupa 40X (40 aumentos)

Instrumento que nos servirá para identificar, minerales, texturas y estructuras de la roca

Cámara fotográfica digital Marca Canon 12 Mp

Usado para tomar fotos, y de este modo, evidencia de las estructuras de caliza estudiadas.

3.5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Los datos serán plasmados en las libretas de campo los que posteriormente serán analizados y procesados mediante el software ArcGIS 10.2 para elaborar los diferentes mapas, perfiles y columnas geológicas. Los cálculos de reservas y los cálculos de los parámetros de diseño serán efectuados mediante el apoyo del software Excel.

3.6 GEOLOGÍA LOCAL

El área de estudio se centra en las calizas pertenecientes a la formación Cajamarca ubicadas en el distrito Jorge Chávez, provincia de Celendín. Es por ello que el presente estudio describe netamente esta formación geológica.

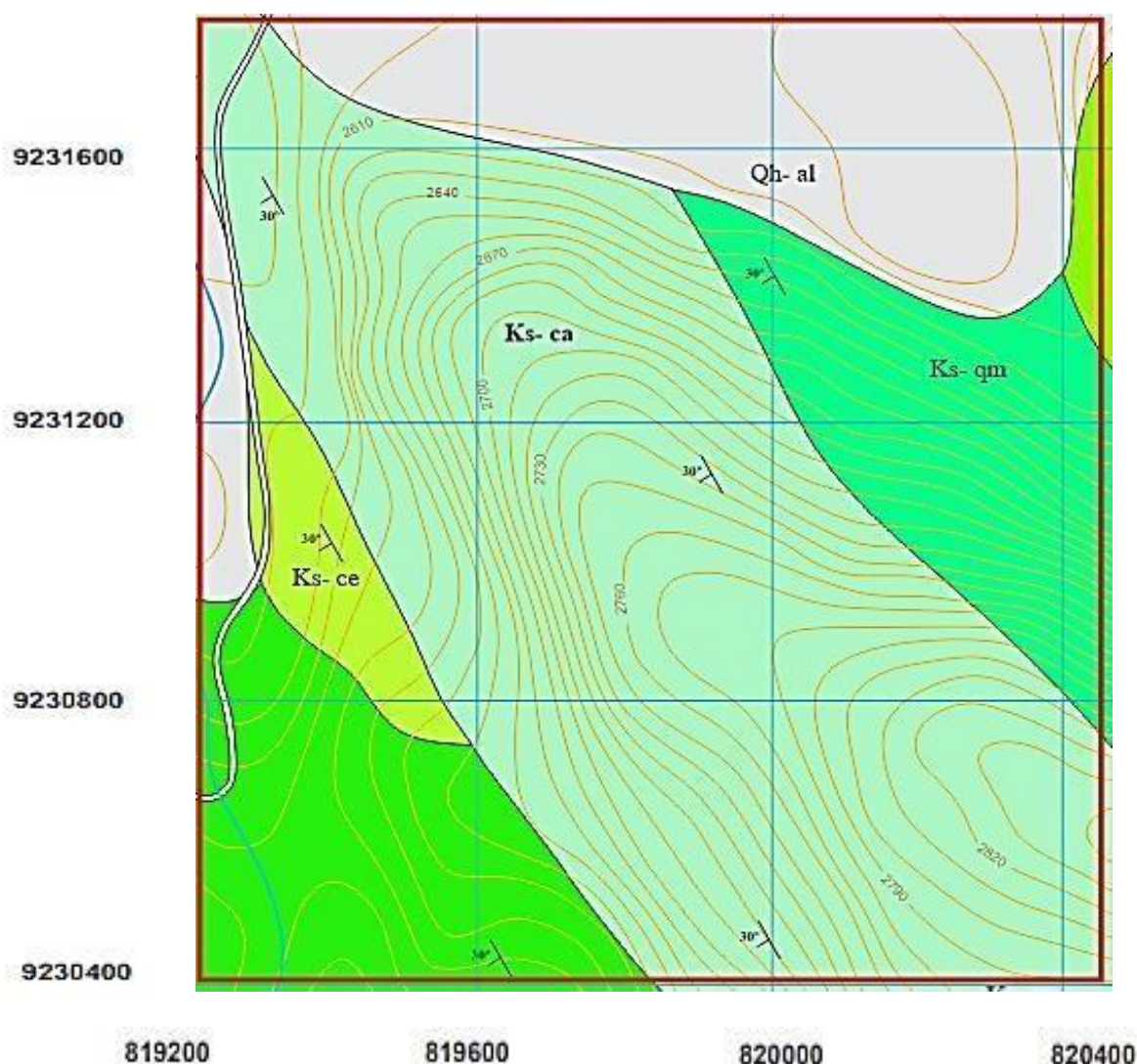


Figura 19 Mapa geológico del cuadrángulo de Celendín

Fuente: INGEMMET (2016)

3.6.1. Cretácico Inferior

3.6.1.1. Formación Cajamarca (Ks- ca)

Las calizas de la Formación Cajamarca, limita por el norte con los depósitos fluviales, por el este con el grupo Quilquiñan – Majarrúm, por el oeste con la formación Celendín y por el suroeste con la formación Chota. Comprenden calizas de coloración gris oscuro con un alto contenido de carbonado de calcio. Estas calizas presentan generalmente buzamientos moderados a altos, con valores de 30° (Ver plano 4), dependiendo de la localización específica dentro del distrito Jorge Chávez y otras áreas de la provincia de Celendín y son apropiadas para la extracción como cantera.



Figura 20. Afloramientos de Calizas sólidas de tonalidad gris oscuro Pertenecientes a la Formación Cajamarca. Coordenadas UTM: 819403.28 E, 9231580.15 N.

3.6.2. Cuaternario

3.6.2.1 Depósitos aluviales (Qh-al)

Son depósitos recientes, se les puede encontrar en las partes bajas, con espesores variables en la zona de estudio, variando desde 0 cm cuando existe presencia de afloramientos hasta 9 m como se ha determinado mediante calicatas en campo. Consisten en depósitos sueltos de arenas gruesas, arenas finas a arenas medias. Estos se ubican al Norte de la zona de estudio, rodeado por las formaciones Chota, Celendín, Cajamarca, grupo Quilquiñan – Majarrúm y la formación Yumagual.



Figura 21. Depósitos aluviales en zona de estudio. Coordenadas UTM: 819212.34 E, 9231342.18 N.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados de la investigación

De acuerdo con la investigación, se logró determinar las reservas probadas y probables de las calizas pertenecientes a la formación Cajamarca mediante cálculos por el método de los triángulos, como se muestra a continuación:

4.1.1. Método de Triangulación

Las calizas pertenecientes a la Formación Cajamarca poseen espesores constantes y sin muchas variaciones laterales por lo que esta característica es idónea para que se pueda aplicar el método de la triangulación. Con la aplicación de este método se podrá determinar el área de las reservas de calizas y multiplicando por el espesor de los estratos de calizas se determinará el volumen. El volumen multiplicado por el peso específico determinado en el laboratorio INGEOCONSULT LAB SRL se obtendrá el peso específico.

4.1.2. Metodología

Para aplicar este método fue necesario conocer el espesor de los estratos de calizas. Esto ha sido posible gracias a que, estas, se encuentran inclinadas 30° en promedio al SO tal como se puede observar en el mapa geológico.

Para un mejor cálculo de reservas se ha tenido que dividir las reservas en dos (02) zonas denominadas como Zona de Reserva A1 y Zona de Reserva A2 ubicadas consecutivamente.

A continuación, se muestran estas coordenadas.

Tabla 4 Coordenadas de los triángulos de la Zona de Reservas A1

Vértice	Norte	Este
1	9231610	819580
2	9231580	819400
3	9231300	819390
4	9231050	819570
5	9231280	819950
6	9231500	819800

Tabla 5 Coordenadas de los triángulos de la Zona de Reservas A2

Vértice	Norte	Este
7	9231373	819658
8	9230790	819650
9	9230780	819850
10	9230820	820150

11	9231032	820137
12	9230996	819889

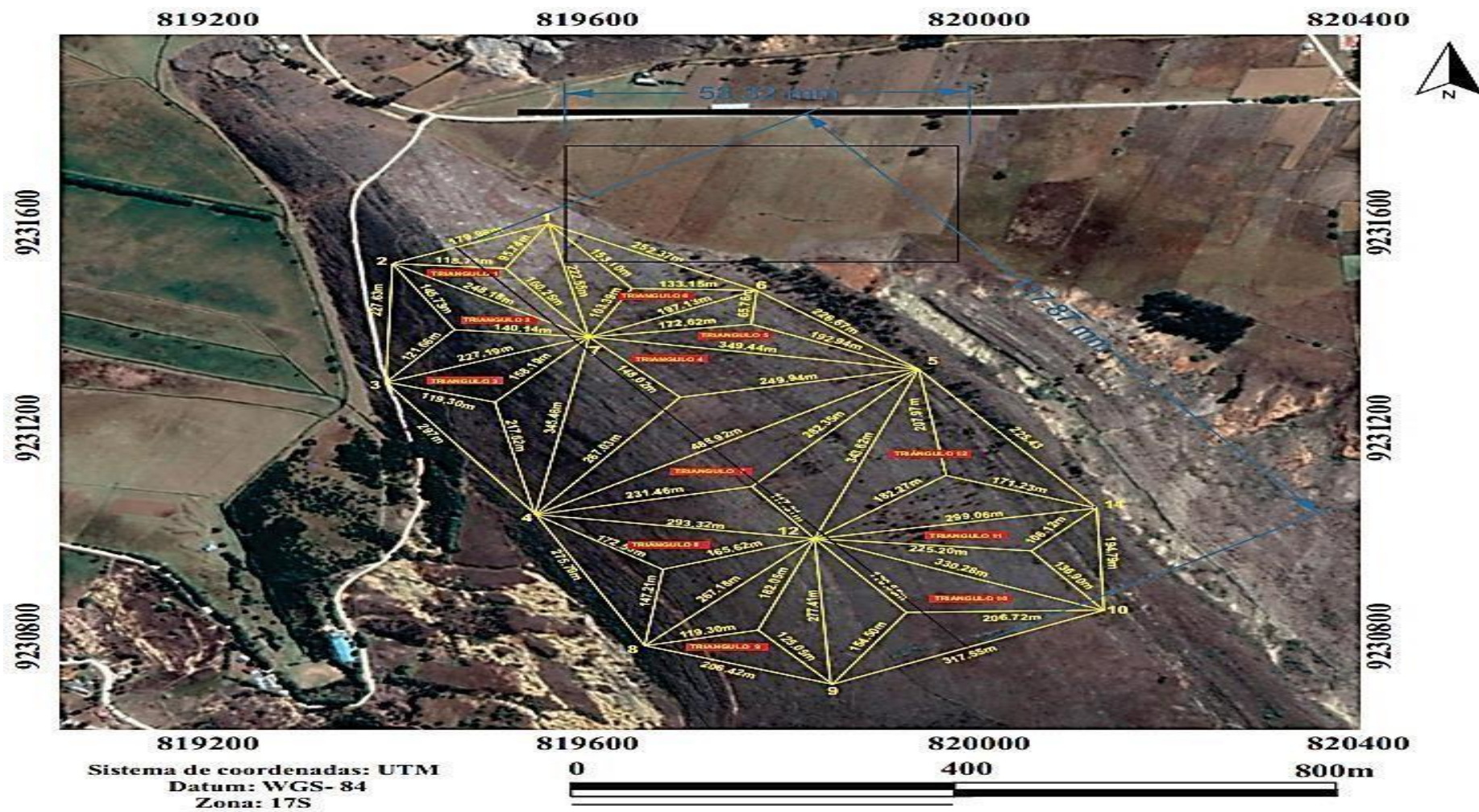


Figura 22. Representación de los 12 vértices de los triángulos

4.1.3. Cálculo de reservas

La zona donde se ubica las reservas de calizas se ha dividido en 12 triángulos en donde en cada vértice de los triángulos se ha tomado una muestra para realizar el análisis químico. Para el cálculo de las áreas de los triángulos se optó por aplicar fórmula de Heron que consiste en determinar primero el semi perímetro para luego aplicar la formula siguiente:

$$S = \frac{a + b + c}{2}$$

S

$$A = \sqrt{S(S - a)(S - b)(S - c)}$$

Siendo: S= el semiperímetro a, b,

c= los lados de un triángulo

A= área

4.1.3.1. Dimensión de los lados de los triángulos

La zona donde se ubican las reservas de calizas se ha dividido en dos zonas para un mejor cálculo. Además, se representa las longitudes determinadas de cada lado de los 12 triángulos.

Zonas	Triángulos	Lados	(m)	Vértices
Zona A1	1	1-2	179.98	1, 2, 7
		2-7	248.18	
		1-7	222.55	
	2	2-3	227.63	2, 3, 7
		3-7	227.19	
		2-7	248.18	
	3	3-4	297.00	3, 4, 7
		4-7	345.46	
		3-7	227.19	
	4	4-5	488.92	4, 5, 7
		5-7	349.44	
		7-4	345.46	
	5	5-6	226.67	5, 6, 7
		6-7	197.13	
		5-7	349.44	

Tabla 6
dimensiones de
los 12
triángulos

			252.37	
		1-6	197.13	
	6	6-7	222.55	1, 6, 7
		1-7		

los

Zonas	Triángulos	Lados (m)	Vértices
Zona A2	7	4-5 488.92	4, 5, 12
		5-12 343.62	
		4-12 293.32	
	8	4-8 275.79	4, 8, 12
		8-12 267.18	
		12-4 293.32	
	9	8-9 206.42	8, 9, 12
		9-12 277.41	
		12-8 267.18	
	10	9-10 317.55	9, 10,12
		10-12 330.28	
		12-9 277.41	
	11	10-11 184.79	10,11,12
		11-12 299.06	
		10-12 330.28	
	12	11-12 299.06	5, 11,12
		11-5 225.43	
		5-12 343.62	

4.1.3.2. Determinación de las áreas de los triángulos

Área del triángulo 1

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{227.63 + 227.19 + 248.18}{2} \\
 &= 351.5_m \quad S \\
 &= \sqrt{351.5(351.5 - 227.63)(351.5 - 227.63)(351.5 - 227.63)} \quad A \\
 &= 23647.81m^2 \quad A
 \end{aligned}$$

Área del triángulo 2

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{179.98 + 248.18 + 222.55}{2} \\
 &= 325.35_m \quad S \\
 &= \sqrt{325.35(325.35 - 179.98)(325.35 - 248.18)(325.35 - 222.55)} \quad A \\
 &= 19371.75m^2
 \end{aligned}$$

A

Área del triángulo 3

$$= \frac{297 + 345.46 + 227.19}{2}$$

$$= 434.83\text{m}$$

$$= \sqrt[2]{434.83 (434.83 - 297)(434.83 - 345.46)(434.83 - 227.19)}$$

$$= 33346.88\text{m}^2$$

S

S

A

A

Área del triángulo 4

$$S = \frac{488.92 + 349.44 + 345.46}{2}$$

$$S = 591.91\text{m}$$

$$A = \sqrt[2]{591.99 (591.99 - 488.92)(591.99 - 349.44)(591.99 - 345.46)}$$

$$A = 60355.77\text{m}^2$$

Área del triángulo 5

$$S = \frac{226.67 + 197.13 + 349.44}{2}$$

$$S = 386.62\text{m}$$

$$A = \sqrt[2]{388.62 (388.62 - 226.67)(388.62 - 197.13)(388.62 - 349.44)}$$

$$A = 20872.87\text{m}^2$$

Área del triángulo 6

$$S = \frac{252.37 + 197.13 + 222.55}{2}$$

$$S = 336.03\text{m}$$

$$A = \sqrt[2]{336.03 (336.03 - 252.37)(336.03 - 197.13)(336.03 - 222.55)}$$

$$A = 21048.69m^2$$

Área del triángulo 7

$$S = \frac{488.92 + 343.62 + 292.32}{2}$$

$$S = 562.43m$$

$$A = \sqrt[2]{562.43 (562.43 - 488.92)(562.43 - 343.62)(562.43 - 292.32)} \quad A$$

$$= 49432.36m^2$$

Área del triángulo 8

$$S = \frac{275.79 + 267.18 + 293.32}{2}$$

$$S = 413.15m$$

$$A = \sqrt[2]{413.15 (413.15 - 275.79)(413.15 - 267.18)(413.15 - 293.32)}$$

$$A = 32792.69m^2$$

Área del triángulo 9

$$S = \frac{206.42 + 277.41 + 267.18}{2}$$

$$= 375.51m$$

$$= \sqrt[2]{375.51 (375.51 - 206.42)(375.51 - 277.41)(375.51 - 267.18)} \quad S$$

$$= 25974.56m^2$$

A

Área del triángulo 10

$$S = \frac{317.55 + 330.28 + 277.41}{2}$$

$$S = 462.62m$$

$$A = \sqrt[2]{462.62 (462.62 - 317.55)(462.62 - 330.28)(462.62 - 277.41)}$$

$$A = 40558.21m^2$$

Área del triángulo 11

$$S = \frac{184.79 + 299.06 + 330.28}{2}$$

$$S = 407.07m$$

$$A = \sqrt[2]{407.07 (407.07 - 187.79)(407.07 - 299.06)(407.07 - 330.28)}$$

$$A = 27392.86m^2$$

Área del triángulo 12

$$S = \frac{299.06 + 225.43 + 343.62}{2}$$

$$S = 434.06m$$

$$A = \sqrt[2]{407.07 (407.07 - 299.06)(407.07 - 225.43)(407.07 - 343.62)}$$

$$A = 33249.31m^2$$

4.1.3.3. Determinación de las leyes de los triángulos

Método del Inverso a la Distancia

Se ha obtenido la ley de Carbonato de calcio ($CaCO_3$) de los vértices de los triángulos. Las muestras de rocas recolectadas en campo poseen una codificación de MUJ. Con estas leyes se aplicó el método de la inversa del cuadrado de la distancia que indica que en la medida que esta distancia aumenta disminuye la influencia de las leyes de las muestras más alejadas, en esa misma medida aumenta la de las más próximas.

Tabla 7 resultado del análisis de $CaCO_3$

Nuestra	%$CaCO_3$
MUJ-01	93.21
MUJ-02	92.72
MUJ-03	90.22
MUJ-04	91.98
MUJ-05	90.27
MUJ-06	92.44
MUJ-07	93.72
MUJ-08	90.77
MUJ-09	93.21
MUJ-10	93.28
MUJ-11	92.33
MUJ-12	90.11

Fuente: INGEOCONSULT LAB SRL (2024)

$$Ley_{triángulo} = \frac{1}{d_{12}} \frac{1}{d_{21}^2} ley_1 + \frac{1}{d_{22}} \frac{1}{d_{12}^2} ley_2 + \frac{1}{d_{32}} \frac{1}{d_{13}^2} ley_3 + \dots - \infty < x < \infty \dots \dots \dots (1)$$

Aplicando la formula (1) se va a calcular la ley de los 12 triángulos.

Ley del triángulo 1

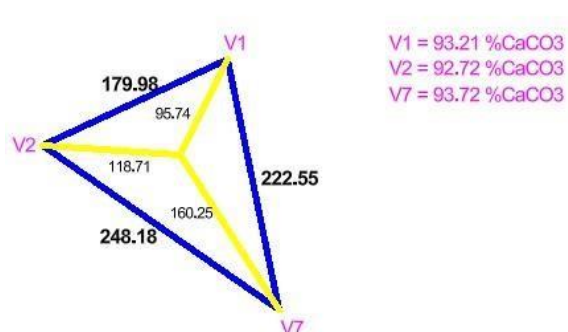


Figura 23. Muestras y distancias del triángulo 1

$$Ley_{\Delta_1} = \frac{\frac{1}{118.71^2} \frac{1}{95.74^2} 92.72 + \frac{1}{95.74^2} \frac{1}{160.25^2} 93.21}{\frac{1}{118.71^2} + \frac{1}{95.74^2} + \frac{1}{160.25^2}} + \dots + \dots + \dots$$

$$Ley_{\Delta_1} = 57.95 + 52.431 + 35.145 = 92.804\%$$

Ley del triángulo 2

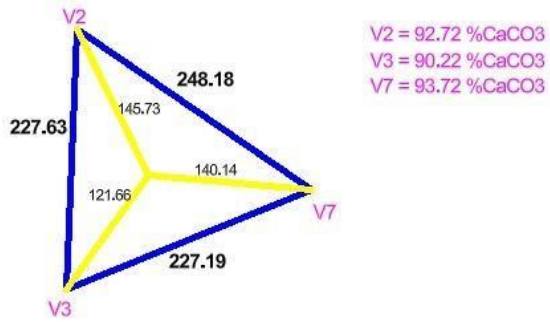


Figura 24. Muestras y distancias del triángulo 2

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} 145 \\ 73 \\ 2 \end{array} \\
 \hline
 \begin{array}{c} 1 \\ 2 \end{array}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{c}
 \frac{1}{145.73^2} + \frac{1}{121.66^2} + \frac{1}{140.14^2} \\
 \hline
 \frac{1}{145.73^2} + \frac{1}{121.66^2} + \frac{1}{140.14^2}
 \end{array}$$

$Ley \Delta_2 = 92.72 + 90.22$

$++$

$$\begin{array}{c}
 \frac{1}{140.14^2} + \frac{1}{145.73^2} + \frac{1}{140.14^2} \\
 \hline
 \frac{1}{140.14^2} + \frac{1}{145.73^2} + \frac{1}{140.14^2}
 \end{array}$$

$+93.72++$

$$\begin{array}{c}
 \frac{1}{145.73^2} + \frac{1}{121.66^2} + \frac{1}{140.14^2} \\
 \hline
 \frac{1}{145.73^2} + \frac{1}{121.66^2} + \frac{1}{140.14^2}
 \end{array}$$

$Ley \Delta_1 = 30.91 + 30.07 + 31.24 = 92.22\%$

Ley del triángulo 3

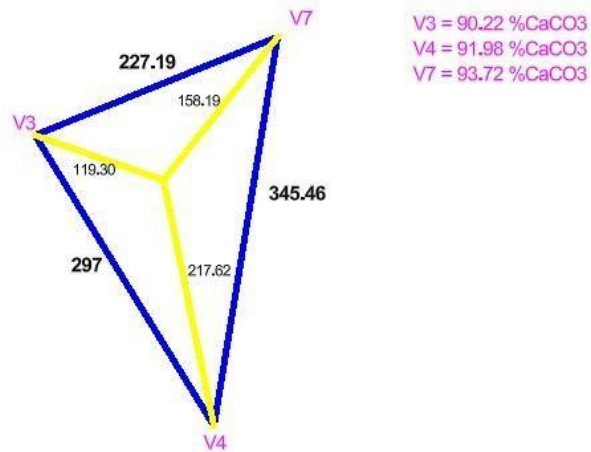


Figura 25. Muestras y distancias del triángulo 3

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} 1 \\ 119 \\ 30 \\ 2 \end{array} \\
 \hline
 \begin{array}{c} 1 \\ 119.30^2 \end{array}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{c}
 \frac{1}{217.62^2} \\
 \hline
 \frac{1}{158.19^2}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{c}
 \frac{1}{119.30^2} \\
 \hline
 \frac{1}{158.19^2}
 \end{array}$$

$Ley \Delta_3 = 90.22 + 91.98$
 $++$
 $+93.72++$
 $Ley \Delta_1 = 30.07 + 30.66 + 31.24 = 91.97\%$

Ley del triángulo 4

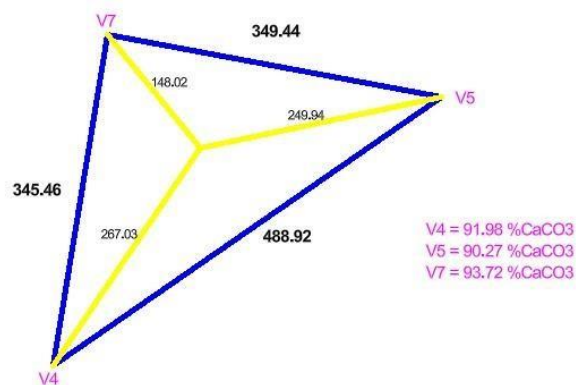


Figura 26. Muestras y distancias del triángulo 4

$$Ley = \frac{\frac{1}{\frac{1}{267.03^2} + \frac{1}{249.94^2} + \frac{1}{148.02^2}}}{\frac{1}{267.03^2} + \frac{1}{249.94^2} + \frac{1}{148.02^2}}$$

$$\Delta_4 = \frac{\frac{1}{267.03^2} \cdot 91.98}{\frac{1}{267.03^2} + \frac{1}{249.94^2} + \frac{1}{148.02^2}} + \frac{\frac{1}{249.94^2} \cdot 90.27}{\frac{1}{267.03^2} + \frac{1}{249.94^2} + \frac{1}{148.02^2}} + \frac{\frac{1}{148.02^2} \cdot 93.72}{\frac{1}{267.03^2} + \frac{1}{249.94^2} + \frac{1}{148.02^2}}$$

$$Ley \Delta_4 = 30.66 + 30.09 + 31.24 = 91.99\%$$

Ley del triángulo 5

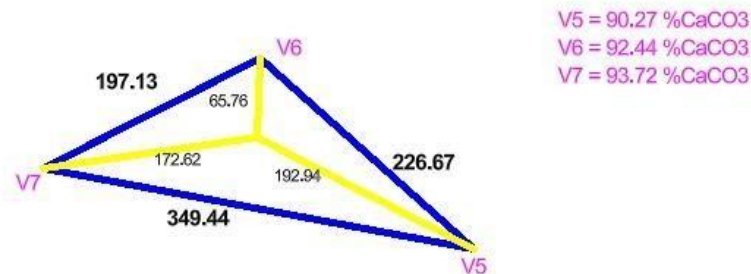


Figura 27. Muestras y distancias del triángulo 5

$$Ley \Delta_5 = \frac{\frac{1}{192.94^2} \cdot 90.27}{\frac{1}{192.94^2} + \frac{1}{65.76^2} + \frac{1}{172.62^2}} + \frac{\frac{1}{65.76^2} \cdot 92.44}{\frac{1}{192.94^2} + \frac{1}{65.76^2} + \frac{1}{172.62^2}} + \frac{\frac{1}{172.62^2} \cdot 93.72}{\frac{1}{192.94^2} + \frac{1}{65.76^2} + \frac{1}{172.62^2}}$$

$$Ley \Delta_5 = 22.57 + 46.22 + 23.43 = 92.22\%$$

$$Ley + \frac{\frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{1}{1}}}{1} = \frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{1}{1}}$$

Ley del triángulo 6

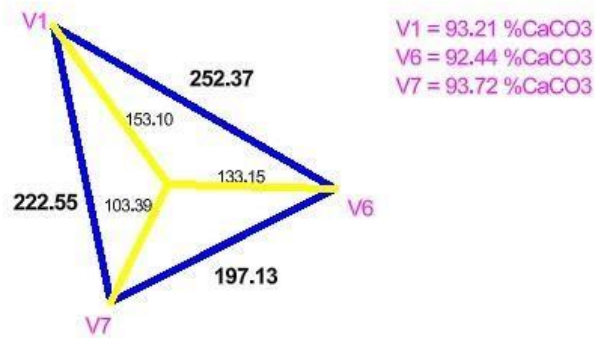


Figura 28. Muestras y distancias del triángulo 6

$$\Delta_6 = \frac{153.10^2}{153.10^2} \frac{93.21}{133.15^2} \frac{133.15^2}{103.39^2} \frac{92.44}{153.10^2} \frac{1}{103.39^2} + \frac{93.72}{103.39^2} + \frac{1}{103.39^2}$$

$$Ley \Delta_6 = 31.07 + 30.81 + 31.24 = 93.12\%$$

Ley del triángulo 7

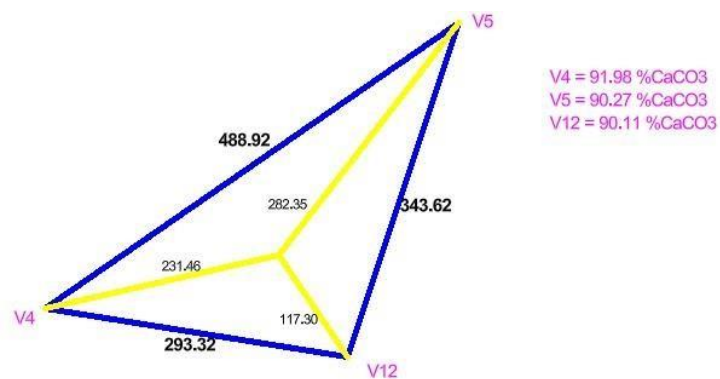


Figura 29. Muestras y distancias del triángulo 7

$$\begin{array}{c}
 \text{Ley} + \frac{\frac{1}{\frac{1}{231.46^2} + \frac{1}{117.35^2}}}{1} + \frac{\frac{1}{\frac{1}{231.46^2} + \frac{1}{117.35^2}}}{1} \\
 \\
 \text{Ley } \Delta_7 = 91.98 + 90.27 \frac{\frac{1}{231.46^2}}{1} + \frac{1}{117.35^2} \frac{282.32^2}{1} + \frac{1}{231.46^2} \frac{282.32^2}{1} + \frac{1}{117.35^2} \frac{282.32^2}{1} \\
 \\
 \begin{array}{c}
 +90.11++ \\
 \frac{1}{117.35^2} \\
 1 \\
 \frac{1}{117.35^2} \\
 231.46^2
 \end{array}
 \end{array}$$

$$\text{Ley } \Delta_7 = 30.66 + 30.09 + 30.03 = 90.78\%$$

Ley del triángulo 8

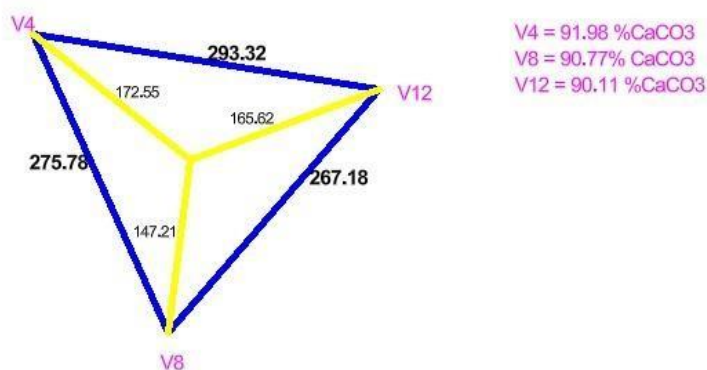


Figura 30. Muestras y distancias del triángulo 8

$$\begin{array}{c}
 \Delta_8 = \frac{172.55^2}{172.55^2} + \frac{1}{165.62^2} \frac{147.21^2}{1} + \frac{1}{147.21^2} \frac{165.62^2}{1} \\
 \\
 +90.77 \\
 ++ \quad \frac{1}{172.55^2} + \frac{1}{147.21^2} \frac{165.62^2}{1}
 \end{array}$$

$$\text{Ley } \Delta_8 = 30.66 + 30.03 + 30.25 = 90.94\%$$

$$Ley + \frac{\frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{1}{1}}}{1} = \frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{1}{1}}$$

Ley del triángulo 9

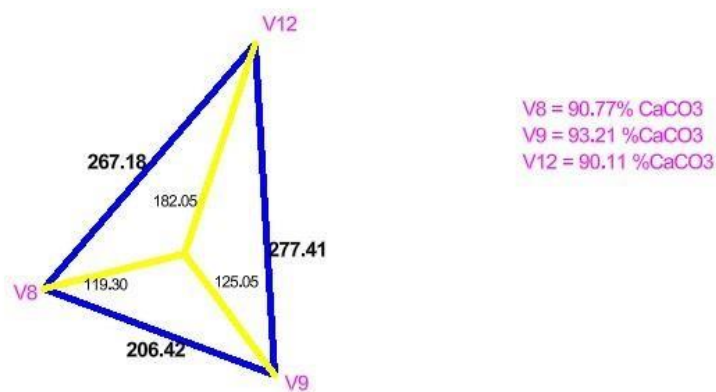
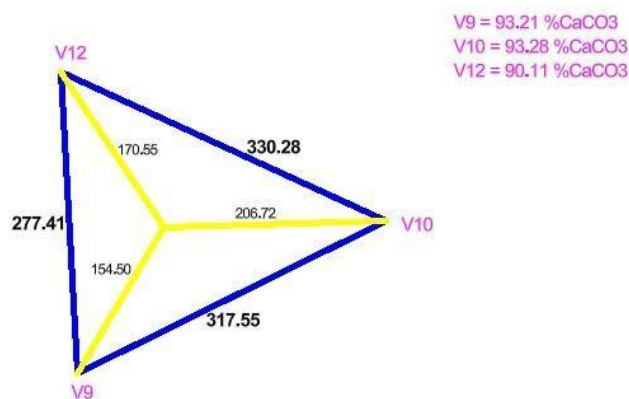


Figura 31. Muestras y distancias del triángulo 9

$$Ley \Delta_9 = 90.77 + 93.21 \frac{\frac{1}{119.30^2}}{\frac{1}{119.30^2} + \frac{1}{182.05^2} + \frac{1}{125.05^2}} + 90.11 \frac{\frac{1}{182.05^2}}{\frac{1}{119.30^2} + \frac{1}{182.05^2} + \frac{1}{125.05^2}} + 93.21 \frac{\frac{1}{125.05^2}}{\frac{1}{119.30^2} + \frac{1}{182.05^2} + \frac{1}{125.05^2}}$$

$$Ley \Delta_9 = 30.25 + 31.07 + 30.03 = 91.35\%$$

Ley del triángulo 10



$$Ley + \frac{\frac{1}{\frac{1}{+} + \frac{1}{+}}}{\frac{1}{\frac{1}{+} + \frac{1}{+}}}$$

Figura 32. Muestras y distancias del triángulo 10

$$\text{Ley } \Delta_{10} = 30.07 + 30.03 + 31.09 = 92.19\%$$

V10 = 93.28 %CaCO₃
V11 = 92.33 %CaCO₃
V12 = 90.11 %CaCO₃

$$\begin{array}{ccccccccccc}
Ley & & \frac{1}{225.20^2} & & & & \frac{1}{106.12^2} & & & & \Delta_{11}=90.11+92.33 \\
& \frac{1}{225.20^2} & 1 & \frac{1}{136.90^2} & \frac{1}{106.12^2} & \frac{1}{225.20^2} & 1 & \frac{1}{136.90^2} & \frac{1}{106.12^2} & & ++ \\
++ & & & & & & & & & & \\
+93.28 & & & \frac{1}{136.90^2} & & & & & & & \\
++ & & & & & & \frac{1}{225.20^2} & 1 & \frac{1}{136.90^2} & &
\end{array}$$

Ley $\Delta_{11} = 30.07 + 30.77 + 31.09 = 91.93\%$

Ley del triángulo 12

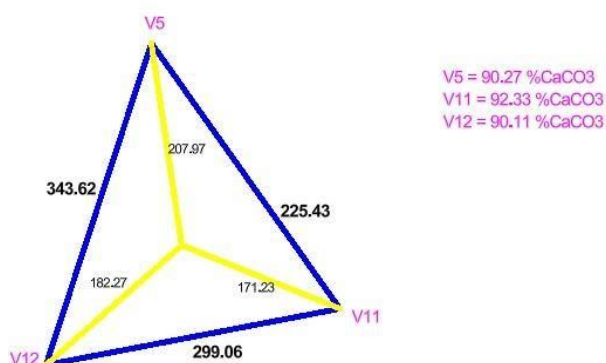


Figura 34. Muestras y distancias del triángulo 12

$$\begin{array}{c}
 \text{Ley} \quad \frac{\frac{1}{182.27^2}}{\frac{1}{182.27^2} + \frac{1}{207.97^2} + \frac{1}{171.23^2}} + \frac{\frac{1}{207.97^2}}{\frac{1}{182.27^2} + \frac{1}{207.97^2} + \frac{1}{171.23^2}} + \frac{\frac{1}{171.23^2}}{\frac{1}{182.27^2} + \frac{1}{207.97^2} + \frac{1}{171.23^2}} \Delta_{12} = 90.11 + 90.27 \\
 + 92.33 \quad \frac{\frac{1}{171.23^2}}{\frac{1}{182.27^2} + \frac{1}{207.97^2} + \frac{1}{171.23^2}} + \quad + \quad +
 \end{array}$$

$$\text{Ley } \Delta_{12} = 30.91 + 30.07 + 31.24 = 90.89\%$$

4.1.3.3. Determinación de los volúmenes de cuaternario

Volumen del triángulo 1

$$\text{Volumen cuaternario 1} = 51758(m^3)$$

Volumen del triángulo 1

Tabla 8 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 1

TRIÁNGULO 1		
VÉRTICES	NORTE	ESTE
1	9231610	819580
2	9231580	819400
7	9231373	819658
	NORTE	ESTE
CALICATA 1	9231275	819579
ESPESOR	2.3	



Figura 35. Espesor de cuaternario del triángulo 1. Coordenadas UTM: 819579.28 E, 9231275.12 N

Volumen del triángulo 2

Tabla 9 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 2

TRIÁNGULO 2		
VÉRTICES	NORTE	ESTE
3	9231300	819390
2	9231580	819400
7	9231373	819658
CALICATA 2	9231259	819572
ESPESOR	0.4	

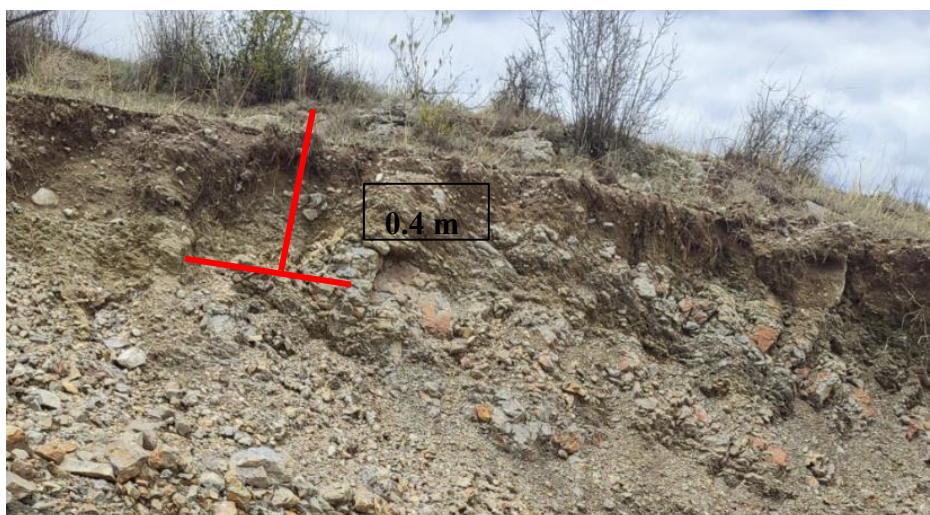


Figura 36. Espesor de cuaternario del triángulo 2. Coordenadas UTM: 819572.17 E,

9231259.12 N

Volumen cuaternario 2 = 14856.77(m³)

Volumen del triángulo 3

Tabla 10 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 3

TRIÁNGULO 3		
VÉRTICES	NORTE	ESTE
3	9231300	819390
4	9231050	819570
7	9231373	819658
CALICATA 3	9231246	819563
ESPESOR	0.35	



Figura 37. Espesor de cuaternario del triángulo 3. Coordenadas UTM: 819563.63 E, 9231246.19 N

Volumen cuaternario 3 = 14027.01

Volumen del triángulo 4

Tabla 11 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 4

TRIÁNGULO 4		
<u>VÉRTICES</u>	NORTE	ESTE
4	9231050	819570

5	9231280	819950
7	9231373	819658
CALICATA 4	9231257	819871
ESPEJOR	6.2	



Figura 38. Espesor de cuaternario del triángulo 4. Coordenadas UTM: 819871.64 E, 9231257.21 N

$$\text{Volumen bloque 4} = 317731.38(m^3)$$

Volumen del triángulo 5

Tabla 12 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 5

TRIÁNGULO 5		
VÉRTICES	NORTE	ESTE
5	9231280	819950
6	9231500	819800
7	9231373	819658
CALICATA 5	9231274	819879
ESPEJOR	1.1	

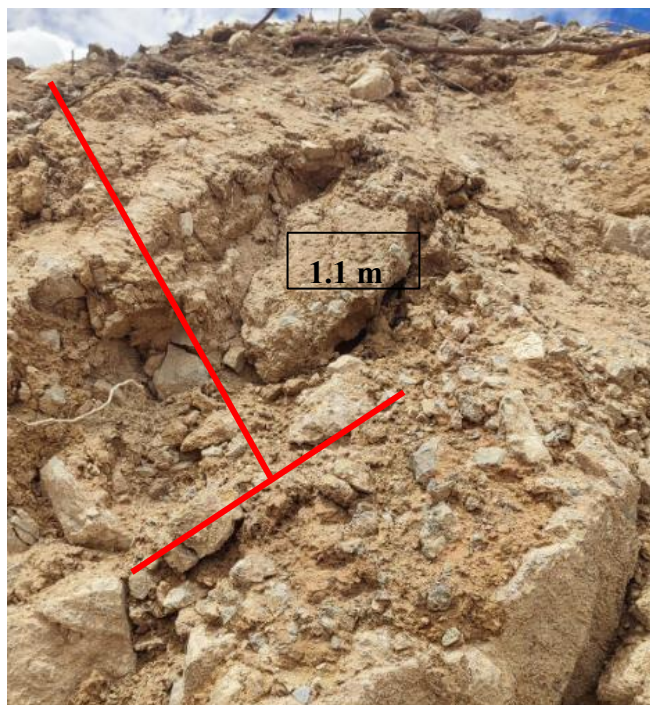


Figura 39. Espesor de cuaternario del triángulo 5. Coordenadas UTM: 819879.38 E, 9231274.42 N

$$\text{Volumen cuaternario 5} = 27666.36(m^3)$$

Volumen del triángulo 6

Tabla 13 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 6

TRIÁNGULO 6		
VÉRTICES	NORTE	ESTE
1	9231610	819580
6	9231500	819800
7	9231373	819658
CALICATA 6	9231298	819429
ESPESOR	6.6	

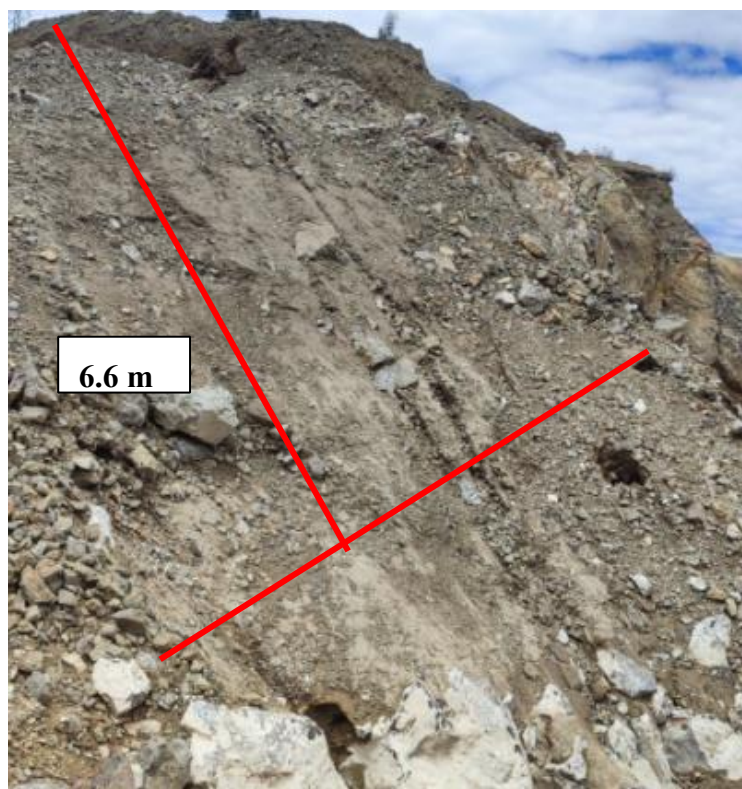


Figura 40. Espesor de cuaternario del triángulo 6. Coordenadas UTM: 819429.68 E, 9231298.48 N

$$Volumen\ cuaternario\ 6 = 143769.93(m^3)$$

Volumen del triángulo 7

Tabla 14 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 7

TRIÁNGULO 7		
VÉRTICES	NORTE	ESTE
4	9231050	819570
2	9231580	819400
5	9231280	819950
CALICATA 7	9231375	819623
ESPEJOR	7.6	

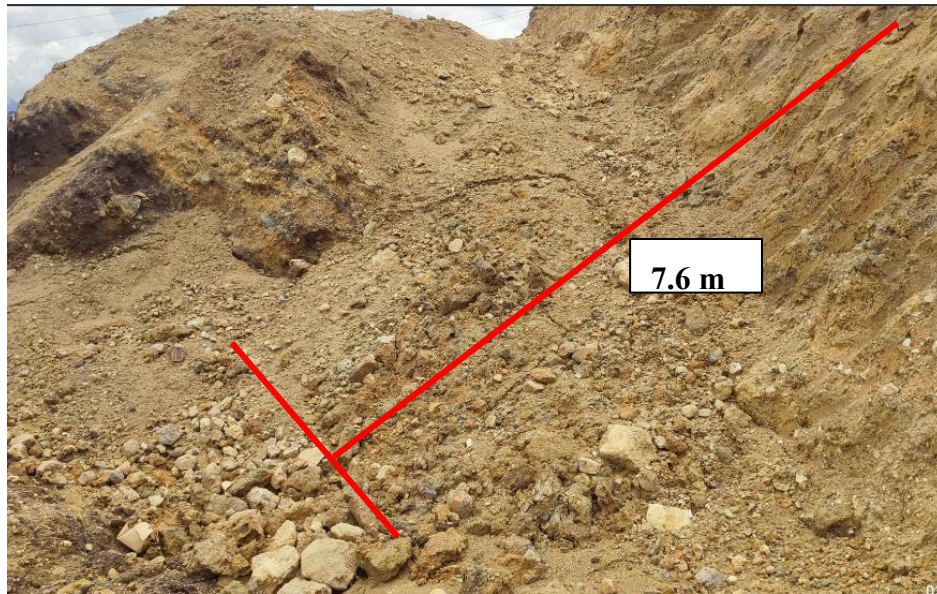


Figura 41. Espesor de cuaternario del triángulo 7. Coordenadas UTM: 819623.98 E, 9231375.62 N

$$\text{Volumen cuaternario 7} = 356798.08(\text{m}^2)$$

Volumen del triángulo 8

Tabla 15 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 8.

TRIÁNGULO 8			VÉRTICES	ESTE
	NORTE			
4	9231050	819570		
8	9230790	819650		
12	9230996	819889		
CALICATA 8	9231526	819415		
8.1			ESPESOR	



Figura 42. Espesor de cuaternario del triángulo 8. Coordenadas UTM: 819415.48 E, 9231526.56 N

$$\text{Volumen bloque 8} = 318382.44(m^3)$$

Volumen del triángulo 9

Tabla 16 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 9.

TRIÁNGULO 9		
VÉRTICES	NORTE	ESTE
8	9230790	819650
9	9230780	819850
12	9230996	819889
CALICATA 9	9231275	819479
ESPESOR	6.2	

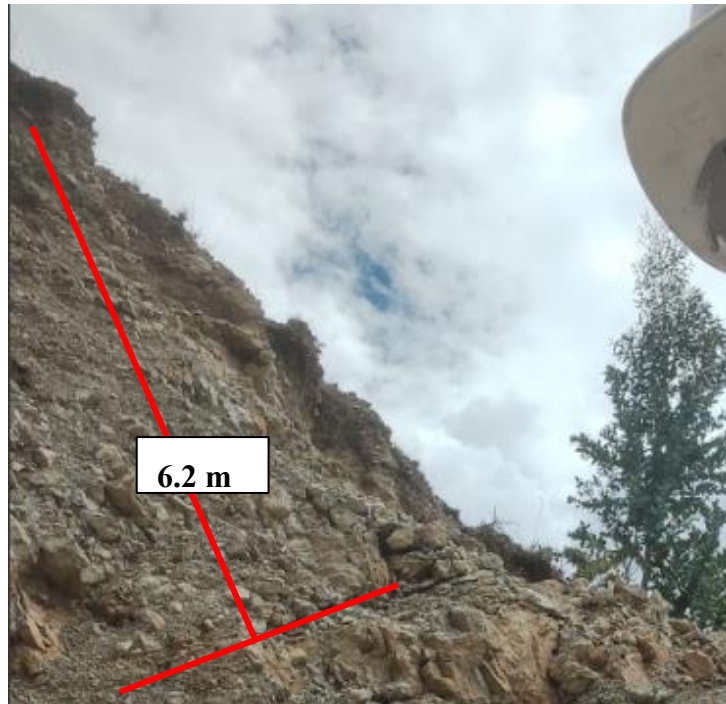


Figura 43. Espesor de cuaternario del triángulo 9. Coordenadas UTM: 819479.08 E, 9231275.26 N

$$\text{Volumen bloque 9} = 195428.66(m^3)$$

Volumen del triángulo 10

Tabla 17 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 10.

TRIÁNGULO 10		
VÉRTICES	NORTE	ESTE
9	9230780	819850
10	9230820	820150
12	9230996	819889
CALICATA 10	9231563	816159
ESPESOR	9.2	

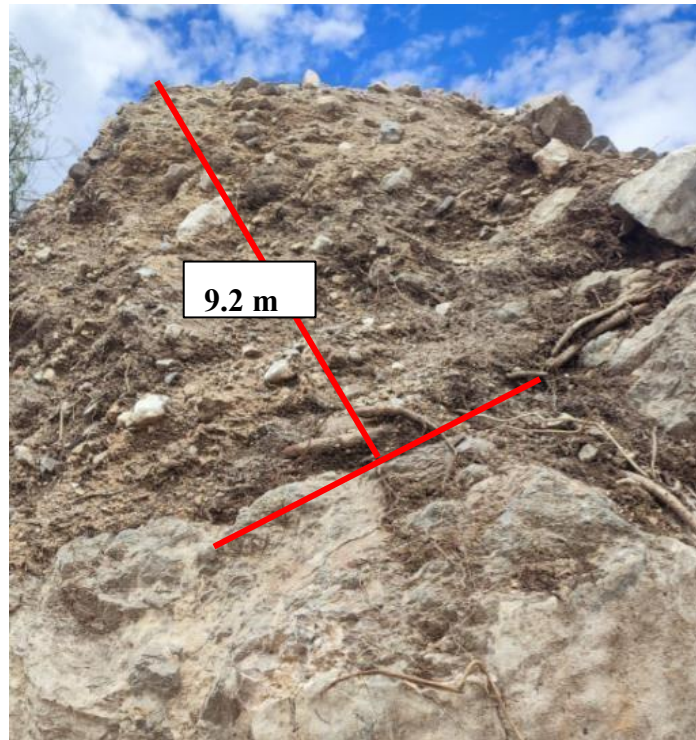


Figura 44. Espesor de cuaternario del triángulo 10. Coordenadas UTM: 816159.06 E, 9231563.19 N

$$\text{Volumen bloque 10} = 440337.26(m^3)$$

Volumen del triángulo 11

Tabla 18 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 11.

TRIÁNGULO 11		
VÉRTICES	NORTE	ESTE
10	9230820	820150
11	9231032	820137
12	9230996	819889
CALICATA 11	9231573	819121
ESPESOR	6.8	

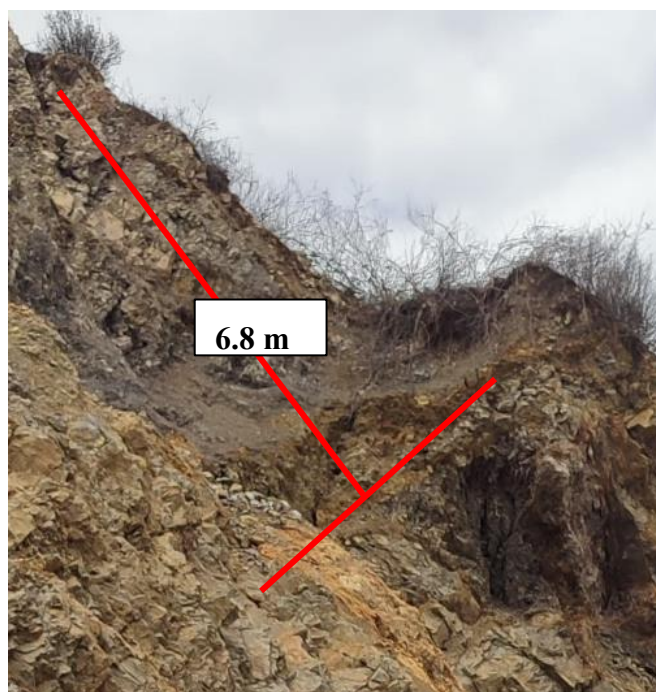


Figura 45. Espesor de cuaternario del triángulo 11. Coordenadas UTM: 819121.13 E, 9231573.27 N

$$\text{Volumen bloque 11} = 180337.29(m^3)$$

Volumen del triángulo 12

Tabla 19 Vértices y espesor de cuaternario del Triángulo 12.

TRIÁNGULO 12		
<u>VÉRTICES</u>	NORTE	ESTE
5	9231280	819950
11	9231032	820137
12	9230996	819889
CALICATA 12	9231275	819624
ESPESOR	8.2	

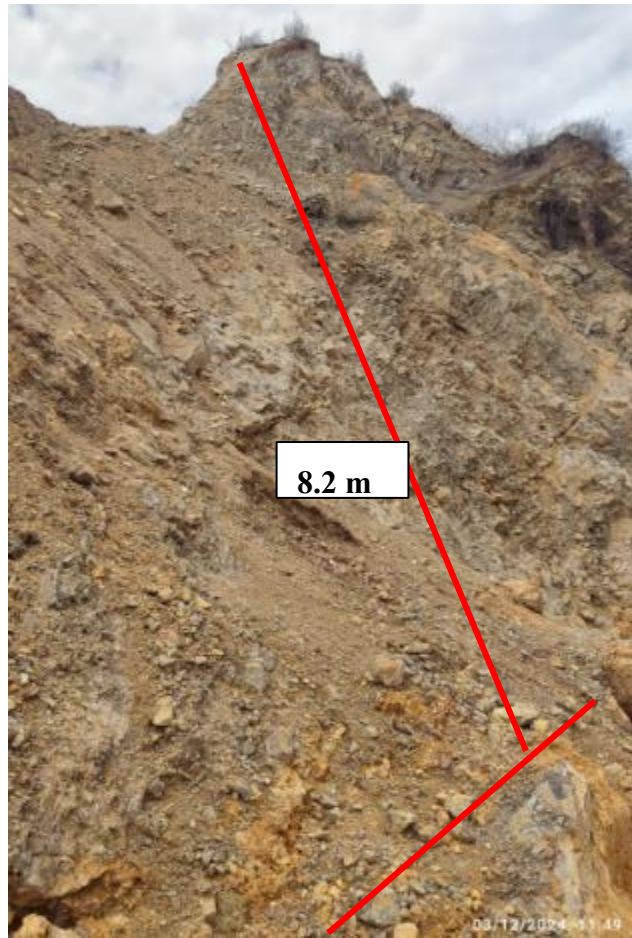


Figura 46. Espesor de cuaternario del triángulo 12. Coordenadas UTM: 819624.17 E, 9231275.53 N

$$\text{Volumen bloque 12} = 279778.98(m^3)$$

4.1.3.4. Determinación de los tonelajes

Para determinar los tonelajes se hará uso del software Mineplan para determina para cada triángulo el volumen de cuaternario, posteriormente el volumen total y a este se le restará el volumen de material cuaternario obtenido inicialmente para obtener el volumen de caliza.

Para obtener el tonelaje de caliza, se multiplicará el volumen por la densidad, la cual fue calculada a partir de muestras enviadas al laboratorio.

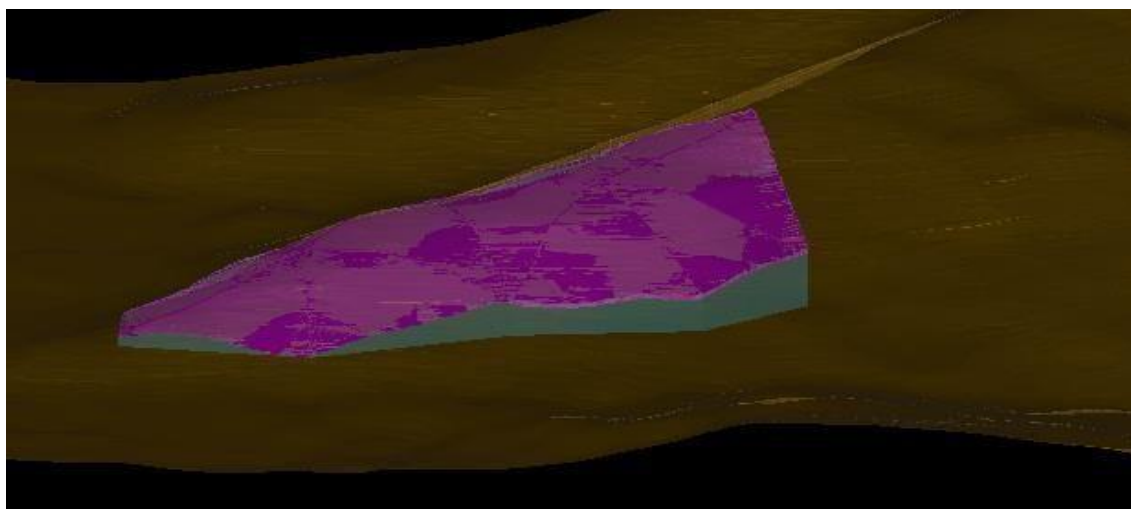


Figura 47. Superficie de terreno, material cuaternario, y caliza Tabla

20 Determinación de las reservas en TM

Volumen	Cantidad	Unidades
VOLUMEN TOTAL	43861725.1	m ³
VOL. CUATERNARIO	2340872.16	m ³
VOL. CALIZA	41520853	m ³



Figura 48. Superficie de terreno, material cuaternario, y caliza

4.1.3.5. DETERMINACION DE CUATERNARIO POR TRIÁNGULO

TRIÁNGULO 1: Para la determinación del material cuaternario del triangulo 1 se tomó como referencia la profundidad de la calicata 1 la cual posee 2.3m de espesor y posteriormente se ingresaron los datos al software Mineplan



Figura 49. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 1

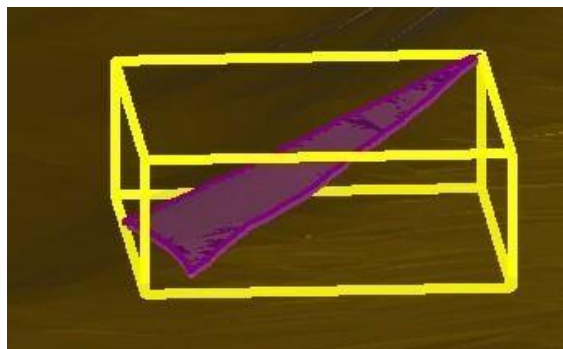


Figura 50. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 1

Integrated volume for 1 solid(s):
51,758.00 cubic meters

Figura 51. Volumen del material cuaternario del triángulo 1

TRIÁNGULO 2: Para la determinación del material cuaternario del triángulo 2 se tomó como referencia la profundidad de la calicata 2 la cual posee 0.4m de espesor y posteriormente se ingresaron los datos al software Mineplan



Figura 52. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 2

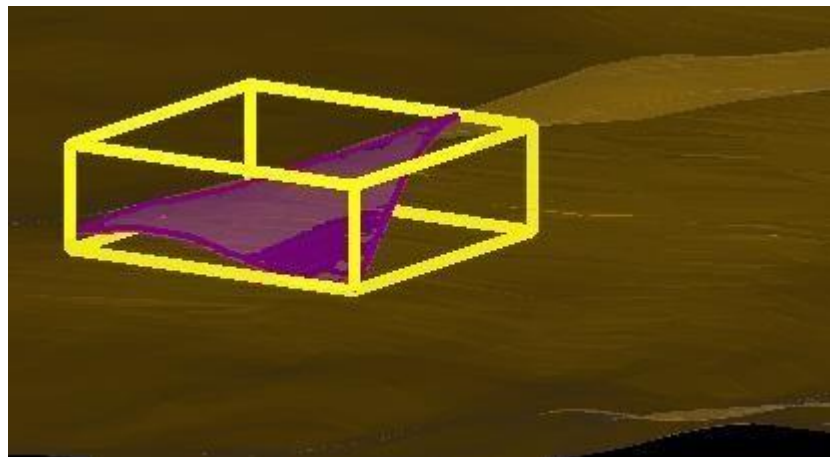


Figura 53. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 2

Integrated volume for 1 solid(s):
14,856.77 cubic meters

Figura 54. Volumen del material cuaternario del triángulo 2

TRIÁNGULO 3: Para la determinación del material cuaternario del triangulo 3 se tomó como referencia la profundidad de la calicata 3 la cual posee 0.35m de espesor y posteriormente se ingresaron los datos al software Mineplan.



Figura 55. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 3

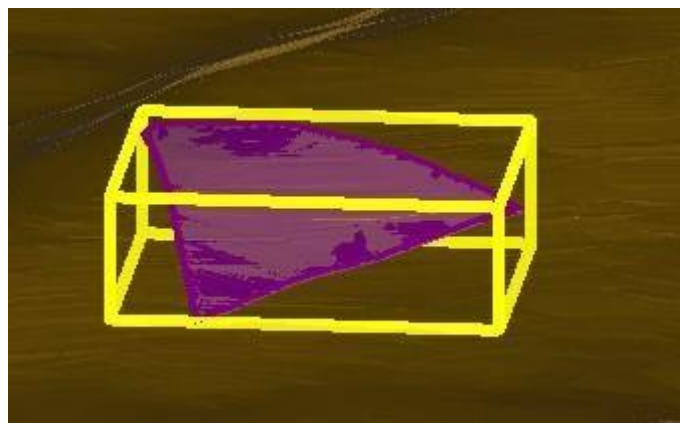


Figura 56. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 3

Integrated volume for 1 solid(s):
14,027.01 cubic meters

Figura 57. Volumen del material cuaternario del triángulo 3

TRIÁNGULO 4: Para la determinación del material cuaternario del triangulo 4 se tomó como referencia la profundidad de la calicata 4 la cual posee 6.2m de espesor y posteriormente se ingresaron los datos al software Mineplan.



Figura 58. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 4.

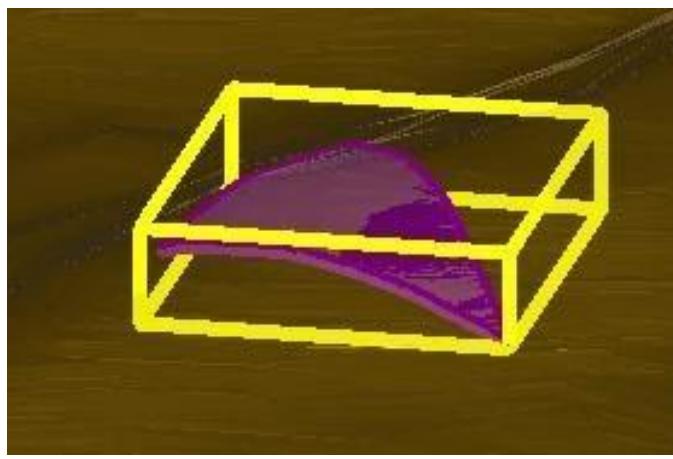


Figura 59. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 4.

Integrated volume for 1 solid(s):
317,731.38 cubic meters

Figura 60. Volumen del material cuaternario del triángulo 4

TRIÁNGULO 5: Para la determinación del material cuaternario del triangulo 5 se tomó como referencia la profundidad de la calicata 5 la cual posee 1.1m de espesor y posteriormente se ingresaron los datos al software Mineplan.



Figura 61. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 5.



Figura 62. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 5.

Integrated volume for 1 solid(s):
27,666.36 cubic meters

Figura 63. Volumen del material cuaternario del triángulo.

TRIÁNGULO 6: Para la determinación del material cuaternario del triangulo 6 se tomó como referencia la profundidad de la calicata 6 la cual posee 6.6m de espesor y posteriormente se ingresaron los datos al software Mineplan.



Figura 64. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 6.

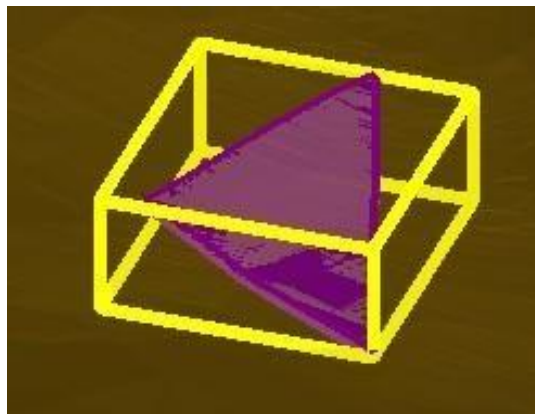


Figura 65. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 6.

Computing volume/block partials.
Integrated volume for 1 solid(s):
143,769.93 cubic meters

Figura 66. Volumen del material cuaternario del triángulo 6

TRIÁNGULO 7: Para la determinación del material cuaternario del triángulo 7 se tomó como referencia la profundidad de la calicata 7 la cual posee 7.6m de espesor y posteriormente se ingresaron los datos al software Mineplan.



Figura 67. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 7

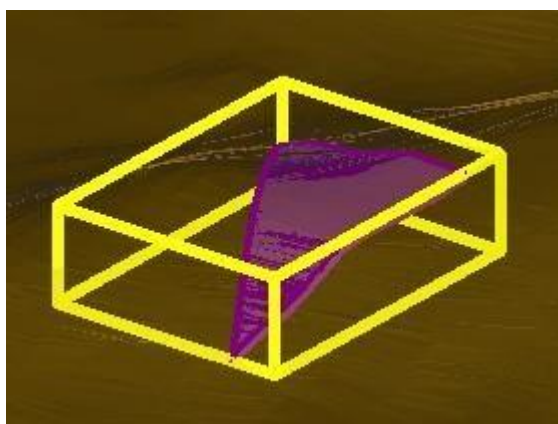


Figura 68. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 7

Computing volume/block partials.
Integrated volume for 1 solid(s):
356,798.08 cubic meters

Figura 69. Volumen del material cuaternario del triángulo 7

TRIÁNGULO 8: Para la determinación del material cuaternario del triángulo 8 se tomó como referencia la profundidad de la calicata 8 la cual posee 8.1m de espesor y posteriormente se ingresaron los datos al software Mineplan.



Figura 70. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 8

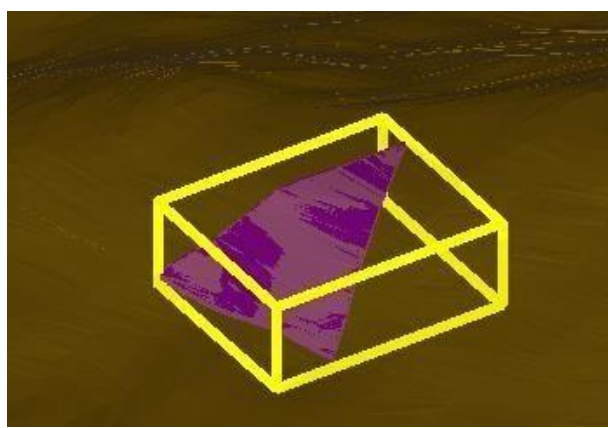


Figura 71. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 8

Computing volume/block partials.
Integrated volume for 1 solid(s):
318,382.44 cubic meters

Figura 72. Volumen del material cuaternario del triángulo 8

TRIÁNGULO 9: Para la determinación del material cuaternario del triangulo 9 se tomó como referencia la profundidad de la calicata 9 la cual posee 6.2m de espesor y posteriormente se ingresaron los datos al software Mineplan.



Figura 73. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 9

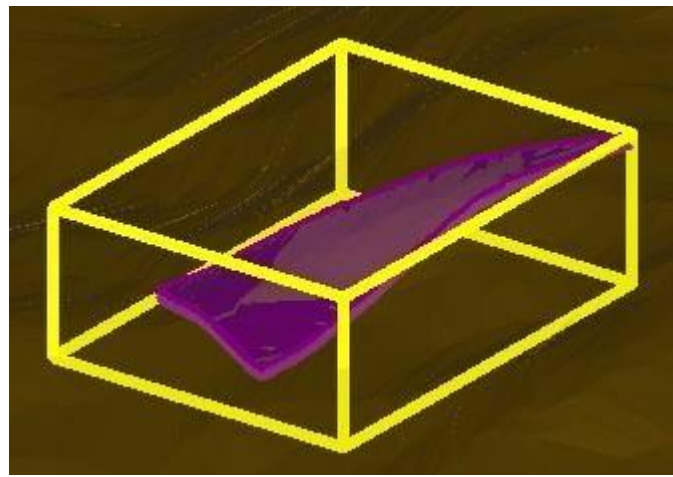


Figura 74. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 9

Computing volume/block partials.
Integrated volume for 1 solid(s):
195,428.66 cubic meters

Figura 75. Volumen del material cuaternario del triángulo 9

TRIÁNGULO 10: Para la determinación del material cuaternario del triangulo 10 se tomó como referencia la profundidad de la calicata 10 la cual posee 9.2m de espesor y posteriormente se ingresaron los datos al software Mineplan.



Figura 76. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 10

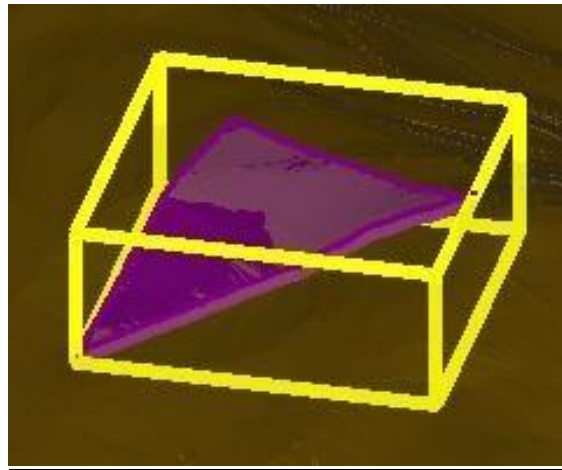


Figura 77. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 10

Integrated volume for 1 solid(s):
440,337.26 cubic meters

Figura 78. Volumen del material cuaternario del triángulo 10

TRIÁNGULO 11: Para la determinación del material cuaternario del triángulo 11 se tomó como referencia la profundidad de la calicata 11 la cual posee 6.8m de espesor y posteriormente se ingresaron los datos al software Mineplan.



Figura 79. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 11

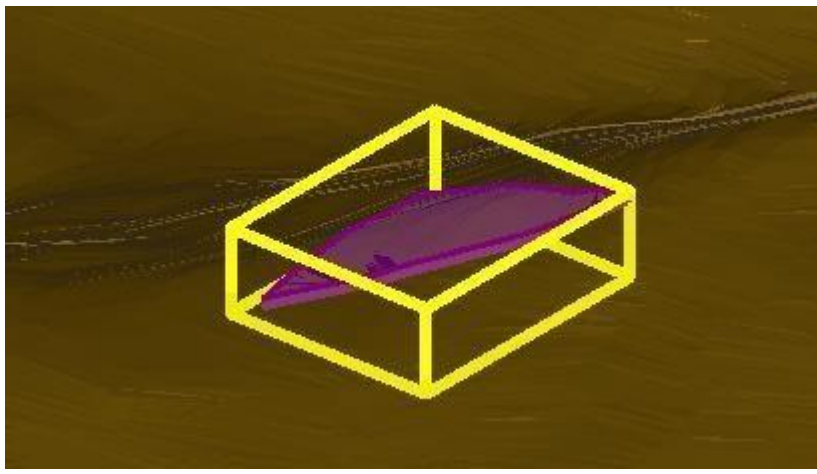


Figura 80. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 11

Computing volume/block partials.
Integrated volume for 1 solid(s):
180,337.29 cubic meters

Figura 81. Volumen del material cuaternario del triángulo 10

TRIÁNGULO 12: Para la determinación del material cuaternario del triángulo 12 se tomó como referencia la profundidad de la calicata 12 la cual posee 6.8m de espesor y posteriormente se ingresaron los datos al software Mineplan.



Figura 82. Vista en planta del material cuaternario del triángulo 12

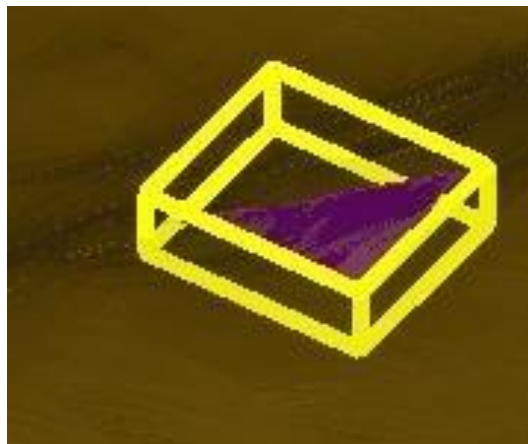


Figura 83. Vista de perfil del material cuaternario del triángulo 12

Computing volume/block partials.
Integrated volume for 1 solid(s):
279,778.98 cubic meters

Figura 84. Volumen del material cuaternario del triángulo 12

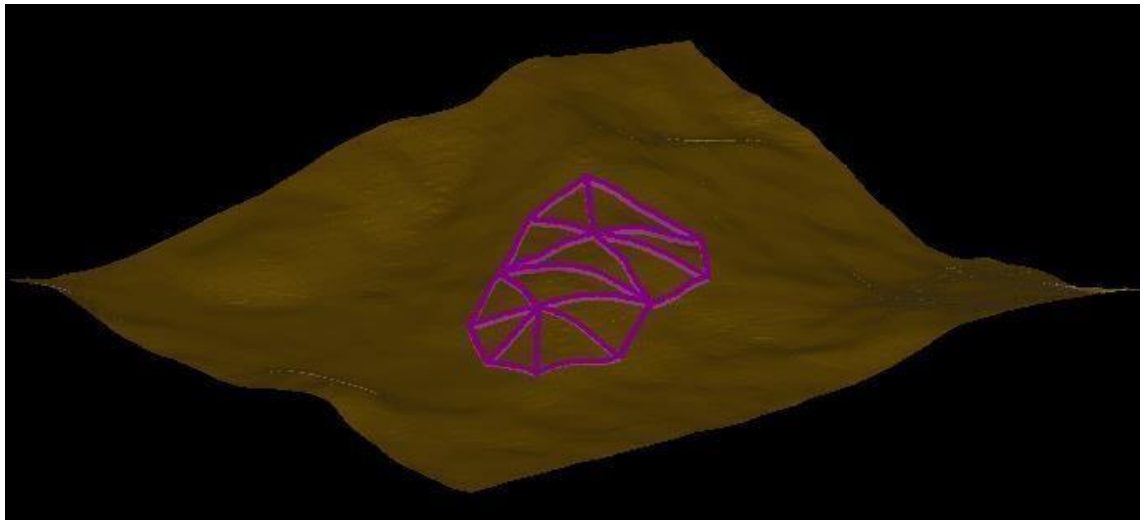


Figura 85. Triángulos de cuaternario

Posteriormente con el espesor de cuaternario determinado para cada triángulo y haciendo uso del software Mineplan, se logró determinar el volumen de cuaternario.

Tabla 21 Resultado del espesor de cuaternario por triángulo

ESPESOR DE CUATERNARIO (m)	
TRIÁNGULO 1	2.3
TRIÁNGULO 2	0.4
TRIÁNGULO 3	0.35
TRIÁNGULO 4	6.2
TRIÁNGULO 5	1.1
TRIÁNGULO 6	6.6
TRIÁNGULO 7	7.6
TRIÁNGULO 8	8.1
TRIÁNGULO 9	6.2
TRIÁNGULO 10	9.2
TRIÁNGULO 11	6.8
TRIÁNGULO 12	8.2
ESPESOR PROMEDIO	5.25

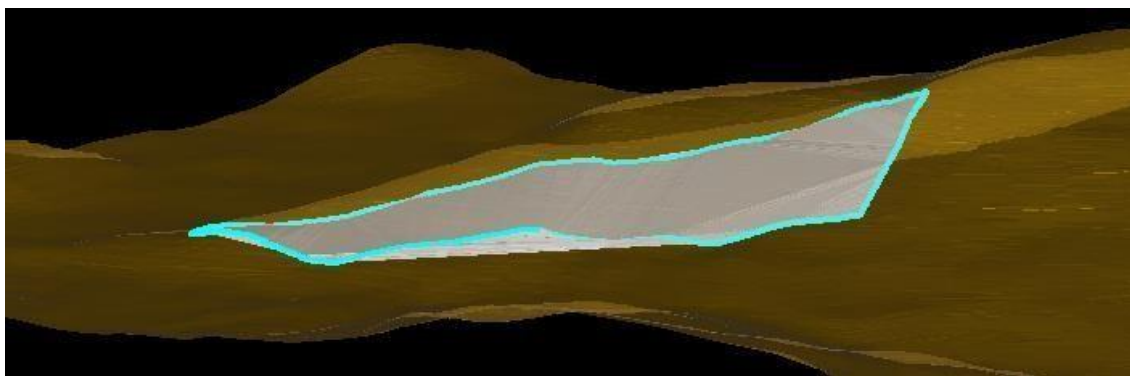


Figura 86. Cuaternario y contacto con caliza

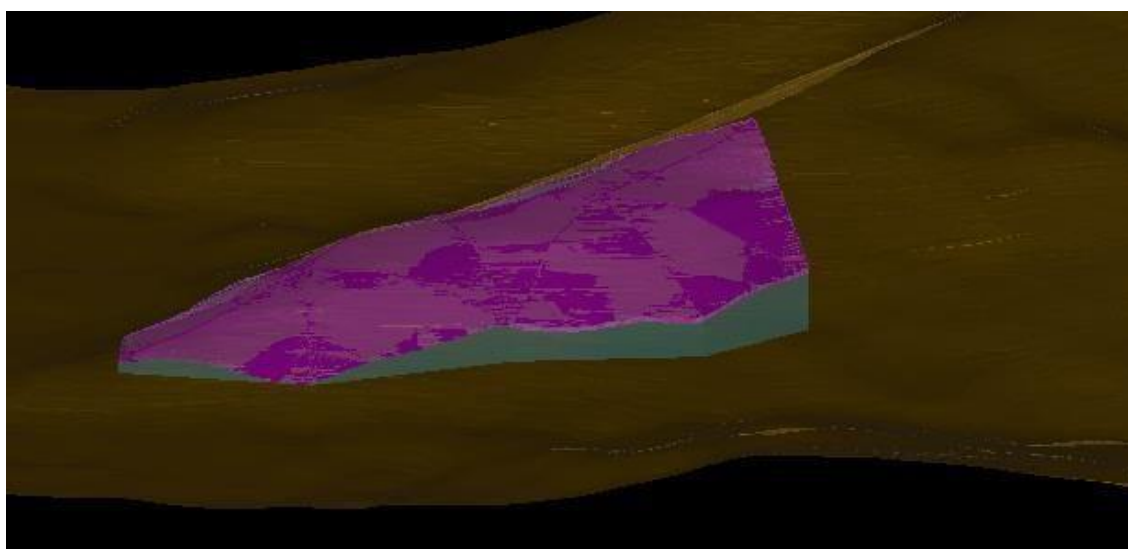


Figura 87. Superficie de terreno, material cuaternario, y caliza

Con la finalidad de que se pueda visualizar el espesor del material cuaternario se presenta la siguiente evidencia, la cual muestra el contacto entre el material cuaternario, la caliza y parte de la superficie del terreno.

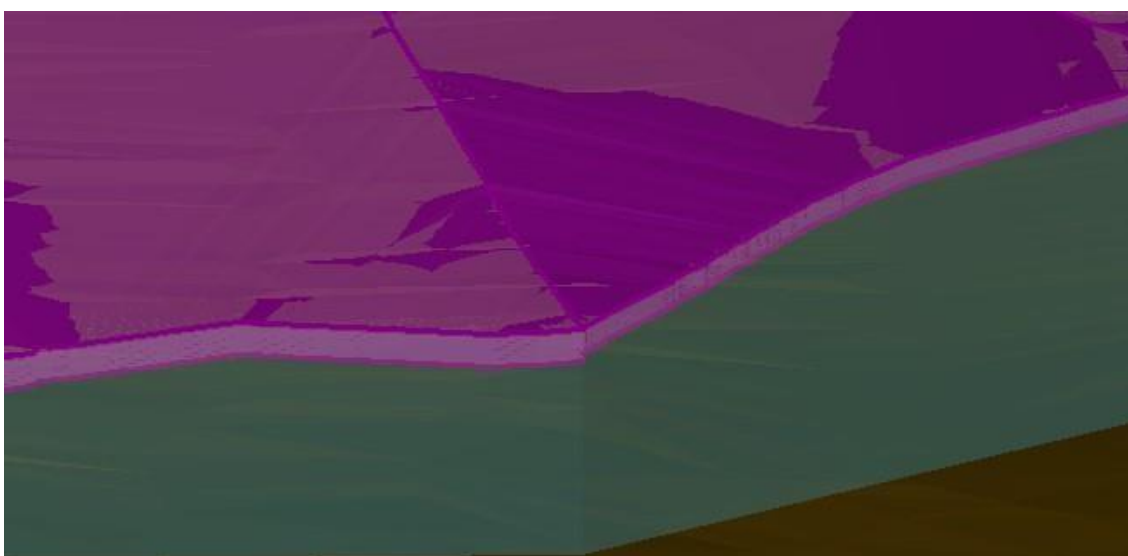


Figura 88. Espesor de material cuaternario y contacto con caliza.

Una vez determinado la cantidad de material cuaternario y el volumen total se procede a determinar la reserva de caliza de la siguiente manera.

$$\begin{aligned} \text{Reserva se caliza} &= \text{volumen total}(m^3) - \text{volumen de cuaternario}(m^3) \\ \text{se caliza} &= 43861725.1(m^3) - 2340872.16(m^3) \\ \text{Reserva de caliza} &= 41520853(m^3) \end{aligned}$$

4.2 Análisis químico de laboratorio de muestras de calizas

Para determinar el contenido de óxido de calcio en las Calizas, se tuvo de recolectar muestras de calizas de los 12 puntos para el análisis de laboratorio respectivo. Estas muestras fueron codificadas como “MUJ”. Las cuales mediante análisis en laboratorio y cálculos nos permitirá determinar la cantidad de Oxido de calcio presente en el yacimiento. Tabla 22 Resultado del análisis químico de las muestras de calizas

a	Nuestr	%Carbonato de calcio (CaCO ₃)	%Oxido de calcio (CaO)
	MUJ-01	93.21	58.35
	MUJ-02	92.72	56.33
	MUJ-03	90.22	55.7
	MUJ-04	91.98	55.78
	MUJ-05	90.27	54.7
	MUJ-06	92.44	52.22
	MUJ-07	93.72	54.22
	MUJ-08	90.77	52.97
	MUJ-09	93.21	58.91
	MUJ-10	93.28	59.98
	MUJ-11	92.33	60.91
	<u>MUJ-12</u>	90.11	59.12
	Promedio	92.02	56.60

La representación en barras indica que el porcentaje de óxido de calcio está estrechamente relacionado al contenido de Carbonato de calcio. Se puede observar que el contenido de

CaCO₃ está en promedio por encima de los 90% y el contenido de OCa esta alrededor de los 56%.

Tabla 23 Resultado de los análisis químicos de las muestras de calizas

Nuestra	%CaCO ₃	%CaO	%Fe ₂ O ₃	%MgO	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	CO ₂ +H ₂ O
MUJ-01	93.21			0.92	0.77	1.05	39.23
MUJ-02			.38	0.94	0.73	1.12	38.85
	92.72		0.34				
MUJ-03	90.22			0.89	0.69	1.02	38.77
MUJ-04			.31	0.78	0.72	0.98	38.01
	91.98		0.29				
MUJ-05	90.27	58.35			0.69	1.02	38.77
MUJ-06	92.44	56.33	.31		0.73	1.08	39.88
		55.7	0.26				
		55.78					
		54.7					
		52.22					
		54.22					
		52.97					
		58.91					
		59.98					
		60.91		0.89			
		59.12		0.79			
MUJ-07	93.72			0.77	0.73	1.09	39.01
MUJ-08			.29	0.74	0.82	1.13	39.15
	90.77		0.31				
MUJ-09	93.21			0.71	0.92	1.13	39.02
MUJ-10			.33	0.79	0.89	1.11	38.99
	93.28		0.31				
MUJ-11	92.33			0.79	0.93	1.08	39.22
MUJ-12			.29	0.69	0.88	1.05	39.89
	90.11		0.35				
Promedio	92.02	56.60	0.31	0.81	0.79	1.07	38.26

Fuente: INGEOCONSULT LAB. SRL (2024)

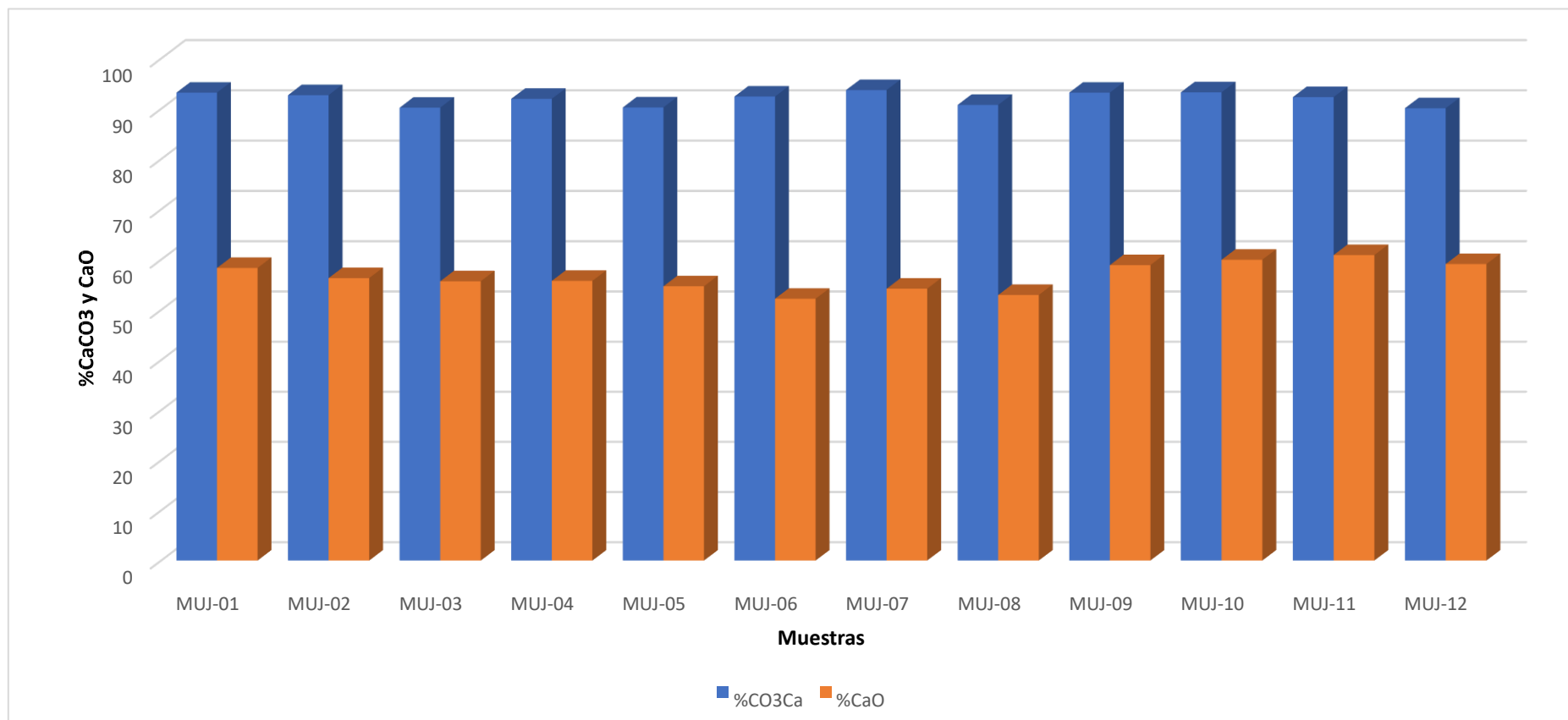


Figura 89. Representación de los resultados de los análisis químicos de las calizas

Fuente: INGEOCONSULT LAB. SRL (2024)

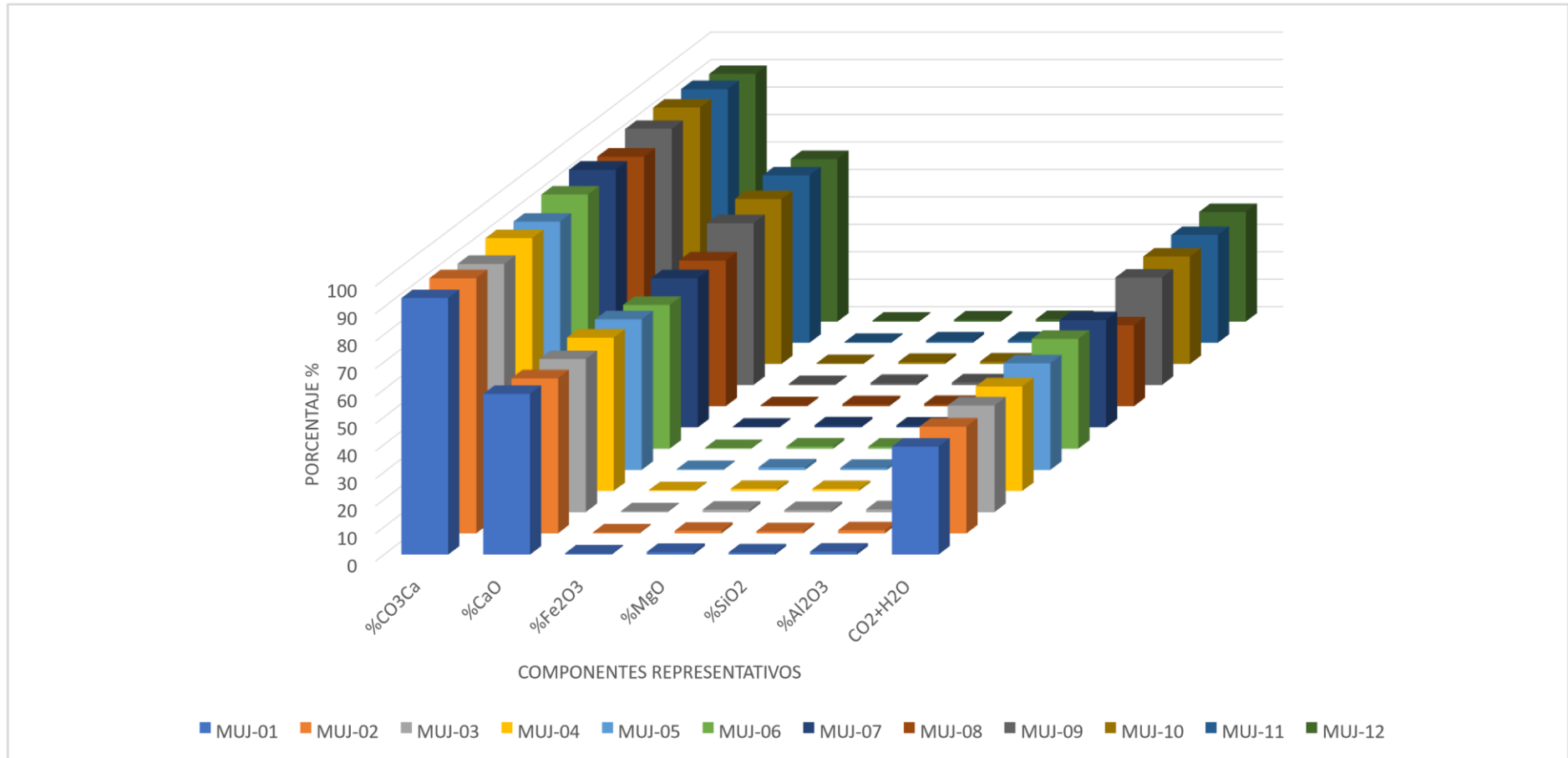


Figura 90. Representación de los resultados de los análisis de CaCO₃ vs CaO

Fuente: INGEOCONSULT LAB. SRL, (2024)

4.2.1 Control de calidad de los resultados químicos

4.2.1.1. Balance de masa

El balance de masa es importante porque nos ayuda a llevar un buen control en la actividad de la explotación de las calizas. Este balance considera un principio fundamental que significa que todo material que entra en el proceso debe ser igual al producto que sale más el material producido. Esto se representa mediante esta sencilla ecuación:

$$\text{Entrada} - \text{Salida} = \text{PRODUCCIÓN}$$

$$(\text{Roca caliza}) - G(\text{CO}_2 \text{ liberado}) = P(\text{cal viva})$$

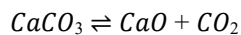


Tabla 24. Balance de masa

Alimentación		100 Kg
componentes	%	masa (Kg)
pureza (CaCO ₃)	92.2	92.2
Impurezas	7.8	7.8
Cal viva		
CaO		56%
Perdida por calor		44%

a. Cálculo de CaO y CO₂ total en la roca caliza por estequiometría:

Peso molecular del CO₂=44 gr

Peso molecular del CaCO₃=100 gr.

Peso molecular de CaO=56 gr.

$$\text{Masa de CaCO}_3 = 100\text{kg} * \frac{92.2}{100} = 92.2 \text{ Kg CaCO}_3 \text{ total}$$

b. Cálculo de masa de CaO

$$\text{Masa de CaO} = 92.2\text{kg} * \frac{56}{100} = 51.63 \text{ Kg CaO total}$$

c. Cálculo de masa de CO₂ liberado en la calcinación

$$\text{Masa de CO}_2 = 92.2\text{kg} * \frac{44}{100} = 40.57 \text{ Kg CaO total}$$

d. Cálculo de impurezas

$$\text{Impurezas} = 7.8 \%$$

Para llevar un control de los resultados obtenidos en laboratorio se va a considerar lo siguiente:

100% de CaCO₃ es igual a 100gr.

Por los resultados obtenidos se tiene el promedio de % de CaCO₃

Por estequiometria tenemos 92.2% de

CaCO₃ = 92.2gr de CaCO₃ Por lo que:

Si para 100 gr. de CaCO₃ se tiene 56.60 gr de CaO entonces para 92.2gr de CaCO₃ se tendrá:

100gr. de Ca CO₃-----56.60 gr de CaO

92.2gr. de CaCO₃ ----- X

$$x\text{gr. CaO} = \frac{92.2\text{gr. CaCO}_3 * 56.60 \text{ gr. de CaO}}{100\text{gr. de CaCO}_3}$$

$$x\text{gr. CaO} = 52.19\text{gr. CaO}$$

Determinado el porcentaje de perdida por calcinación se tiene:

$$\% \text{ de CO}_2 = \% \text{ de CO}_3 \text{ Ca} - \% \text{ de CaO}$$

$$\% \text{ de CO}_2 = 92.2 - 52.19$$

$$\% \text{ de CO}_2 = 40.01\%$$

Por los resultados obtenidos se tiene lo un promedio de:

92.2% CaCO₃

52.19% de CaO

40.01% de CO₂

Por lo que los resultados obtenidos en laboratorio tienen concordancia con los obtenidos en el control de calidad teórico. En consecuencia, se determina la siguiente relación para todas las muestras analizadas: 92.2 % de CaCO₃

52.19% de CaO y

40.01% de CO₂ lo que muestra una relación similar con los resultados del laboratorio.

4.3. Determinación de las reservas de CaCO₃

Para conocer en términos de tonelaje la cantidad de óxido de calcio que se puede obtener de las calizas de la formación Cajamarca. Multiplicamos las reservas de CaCO₃ de las calizas por la ley de CaCO₃ determinadas en laboratorio.

4.3.1. Determinación de las reservas de desmonte 1

La cantidad de desmonte 1. se determina de la siguiente manera:

$$\text{Reservas de desmontes1 (TM)} = \text{Reserva de Caliza} - \text{Reserva caliza} * \text{ley}$$

$$\text{Reservas de desmontes1 (TM)} = 34811414.51\text{TM} - 32049634.28\text{TM} = 2761780.23 \text{ TM}$$

Tabla 25 Calculo en TM del desmonte 1

Triángulo	Reservas (m3) Caliza	Ley de CaCO3 (%)	Reservas (m3) CaCO3	Desmonte 1 (m3)
1	740297.77	0.9321	690031.551	50266.218
2	1564225.74	0.9272	1450350.106	113875.633
3	2636200.43	0.9022	2378380.027	257820.402
4	5400118.83	0.9198	4967029.299	433089.530
5	1847652.47	0.9027	1667875.884	179776.585
6	692714.46	0.9244	640345.246	52369.213
7	5783310.15	0.9372	5420118.272	363191.877
8	3733674.36	0.9077	3389056.216	344618.143
9	3427012.36	0.9321	3194318.220	232694.139
10	7139499.89	0.9328	6659725.497	479774.392
11	4347105.23	0.9233	4013682.258	333422.971
12	4209041.27	0.9011	3792767.088	416274.181
Total	41520853		32049634.28	3257173.288

4.3.2 Determinación de las reservas de CaO

Para conocer las reservas de CaO se multiplica las reservas de CaCO₃ por la ley de CaO determinadas en laboratorio:

4.3.2.1 Determinación de las reservas de desmonte 2

La cantidad de desmonte 2 se determina de la siguiente manera:

$$\text{Reservas de desmontes2 (TM)} = \text{Reservas de CO}_3\text{Ca} - \text{Reservas de OCa}$$

$$\text{Reservas de desmontes1 (TM)} = 32049634.28\text{TM} - 21858963.83\text{TM} = 16404715.841\text{TM}$$

Tabla 26 Cálculo en TM del desmonte 2

	Triángulo	Reservas (m3)	Ley Oca	Reservas	Desmonte 2
(m3)					
402633.4103		690031.551	0.5835	1	287398.1412
	2	1450350.106	0.5633	816982.2148	633367.8913
	3	2378380.027	0.557	1324757.676	1053622.352
	4	4967029.299	0.5578	2770608.943	2196420.356
	5	1667875.884	0.547	912328.1089	755547.7758
	6	640345.246	0.5222	334388.2879	305956.9589
	7	5420118.272	0.5422	2938788.127	2481330.145
	8	3389056.216	0.5297	1795183.078	1593873.139
	9	3194318.220	0.5891	1881772.864	1312545.357
	10	6659725.497	0.5998	3994503.353	2665222.144
	11	4013682.258	0.6091	2444733.864	1568948.395
	12	3792767.088	0.5912	2242283.903	1550483.186
	Total	32049634.28		21858963.83	16404715.84
		CaCO ₃	(%)	CaO	(m3)

4.3.2.2. Castigo por dilución

Debido a la presencia de una cobertura cuaternaria la cual tiene un espesor promedio de 5.25 m, compuesta por suelos arcillosos como consecuencia de la alteración de las rocas calizas, por lo que se aplica un castigo a cada triángulo basándonos en el espesor de cuaternario y la superficie topográfica

Tabla 27. Espesor promedio de material cuaternario por triángulo

ESPEJOR DE CUATERNARIO (m)	
TRIÁNGULO 1	2.3
TRIÁNGULO 2	0.4
TRIÁNGULO 3	0.35
TRIÁNGULO 4	6.2
TRIÁNGULO 5	1.1
TRIÁNGULO 6	6.6
TRIÁNGULO 7	7.6
TRIÁNGULO 8	8.1
TRIÁNGULO 9	6.2
TRIÁNGULO 10	9.2
TRIÁNGULO 11	6.8
TRIÁNGULO 12	8.2
	5.25

ESPEJOR PROMEDIO

Tabla 28 Cálculo de Cao por triángulo

Triángulo	Reservas CaO (TM)
1	402633.4103
2	816982.2148
3	1324757.676
4	2770608.943
5	912328.1089
6	334388.2879
7	2938788.127
8	1795183.078
9	1881772.864
10	3994503.353
11	2444733.864
12	2242283.903
Total	21858963.83



Figura 91. Representación de la altura de cobertura cuaternaria de 5.25 m

4.4. Tonelaje de los desmontes 1 y 2

En una futura explotación de estas calizas por Oxido de calcio (CaO) se obtendrán los desmontes 1 y desmonte 2 en TM:

$$\text{Total desmontes (TM)} = \text{Desmonte 1(TM)} + \text{Desmonte2(TM)}$$

$$\text{Total desmontes (TM)} = 3257173.289(\text{TM}) + 16404715.84(\text{TM})$$

$$\text{Total desmontes (TM)} = 19661889.13 (\text{TM})$$

Tabla 29 Cálculos efectuados de los 12 triángulos

Triángulo	Volumen (m^3)	Ley CaCO ₃ (%)	Reservas CaCO ₃ (m^3)	Reservas Desmonte 1 (TM)	Ley CaO (%)	Reservas CaO (TM)	Reservas Desmonte 2 (TM)
1	740297.77	0.9321	690031.551	50266.218	0.5835	402633.4103	287398.1412
2	1564225.74	0.9272	1450350.106	113875.633	0.5633	816982.2148	633367.8913
3	2636200.43	0.9022	2378380.027	257820.402	0.557	1324757.676	1053622.352
4	5400118.83	0.9198	4967029.299	433089.530	0.5578	2770608.943	2196420.356
5	1847652.47	0.9027	1667875.884	179776.585	0.547	912328.1089	755547.7758
6	692714.46	0.9244	640345.246	52369.213	0.5222	334388.2879	305956.9589
7	5783310.15	0.9372	5420118.272	363191.877	0.5422	2938788.127	2481330.145
8	3733674.36	0.9077	3389056.216	344618.143	0.5297	1795183.078	1593873.139
9	3427012.36	0.9321	3194318.220	232694.139	0.5891	1881772.864	1312545.357
10	7139499.89	0.9328	6659725.497	479774.392	0.5998	3994503.353	2665222.144
11	4347105.23	0.9233	4013682.258	333422.971	0.6091	2444733.864	1568948.395
12	4209041.27	0.9011	3792767.088	416274.181	0.5912	2242283.903	1550483.186
TOTAL	41520853		32049634.28	3257173.288		21858963.83	16404715.84

4.5 Explotación por bancos escalonados ascendentes

Para la elección del método de explotación óptimo se analizaron las características del depósito de caliza como la geometría, topografía y propiedades físicas. El método elegido es el de Bancos escalonados ascendentes porque es la más frecuente por la facilidad de apertura de la cantera y la mínima distancia de transporte. Con este método de explotación el frente de trabajo estará siempre activo y el frente de avance estará progresivamente más alto.

4.5.1 Diseño del yacimiento de calizas

El diseño del yacimiento de calizas se realizó con la finalidad de lograr la mayor recuperación de reservas de las calizas de la formación Cajamarca.

4.5.2 Diseño del yacimiento de calizas Jorge Chávez

Las diferentes partes que conformarán el diseño de explotación de las calizas estarán diseñadas en dirección NO- SE.

4.5.3 Altura de explotación del yacimiento

La altura de explotación se ha calculado de la siguiente manera: H

$$= H_s - H_i$$

Donde:

H = Profundidad del yacimiento (m)

H_s = Cota superior (m)

H_i = Cota inferior (m) Reemplazando datos:

$$H = H_s - H_i = 2760 \text{ m} - 2725 \text{ m} = 35 \text{ m}$$

4.5.4 Angulo de banco

Teniendo en cuenta la tabla de Protodyakonov del coeficiente de resistencias de las rocas, se asume un valor de (f) bastante razonable de 6. Este valor se aplica en la formula siguiente:

$$\varphi = \arctg (f)$$

Donde:

φ = Ángulo del talud del banco

f = Coeficiente de resistencia de Protodyakonov para calizas es de $f = 6$ reemplazando tenemos:

$$\varphi = \arctg (6) = 80^\circ$$

Tabla 30 Clasificación de las rocas según Protodyakonov.

Categoría	Descripción	f
Excepcional	Cuarcita, basaltos y rocas de resistencia excepcional	20
Alta resistencia	Granito, areniscas silíceas y calizas muy competentes	15 – 10
Resistencia media	Caliza, granito algo alterado y areniscas. 8 – 6	5
	Areniscas medias y pizarras	4
	Arcillolitas, areniscas flojas y conglomerados friables	3
	Arcillolitas y esquistos, margas compactas	2
Resistencia baja	Calizas y arcillolitas blandas, margas, areniscas friables, gravas y morrenas.	1.5
	Terrazas, arcillolitas fisuradas y rotas, gravas compactas y arcillas preconsolidadas.	1
Resistencia muy baja	Arcillas y gravas arcillosas	0.6 0.5
	Suelos orgánicos, turbas y arenas húmedas Arenas y gravas finas	0.3
	Limos, loes y fangos, etc.	

4.5.5 Altura de banco (HB)

Es la distancia vertical que es medida entre los niveles consecutivos de explotación. Para la explotación de los yacimientos de calizas Jorge Chávez, la altura de banco se obtendrá en base a la maquinaria que en este caso será una excavadora CAT 320. Por lo que la altura de banco no debe superar al alcance máximo del cucharón. Bruce (2015)

DIMENSIONES		
Pluma	Alcance HD de 5,7 m (18'8")	
Brazo	Alcance HD de 2,9 m (9'6")	
Cucharón	1,19 m³ (1,56 yd³)	
Altura del embarque (parte superior de la cabina)	2960 mm	9'9"
Altura del pasamanos	2950 mm	9'9"
Longitud de embarque	9530 mm	31'3"
Radio de giro de la cola	2830 mm	9'4"
RANGOS Y FUERZAS DE TRABAJO		
Pluma	Alcance HD de 5,7 m (18'8")	
Brazo	Alcance HD de 2,9 m (9'6")	
Cucharón	1,19 m³ (1,56 yd³)	
Profundidad máxima de excavación	6720 mm	22'1"
Alcance máximo a nivel del suelo	9860 mm	32'4"
Altura máxima de corte	9370 mm	30'9"
Altura máxima de carga	6490 mm	21'4"
Altura mínima de carga	2170 mm	7'1"

Figura 92. Especificaciones Técnicas Excavadora Hidráulica CAT 320 Fuente:

Manual de Excavadora CAT 320, (2022)

$$H_b \leq H_m$$

$$Hb \leq 6.49 \text{ m}$$

4.5.6 Número de bancos

El número de bancos se determina con la siguiente formula:

$$Nb = \frac{H}{Hb}$$

Donde:

Nb = Número de bancos

H = profundidad de la cantera (m)

Hb = Altura del banco (m) Reemplazando:

H= 35 m

Hb= 5 m

$$Nb = \frac{35}{5} = 7 \text{ Se}$$

tendrá 7 bancos de 5 m de altura cada uno.

4.5.7 Ancho de la plataforma de trabajo

El ancho de la plataforma de trabajo se determina en base al tipo de maquinaria que se emplee para la extracción, en este caso se utilizará el Volquete 2506 JAC, que posee las siguientes características y posteriormente se empleará la fórmula para determinar el ancho de vía $A = a(0.5 + 1.5n)$. SME Mining Engineering Handbook

:

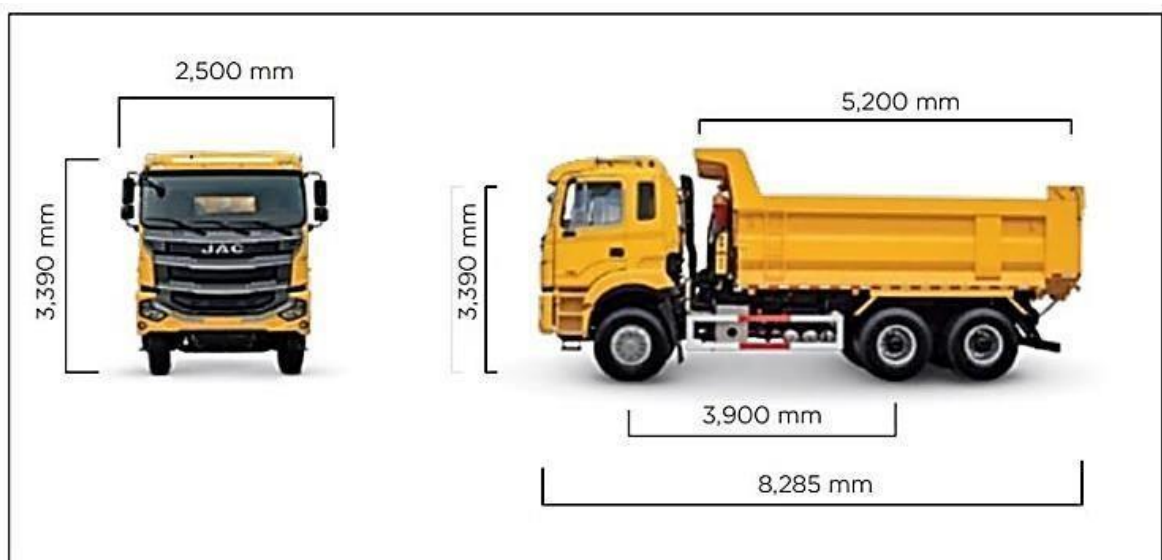


Figura 93. Especificaciones Técnicas Volquete 2506 Ton

Fuente: JAC Camiones, (2022)

$A = a (0.5 + 1.5 n)$ SME Mining Engineering Handbook (Society for Mining, Metallurgy & Exploration Donde:

A = Ancho total de la plataforma (m)

a= Ancho del vehículo (m) n = Número
de carriles deseados reemplazando

tenemos: Ancho del vehículo= 2.5 m

Número de carriles= 1 Reemplazando:

$$A = 2.5 (0.5 + 1.5 * 2) = 8.75 \text{ m}$$

4.5.8 Ángulo de talud final (β)

Este parámetro es el principal para el diseño de la explotación de las calizas ya que este determina la estabilidad del talud final de explotación y se determina de la siguiente manera

$\tan\beta = H/B$. SME Mining Engineering Handbook

$\tan\beta = H/B$

Siendo β el ángulo de talud de trabajo

H= altura de banco (5 m)

B= B1 + B2

B1= es el ancho de banco (8.75 m)

B2= es la longitud que genera al ángulo en la cara del banco

$\Theta = 90 - 80^\circ = 10^\circ$

$B2 = H * \tan\Theta$

$B2 = 5 * \tan 10^\circ = 0.8815 \text{ m}$ Reemplazando:

$B = 8.75 \text{ m} + 0.8815 \text{ m} = 9.6315 \text{ m}$

$\tan \beta = 5 \text{ m} / 9.6315 \text{ m} \quad \beta = 27^\circ$

Tabla 31 Resumen de los parámetros calculados

PARÁMETROS DE DISEÑO

Profundidad de explotación	35 m
Numero de bancos	7
Altura de banco	5 m
Ángulo de talud según Howard & Mutmansky (2002)	80°
Ángulo de talud final	27°
Ancho de la plataforma de trabajo	8.75 m

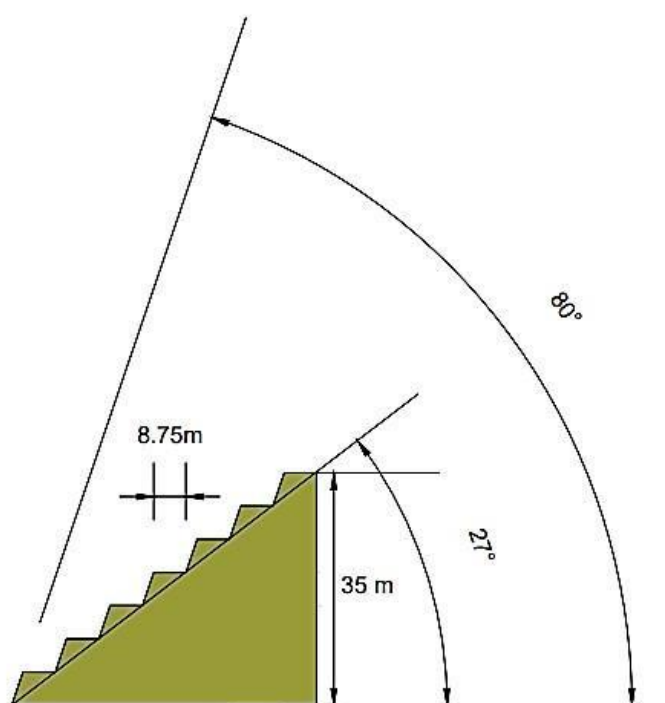


Figura 94. Parámetro de diseño de minas

4.5.9 Secuenciamiento de explotación de las calizas

La secuencia y el avance de la explotación de las calizas de la Formación Cajamarca en la zona de estudio se realizarán teniendo en cuenta los parámetros que se han calculado. Los bancos de trabajo serán extraídos en toda su altura (5 m) y su ancho en cada arranque, tratando de lograr el máximo aprovechamiento de la maquinaria. La mayor ventaja de la cantera Jorge Chávez es que se encuentra en forma superficial muy cerca de la carretera y con poco material contaminante por lo que el avance será de NO hacia el SE.

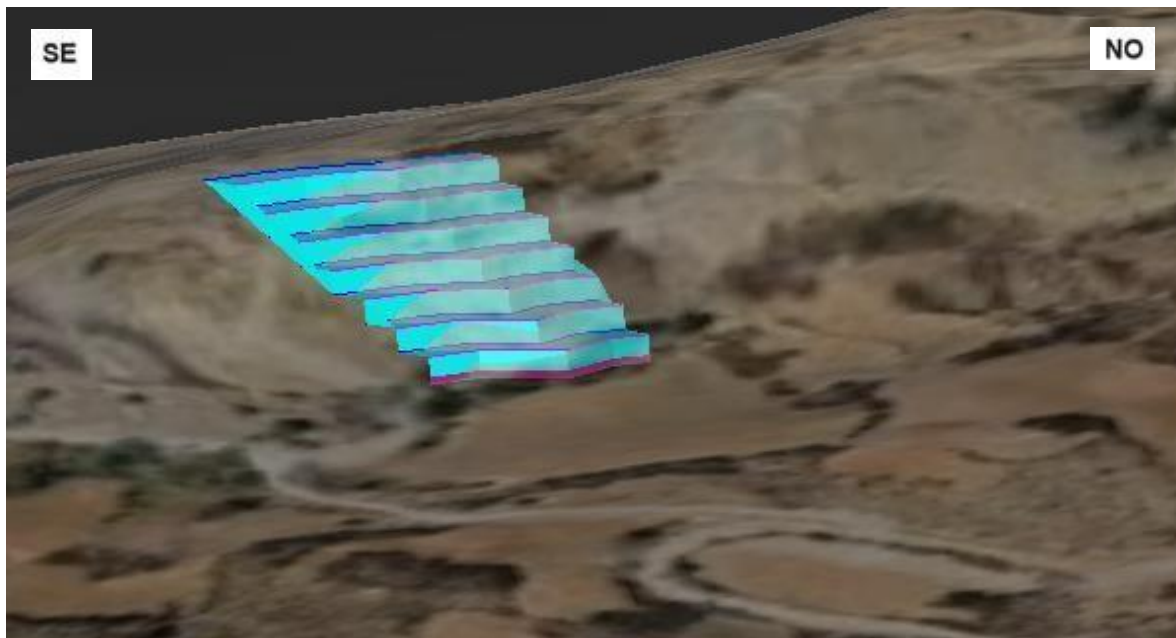


Figura 95 Secuencia de explotación de los bancos

4.6. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Las reservas calcáreas del Cretácico Superior pertenecientes a la formación Cajamarca, presentes en la zona de Celendín – Jorge Chávez, fueron calculadas utilizando el método de inverso de la distancia al cuadrado (IDW). Este método, ampliamente reconocido en la interpolación espacial de datos geológicos, demostró ser el más adecuado para estimar las leyes de CaO en la zona de estudio. Su eficacia se debe a que considera de manera precisa las características geométricas y geológicas del área, incluyendo la disposición de las formaciones calcáreas y las variaciones en el terreno. Esto permitió una estimación confiable de las reservas de CaO, minimizando errores y optimizando la representación espacial de las leyes. Como resultado, los datos obtenidos validan que el IDW es el método apropiado para el cálculo de reservas. Por lo tanto, se puede afirmar de manera concluyente que la hipótesis original ha sido corroborada con éxito, destacando el potencial del IDW como herramienta clave para el análisis y la planificación en proyectos de esta natural

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El cálculo de reservas de las calizas de la Formación Cajamarca en el distrito de Jorge Chávez, Celendín, ha permitido determinar un volumen total estimado de 34,811,414.51 toneladas métricas (TM). De este total, se proyecta que 18,128,197.3 TM pueden destinarse a la producción de óxido de calcio (CaO), destacando tanto por la calidad como por el volumen del recurso. Estos resultados confirman el importante potencial de la zona y garantizan la viabilidad para su explotación industrial.
- Las pruebas químicas y mineralógicas de las muestras de caliza confirmaron su alta pureza y un contenido significativo de carbonato de calcio (CaCO₃) entre el 90.11% y el 93.72%, lo que la hace adecuada para obtener óxido de calcio (CaO) el cual varía entre el 52.22% y el 60.91% y es considerado de buena calidad.
- La aplicación del método de inverso a la distancia al cuadrado para el cálculo de reservas permitió cuantificar el volumen disponible de caliza en el área, confirmando que existe una cantidad suficiente de material para una explotación sostenida a largo plazo, con un elevado rendimiento en la producción de CaO.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio geotécnico detallado de la zona para evaluar las condiciones de estabilidad del terreno, especialmente en áreas donde se proyecten labores de extracción. Este análisis no fue abordado en el estudio, pero es crucial para asegurar la seguridad y sostenibilidad de las operaciones mineras.
- Es aconsejable llevar a cabo una evaluación de impacto ambiental más exhaustiva que considere los efectos potenciales de la explotación de caliza sobre los ecosistemas locales y las comunidades cercanas. Aunque se calculó el volumen de reservas, no se analizó el impacto ambiental que la extracción podría generar en el área de estudio.
- Se recomienda realizar un análisis económico detallado para evaluar la rentabilidad de la explotación del yacimiento. Este estudio no contempló los costos asociados a la extracción, procesamiento y comercialización del óxido de calcio (CaO), aspectos clave para garantizar la viabilidad comercial del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Castro, B. 2015 Propuesta de Implementación de Plan de Minado en La Cantera de Dolomita “Jajahuasi 2001” de la Comunidad Campesina Llocllapampa – Provincia de Jauja. Tesis para

optar el título de ingeniero de minas. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Centro Nacional Minero. 2019 Programa Descentralizado Técnico Profesional en Minas a Cielo Abierto. Bogotá - Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje Regional. Contreras, J. 2017 Diseño del plan de explotación de calizas en el prospecto minero Rubi– Junín. Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas. Universidad Alas Peruanas

Correa, D., & Santillán, L. 2016 Factibilidad Económica de la Explotación de Roca Caliza para Producir Óxido de Calcio en la Concesión Minera No Metálica José Gálvez, Bambamarca, Cajamarca. Tesis profesional. Hualgayoc, Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/7578>.

Cuador, J. 2018 Estudios de Estimación y Simulación Geoestadística para la Caracterización de Parámetros Geólogo - Industriales en el Yacimiento Laterítico Punta Gorda. Tesis Doctoral. Pinar del Río, Cuba: Universidad de Pinar del Río. Obtenido de <http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper>.

Dávila, J. 2019 Diccionario Geológico. Tercera Edición. 300 p.

Grandez, S. 2016 Control de dilución en vetas angostas: caso mina San Rafael. Universidad Nacional de Ingeniería. Retrieved from <https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI>

Fuentes, Y., Gargate, J. Aplicación de los criterios fundamentales de la ingeniería de voladura para controlar la dilución en la explotación de vetas angostas en la Mina Sayapullo S.A. Tesis para optar el título de Ingeniero de Gestión Minera. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Facultad de Ingeniería.

Gonzales, E. 2021 Cálculo de Reservas para la Extracción de Calizas de la Formación Cajamarca, entre las Localidades de Colqueteña y Otuzco Tesis para optar el título de ingeniero de Minas. Chiclayo, Perú: Universidad Cesar Vallejo.

Gómez, J. 2015 Manual de Arranque Carga y transporte en Minería a cielo abierto. Instituto Tecnológico Geominero de España. Secretaria General de Energía y Recursos Minerales. Ministerio de Industria y Energía.

Herrera. H. 2017 Diseño de Explotaciones de. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.

Hartman, H. & J. Mutmanky 2002 Introductory Mining Engineering 2nd Edition.

- Huaripata, N. (2024). *Caracterización litoestratigráfica de la Formación Cajamarca en el distrito de Jorge Chávez - provincia de Celendín* (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca). Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6662>
- Llovera, J. 2020 Propuesta de plan de minado en la concesión minera no metálica monte alto caserío de Shiguas, distrito de Bambamarca, provincia de Hualgayoc, Cajamarca 2020. Tesis para optar el título de ingeniero de Minas. Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte.
- Mendoza, E. 2017 Determinación de la composición química y mineralógica, de 5 tipos de calizas y la relación con su grado de quemabilidad en la producción de óxido de calcio, en el bloque sur de la cantera de carbonatos, Planta San Miguel, Cementos Progreso. Tesis para optar el título de ingeniero Químico. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Mendoza, M. (2021). *Correlación litoestratigráfica de la formación Yumagual en las zonas de Matara, San Marcos y Otuzco*. Universidad Nacional de Cajamarca. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4239>
- Morales, P. 2014 Cocientes Metálicos y Calculo de Reservas Minerales de la Veta Cinthia - Proyecto Minero Caracol S.A.C.-Barranca - Lima. Tesis profesional. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP>.
- Muñoz, C. 2018 Evaluación de Reservas y Diseño del Sistema de Explotación del área Minera Mary Elena”. Universidad Central del Ecuador (UCE) Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental Carrera de Ingeniería en Minas.
- Orrilla, Y. 2019 Influencia del tipo de calizas de la calera Bendición de Dios E.I.R.L en la calidad del óxido de calcio, Cajamarca – 2019. Tesis para optar el título de ingeniero de Minas. Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte.
- Rebaza, B. 2015 Estimación de reservas probables de yacimientos no metálicos en arcillas del distrito de Llacanora Cajamarca, Perú – 2015. Tesis profesional. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1408>.
- Rojas, H. y Tasilla, F. 2023 Factibilidad económica para la producción de óxido de calcio en la calera Loma el Oro del distrito de Bambamarca – Cajamarca. Universidad Cesar

- Vallejo. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.
- Reinoso, C. 2015 Evaluación de Reservas y Diseño del sistema de Explotación del Área Minera Mary Elena Código: 102317. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar por el Título de Ingeniero de Minas. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5652/1/T-UCE-0012-28.pdf>.
- SENAMHI. (2020). *Pronóstico del tiempo para Celendín*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe>.
- Serrano, F. 2019 Estudio estratigráfico secuencial de la Formación Farrat en Shaullo y Puyllucana. Tesis profesional, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Tafur Mírez, L. Y. (2022). *Petrografía de la formación Chota en el tramo de la carretera PE-3N I+413Km a I+410Km del distrito de Chota*. Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4894>
- Valenzuela, G. y Buendía, C. 2020 Evaluación geológica para el cálculo de reservas y estimación de recursos minerales del prospecto minero Chaupiloma. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Continental, 111 pp.

ANEXOS

1. PLANO DE UBICACIÓN
2. IMAGEN SATELITAL

3. MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES
4. MAPA GEOLÓGICO
5. REPRESENTACIÓN DE LOS 12 TRIÁNGULOS
6. ANÁLISIS QUÍMICO
7. ÁLBUM FOTOGRÁFICO

ANEXO 1: PLANO DE UBICACIÓN

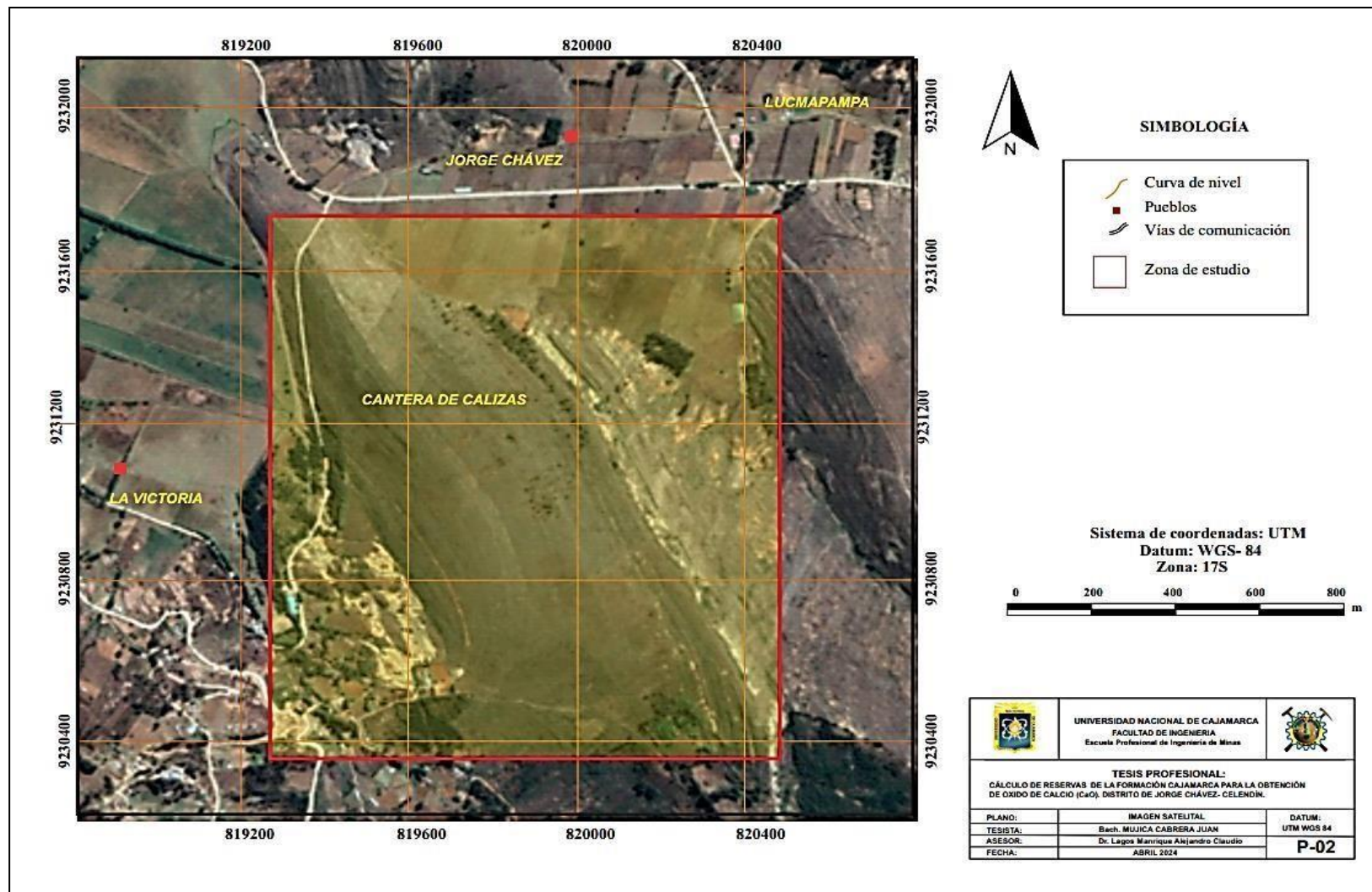


0 10 20 30 40 Km

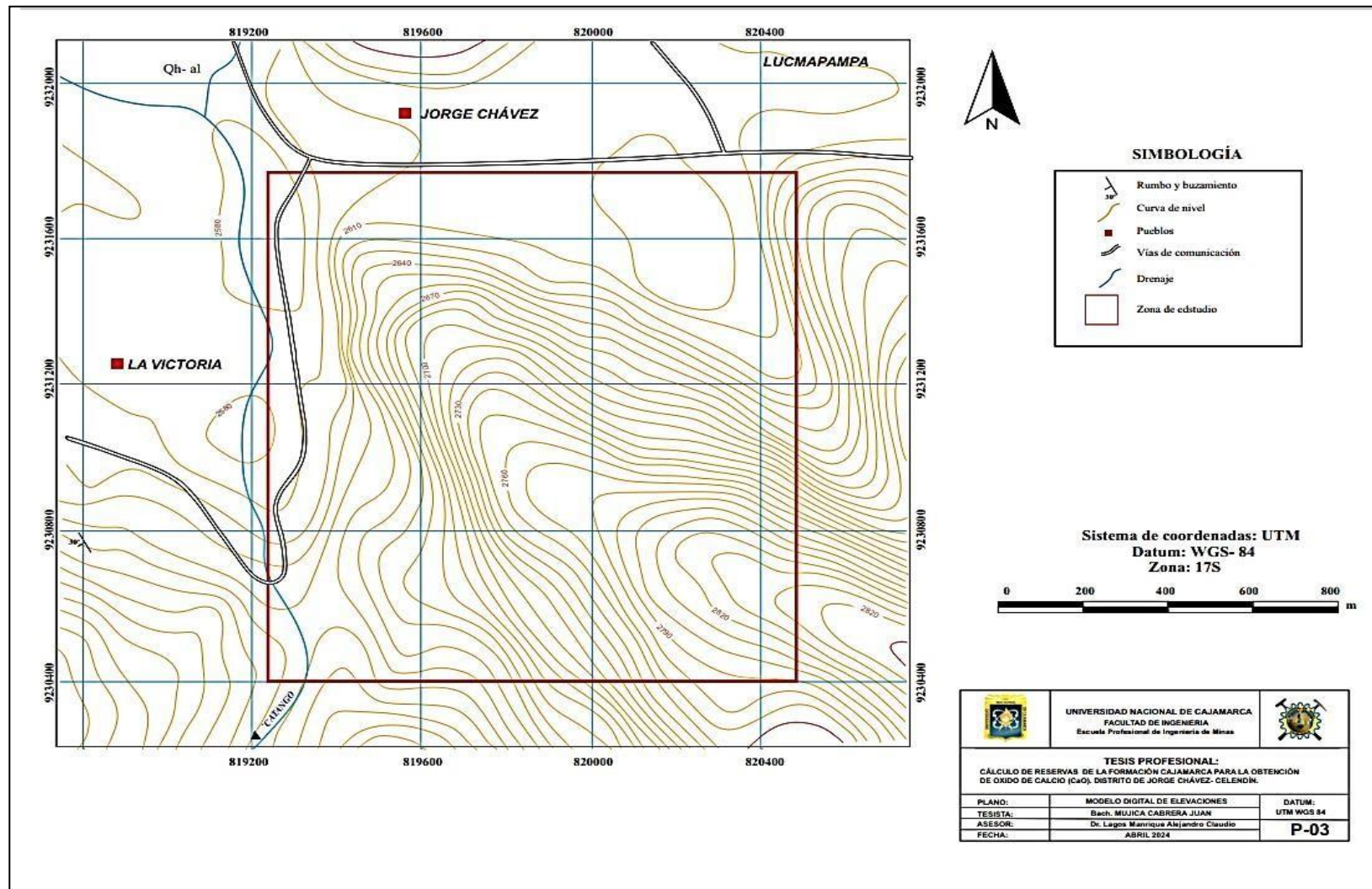
SIMBOLOGÍA



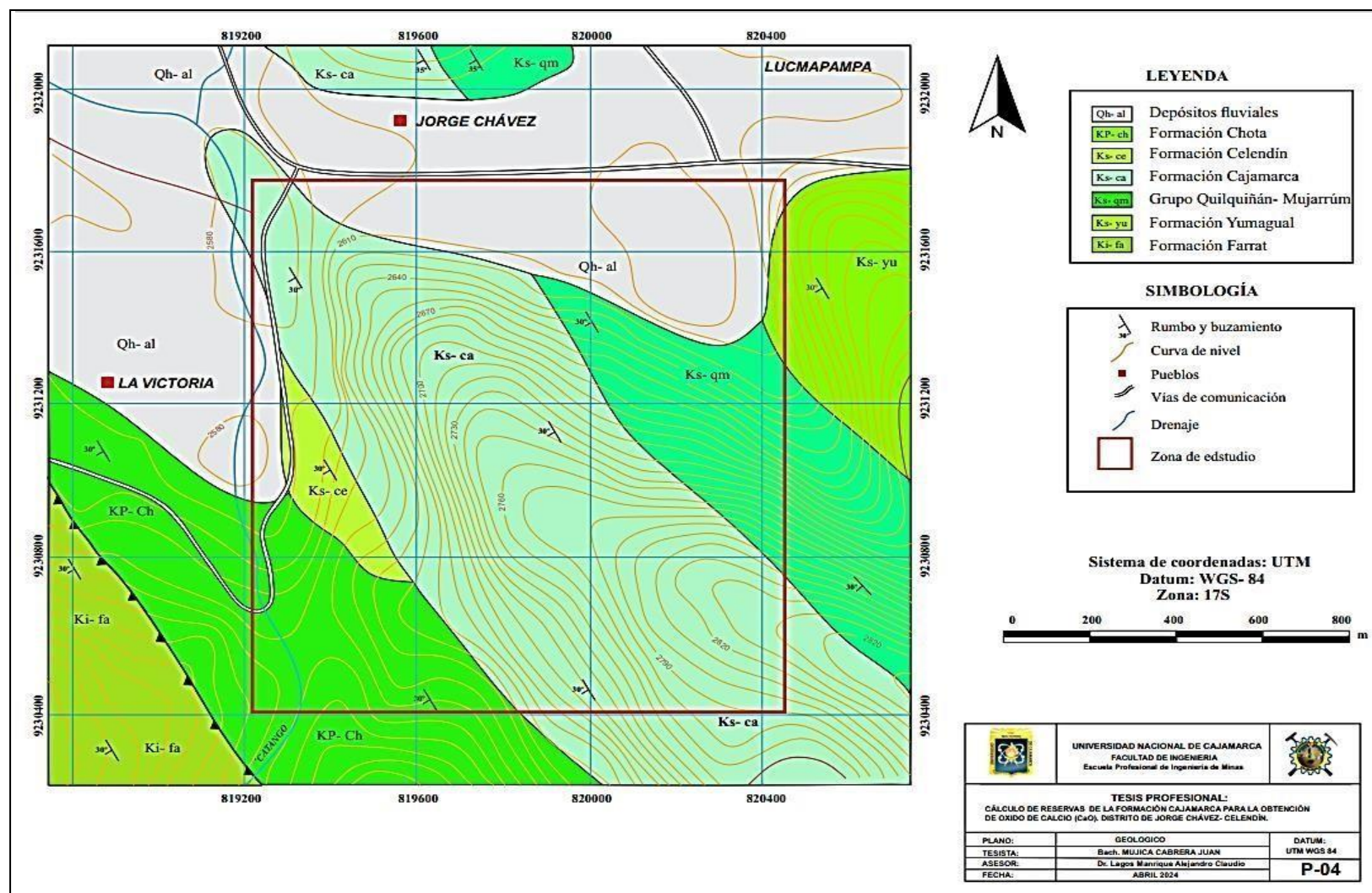
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Profesional de Ingeniería de Minas	
TESIS PROFESIONAL:		
CÁLCULO DE RESERVAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE OXÍDO DE CALCIO (CaO). DISTRITO DE JORGE CHÁVEZ- CELENDÍN.		
PLANO:	UBICACIÓN	DATUM:
TESISTA:	Bach. MUJICA CABRERA JUAN	UTM WGS 84
ASESOR:	Dr. Lagos Manrique Alejandro Claudio	P-01
FECHA:	ABRIL 2024	



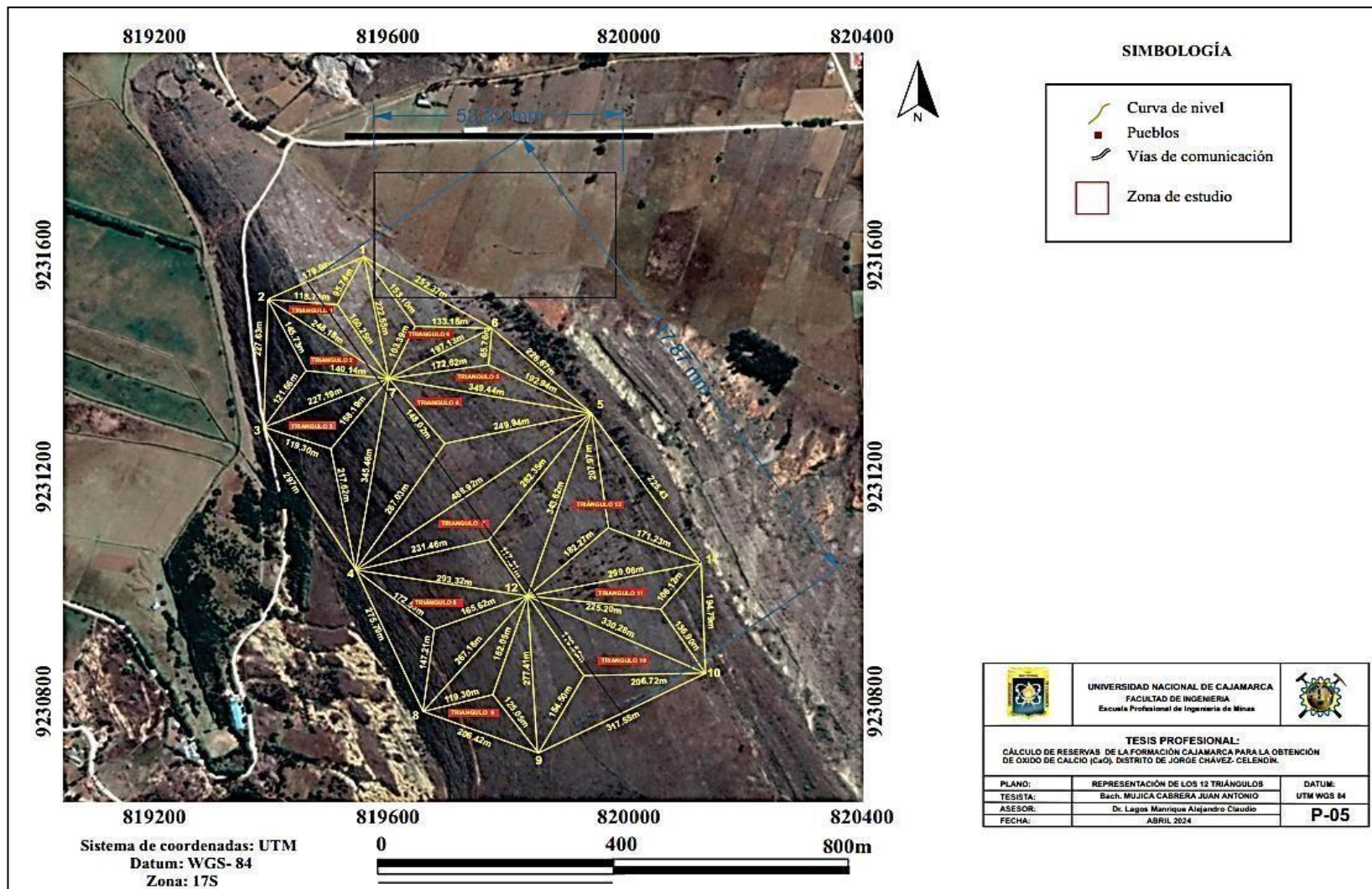
ANEXO 2: IMAGEN SATELITAL
ANEXO 3: MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES



ANEXO 4: MAPA GEOLÓGICO



ANEXO 5: REPRESENTACIÓN DE LOS 12 TRIÁNGULOS



ANÁLISIS QUÍMICO

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE ROCA CALIZA

SOLICITA : MUJICA CABRERA JUAN ANTONIO
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO).
DISTRITO DE JORGE CHAVEZ - CELENDÍN.
PROCEDENCIA : DISTRITO JORGE CHAVEZ
COORDENADAS : N9231610, E819580
MUESTRA : MUJ-01
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/05/2024

I. PORCENTAJE (%) DE CO₃ Ca

MUESTRA	% de CO ₃ Ca
MUJ- 01	93.21

II. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
%CaO	58.35
%Fe ₂ O ₃	0.38
%MgO	0.92
%SiO ₂	0.77
%Al ₂ O ₃	1.05
(CO ₂ +H ₂ O) %Perdidas	39.23

NOMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131- 2008

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.



Ing. Msc. Hugo Mosquera Estrayer
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

SOLICITA : MUJICA CABRERA JUAN ANTONIO
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO).
DISTRITO DE JORGE CHAVEZ - CELENDÍN.
PROCEDENCIA : DISTRITO JORGE CHAVEZ
COORDENADAS : N9231580, E819400
MUESTRA : MUJ-02
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/05/2024

III. PORCENTAJE (%) DE CO₃ Ca

MUESTRA	% de CO ₃ Ca
MUJ- 02	92.72

IV. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
%CaO	56.33
%Fe ₂ O ₃	0.34
%MgO	0.94
%SiO ₂	0.73
%Al ₂ O ₃	1.12
(CO ₂ +H ₂ O) %Perdidas	38.85

NOMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131- 2008

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.



Ing. Niza Hugo Mosquera Estróver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

SOLICITA : MUJICA CABRERA JUAN ANTONIO
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO).
DISTRITO DE JORGE CHAVEZ - CELENDÍN.
PROCEDENCIA : DISTRITO JORGE CHAVEZ
COORDENADAS : N9231300, E819390
MUESTRA : MUJ-03
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/05/2024

V. PORCENTAJE (%) DE CO₃ Ca

MUESTRA	% de CO ₃ Ca
MUJ- 03	90.22

VI. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
%CaO	55.70
%Fe ₂ O ₃	0.31
%MgO	0.89
%SiO ₂	0.69
%Al ₂ O ₃	1.02
(CO ₂ +H ₂ O) %Perdidas	38.77

NOMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131- 2008

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.



Ing. Msc. Hugo Mosquera Estróver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27564

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

SOLICITA : MUJICA CABRERA JUAN ANTONIO
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO).
DISTRITO DE JORGE CHAVEZ - CELENDÍN.
PROCEDENCIA : DISTRITO JORGE CHAVEZ
COORDENADAS : N 9231050, E819570
MUESTRA : MUJ-04
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/05/2024

I. PORCENTAJE (%) DE CO₃ Ca

MUESTRA	% de CO ₃ Ca
MUJ- 04	91.98

II. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
%CaO	55.78
%Fe ₂ O ₃	0.29
%MgO	0.78
%SiO ₂	0.72
%Al ₂ O ₃	0.98
(CO ₂ +H ₂ O) %Perdidas	38.01

NOMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131- 2008

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.



Ing. Hugo Mosquera Estróver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

SOLICITA TESIS : MUJICA CABRERA JUAN ANTONIO
: CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO).
DISTRITO DE JORGE CHAVEZ - CELENDÍN.
PROCEDENCIA : DISTRITO JORGE CHAVEZ
COORDENADAS : N9231300, E819390
MUESTRA : MUJ-05
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/05/2024

I. PORCENTAJE (%) DE CO₃ Ca

MUESTRA	% de CO ₃ Ca
MUJ- 05	90.27

II. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
%CaO	54.70
%Fe ₂ O ₃	0.31
%MgO	0.89
%SiO ₂	0.69
%Al ₂ O ₃	1.02
(CO ₂ +H ₂ O) %Perdidas	38.77

NOMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131- 2008

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.



Ing. Msc. Hugo Mosquera Estróver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

SOLICITA : MUJICA CABRERA JUAN ANTONIO
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO).
DISTRITO DE JORGE CHAVEZ - CELENDÍN.
PROCEDENCIA : DISTRITO JORGE CHAVEZ
COORDENADAS : N9231500, E819800
MUESTRA : MUJ-06
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/05/2024

I. PORCENTAJE (%) DE CO₃ Ca

MUESTRA	% de CO ₃ Ca
MUJ- 06	92.44

II. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
%CaO	52.22
%Fe ₂ O ₃	0.26
%MgO	0.79
%SiO ₂	0.73
%Al ₂ O ₃	1.08
(CO ₂ +H ₂ O) %Perdidas	39.88

NOMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131- 2008

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.



Ing. Msc. Hugo Alosqueiro Estrover
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

SOLICITA : MUJICA CABRERA JUAN ANTONIO
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO).
DISTRITO DE JORGE CHAVEZ - CELENDÍN.
PROCEDENCIA : DISTRITO JORGE CHAVEZ
COORDENADAS : N9231400, E819600
MUESTRA : MUJ-07
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/05/2024

I. PORCENTAJE (%) DE CO₃ Ca

MUESTRA	% de CO ₃ Ca
MUJ- 07	93.72

II. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
%CaO	54.22
%Fe ₂ O ₃	0.29
%MgO	0.77
%SiO ₂	0.73
%Al ₂ O ₃	1.09
(CO ₂ +H ₂ O) %Perdidas	39.01

NOMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131- 2008

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.



Ing. Hugo Mosquera Estrada
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27564

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

SOLICITA : MUJICA CABRERA JUAN ANTONIO
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO).
DISTRITO DE JORGE CHAVEZ - CELENDÍN.
PROCEDENCIA : DISTRITO JORGE CHAVEZ
COORDENADAS : N9230790, E819650
MUESTRA : MUJ-08
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/05/2024

III. PORCENTAJE (%) DE CO₃ Ca

MUESTRA	% de CO ₃ Ca
MUJ- 08	90.77

IV. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
%CaO	52.97
%Fe ₂ O ₃	0.31
%MgO	0.74
%SiO ₂	0.82
%Al ₂ O ₃	1.13
(CO ₂ +H ₂ O) %Perdidas	39.15

NOMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131- 2008

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.



Ing. N. Mosquera Estróver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

SOLICITA : MUJICA CABRERA JUAN ANTONIO
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO).
DISTRITO DE JORGE CHAVEZ - CELENDÍN.
PROCEDENCIA : DISTRITO JORGE CHAVEZ
COORDENADAS : N9230790, E819650
MUESTRA : MUJ-09
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/05/2024

V. PORCENTAJE (%) DE CO₃ Ca

MUESTRA	% de CO ₃ Ca
MUJ- 09	93.21

VI. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
%CaO	58.91
%Fe ₂ O ₃	0.33
%MgO	0.71
%SiO ₂	0.82
%Al ₂ O ₃	1.13
(CO ₂ +H ₂ O) %Perdidas	39.02

NOMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131- 2008

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.



Ing. Msc. Hugo Mosquera Estróver
JEFE DE LABORATORIO
C.I.P. 27664

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR 976026950 TELEFONO: 354793

SOLICITA : MUJICA CABRERA JUAN ANTONIO
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO).
DISTRITO DE JORGE CHAVEZ - CELENDÍN.
PROCEDENCIA : DISTRITO JORGE CHAVEZ
COORDENADAS : N9230820, E820150
MUESTRA : MUJ-10
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/05/2024

VII. PORCENTAJE (%) DE CO₃ Ca

MUESTRA	% de CO ₃ Ca
MUJ- 10	93.28

VIII. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
%CaO	59.98
%Fe ₂ O ₃	0.31
%MgO	0.79
%SiO ₂	0.89
%Al ₂ O ₃	1.11
(CO ₂ +H ₂ O) %Perdidas	38.99

NOMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131- 2008

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.



Ing. MSc. Hugo Mosquera Estróver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR 976026950 TELEFONO: 354793

SOLICITA : MUJICA CABRERA JUAN ANTONIO
TESIS : CALCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA
PARA LA OBTENCIÓN DE OXIDO DE CALCIO (CaO) .
DISTRITO DE JORGE CHÁVEZ – CELENDÍN.
PROCEDENCIA : DISTRITO DE JORGE CHÁVEZ
COORDENADAS: N9230860, E820140
MUESTRA : MUJ-11
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/05/24

VII. PORCENTAJE DE CaCO₃

MUESTRA	% de CaCO ₃
MUJ-11	92.33

VII. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
%CaO	60.91
%Fe ₂ O ₃	0.29
%MgO	0.79
%SiO ₂	0.93
%Al ₂ O ₃	1.08
(CO ₂ +H ₂ O) %Perdidas	39.22

NORMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131.2008

NOTA: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis



Juan Antonio Mujica Cabrera
Ing. Civil
Código Profesional: 27564

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR 976026950 TELEFONO: 354793

SOLICITA : MUJICA CABRERA JUAN ANTONIO
TESIS : CALCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA
PARA LA OBTENCIÓN DE OXIDO DE CALCIO (CaO) .
DISTRITO DE JORGE CHÁVEZ – CELENDÍN.
PROCEDENCIA : DISTRITO DE JORGE CHÁVEZ
COORDENADAS: N9230870, E820220
MUESTRA : MUJ-12
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/05/24

VII. PORCENTAJE DE CaCO₃

MUESTRA	% de CaCO ₃
MUJ-12	90.11

VII. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
%CaO	59.12
%Fe ₂ O ₃	0.35
%MgO	0.69
%SiO ₂	0.88
%Al ₂ O ₃	1.05
(CO ₂ +H ₂ O) %Perdidas	39.89

NORMAS UTILIZADAS:

ASTM C25-96

NTP 334.131.2008

NOTA: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis



Ing. Hugo Alejandro López
C.R. 047.0000000000000000
C.R. 047.0000000000000000

ÁLBUM FOTOGRÁFICO



FOTO 1: Midiendo el rumbo y buzamiento de los estratos de calizas



FOTO 2: Calizas con abundante estructuras de disolución



FOTO 3: Fotografía tomada sobre el material cuaternario



FOTO 4: Distrito de Jorge Chávez



FOTO 5: Retroexcavadora liberando cobertura cuaternaria demostrando el espesor de 5.25m



FOTO 6: Afloramientos de caliza en la zona de estudio