

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN
MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA
OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL-
CAJAMARCA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

AUTOR:

Bach. Báez Meléndez Edwin Manuel.

ASESOR:

M.Cs.Ing. Arapa Vilca Víctor Ausberto.

CAJAMARCA – PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

FACULTAD DE INGENIERÍA

- Investigador:** Edwin Manuel Báez Meléndez
DNI: 76261773
Escuela Profesional: Ingeniería de Minas
- Asesor:** Víctor Ausberto Arapa Vilca
Facultad: Ingeniería
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**
"CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL - CAJAMARCA"
- Fecha de evaluación:** 14/11/2024
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 21 %
- Código Documento:** oid: 3117:405615471
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 18/11/2024

 <hr/> <p>FIRMA DEL ASESOR Nombres y Apellidos: Víctor Ausberto Arapa Vilca DNI: 29552145</p>	 <p>Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 18/11/2024 21:35:04-0500</p> <hr/> <p>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p>
--	--

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiar mis pasos y brindarme fortaleza.

Un agradecimiento a mis padres y hermanos que con su apoyo constante fue posible culminar de este trabajo de investigación. A la Universidad Nacional de Cajamarca y a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas y a todos mis docentes.

Un agradecimiento especial a mi asesor, el M.Cs.Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca, por sus sugerencias y correcciones oportunas para el mejoramiento de esta tesis.

DEDICATORIA

A mis señores padres Edwin y Teresa por su apoyo incondicional durante cada etapa de mi vida.

A Segundo y Ricardo, por inspirarme a superar día a día los obstáculos presentes en nuestro camino.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	x
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1.	ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	3
2.1.1.	Antecedentes Internacionales.....	3
2.1.2.	Antecedentes Nacionales	4
2.1.3.	Antecedentes Locales.....	4
2.2.	BASES TEÓRICAS.....	5
2.2.1.	Cálculo de Reservas	5
2.2.2.	Parámetros para determinar el método de explotación.....	6
2.2.2.1.	Banco	6
2.2.2.2.	Altura de Banco	6
2.2.2.3.	Talud de Banco.....	6
2.2.2.4.	Talud de trabajo.....	7
2.2.2.5.	Pistas.....	7
2.2.3.	Bermas	8
2.2.4.	Cantera	8
2.2.5.	Métodos de la Estimación de Recursos	8
2.2.5.1.	Métodos Clásicos	9
2.2.6.	Método de explotación.....	14
2.2.6.1.	Elección del Método de Explotación	15
2.2.7.	Reserva Minera.....	17
2.2.7.1.	Reserva Minera Probable.....	18

	Pág.
2.2.7.2. Reserva Minera Probada.....	18
2.2.8. Minería no tradicional	18
2.2.9. Formación geológica de las Calizas	19
2.2.9.1. Origen químico	19
2.2.9.2. Origen orgánico.....	19
2.2.10. Rocas Sedimentarias Carbonatadas	19
2.2.11. Calizas	20
2.2.11.1. Principales usos de la caliza	21
2.2.11.2. Descomposición térmica de las rocas carbonatadas	21
2.2.12. Características de las calizas	22
2.2.13. Óxidos Totales.....	22
2.2.14. Óxidos Disponibles	23
2.2.15. Pérdidas por Calcinación	23
2.2.16. Óxido de Calcio	23
2.2.16.1. Reactividad	24
2.2.17. Proceso de explotación de las calizas	24
2.2.17.1. Extracción	25
2.2.17.2. Trituración.....	25
2.2.17.3. Calcinación	26
2.2.17.4. Enfriamiento.....	26
2.2.17.5. Inspección.....	26
2.2.17.6. Cribado.....	26
2.2.17.7. Trituración y pulverización.....	26
2.2.17.8. Hidratación.....	26
2.2.17.9. Envase y embarque.....	26
2.2.18. Reacción de calcinación	27
2.2.18.1. Condiciones necesarias para la calcinación	27
2.2.19. Factor Caliza/Cal.....	27
2.2.20. Dilución mineral.....	28
2.2.20.1. Dilución planificada.....	28
2.2.20.2. Dilución operacional	29
2.2.21. Metodología del control geológico de la dilución mineral.....	29
2.2.21.1. Determinación de la dilución Planificada	29
2.2.21.2. Determinación de la dilución Operacional	29
2.2.21.3. Evaluación de la dilución de un mineral no metálico.....	30
2.2.21.4. Impacto económico de la Dilución Mineral v/s Costo de producción.....	31

	Pág.
2.2.22. Control de calidad del Óxido de Calcio	31
2.2.23. Control de calidad QA/QC de la información geológica	32
2.2.23.1. QA (Quality Assurance)	32
2.2.23.2. QC (Quality Control).....	32
2.2.24. Unidades geomorfológicas	32
2.2.24.1. Planicies	33
2.2.24.2. Lomadas.....	33
2.2.24.3. Laderas.....	33
2.2.24.4. Escarpas	33
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICO	33

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN	35
3.1.1. Política.....	35
3.1.2. Geográfica.....	35
3.2. ACCESIBILIDAD	36
3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación	37
3.3.1.1. Tipo de investigación.....	37
3.3.1.2. Nivel de investigación.....	37
3.3.1.3. Diseño de investigación	37
3.3.1.4. Método de investigación.....	37
3.3.2. Población de estudio	37
3.3.3. Muestras.....	37
3.3.4. Unidad de análisis	37
3.3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	38
3.3.5.1. Técnicas	38
3.3.5.2. Instrumentos y equipos	38
3.3.6. Análisis e interpretación de datos	40
3.4. CLIMA	40
3.5. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	41
3.5.1. Planicies.....	41
3.5.2. Lomadas.....	41
3.5.3. Laderas.....	41
3.6. GEOLOGÍA LOCAL.....	42

	Pág.
3.6.1. Cretácico Superior	44
3.6.1.1. Formación Yumagual (Ks-yu).....	44
3.6.1.2. Grupo Quilquiñán y Mujarrúm (Ks-qm)	44
3.6.1.3. Formación Cajamarca (Ks-ca).....	44
3.6.1.4. Formación Celendín (Ks-ce).....	45
3.6.2. Cuaternario	46
3.6.2.1. Depósitos fluviales.....	46

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA	47
4.1.1. Cálculo del área de los yacimientos FISS y FDSS.....	49
4.1.1.1. Metodología utilizada	49
4.1.1.2. Aplicación del castigo del 10% por cobertura cuaternaria	49
4.1.1.3. Aplicación del 80% de confiabilidad.....	49
4.1.1.4. Cálculo de las áreas totales de los perfiles	50
4.1.1.5. Cálculo de volúmenes de los sectores FISS y FDSS	50
4.1.1.6. Cálculo del Tonelaje de los sectores FISS y FDSS	50
4.1.1.7. Cálculo de la cantidad del desmonte.....	50
4.1.1.8. Elección del Método de cálculo de reservas	51
4.2. CÁLCULO DE LAS ÁREAS DEL YACIMIENTO FISS Y FDSS.....	51
4.2.1. Cálculo de áreas parciales del yacimiento FISS.....	51
4.2.1.1. Cálculo de las áreas parciales del perfil A- A' de FISS`	51
4.2.1.2. Cálculo de áreas parciales del perfil B- B' de FISS	52
4.2.1.3. Cálculo de áreas parciales del perfil C-C' de FISS	53
4.2.1.4. Cálculo de áreas parciales del perfil D- D' de FISS	53
4.2.1.5. Cálculo de áreas parciales del perfil E- E' de FISS.....	54
4.2.2. Cálculo de áreas parciales del yacimiento FDSS	55
4.2.2.1. Cálculo de áreas parciales del perfil A- A' de FDSS.....	55
4.2.2.2. Cálculo de áreas parciales del perfil B-B' de FDSS.....	56
4.2.2.3. Cálculo de áreas parciales del perfil C- C' de FDSS.....	56
4.2.2.4. Cálculo de áreas parciales del perfil D- D' de FDSS.....	57
4.2.2.5. Cálculo de áreas parciales del perfil E- E' de FDSS	58
4.2.3. Cálculo de reservas de los yacimientos FDSS y FISS	58
4.2.3.1. Cálculo de volumen del yacimiento FDSS	58

	Pág.	
4.2.3.2.	Cálculo de reservas (TM) del yacimiento FDSS.....	59
4.2.3.3.	Cálculo de volumen del yacimiento FISS.....	60
4.2.3.4.	Cálculo de reservas (TM) del yacimiento FISS	61
4.2.3.5.	Cálculo de reservas diluidas (TM).....	61
4.2.3.6.	Cálculo de los desmontes (TM) de los yacimientos FISS y FDSS .	62
4.3.	CÁLCULO DE LA VIDA ÚTIL DE LOS YACIMIENTOS FDSS Y FISS	62
4.3.1.	Vida útil del yacimiento FDSS	62
4.3.2.	Vida útil del yacimiento FISS.....	63
4.4.	DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	63
4.4.1.	Resistencia a la compresión uniaxial (RCU).....	63
4.4.1.1.	Número de Rebotes (NR)	63
4.4.1.2.	Determinación de RCU de macizo rocoso del FDSS.....	64
4.4.1.3.	Determinación de RCU de macizo rocoso del FISS	64
4.4.2.	Determinación del RQD	66
4.4.2.1.	RQD de la EG- 01 del yacimiento FDSS.....	66
4.4.2.2.	RQD de la EG- 02 del yacimiento FISS	67
4.4.3.	Determinación del RMR	67
4.4.3.1.	Determinación del RMR de la EG- 01 FDSS	67
4.4.3.2.	Determinación del RMR de la EG- 02 FISS.....	69
4.4.3.3.	Determinación de la calidad del macizo rocoso de la EG-01 y EG- 02	70
4.5.	DISEÑO DE LOS YACIMIENTOS FDSS Y FISS	70
4.5.1.	Factores Geoambientales.....	71
4.6.	MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	71
4.6.1.	Diseño del yacimiento de calizas FDSS	72
4.6.2.	Diseño del yacimiento de calizas FISS.....	72
4.6.2.1.	Altura de explotación del yacimiento	73
4.6.2.2.	Altura de banco (HB).....	73
4.6.2.3.	Ángulo de banco	73
4.6.2.4.	Número de bancos	74
4.6.2.5.	Ancho de la plataforma de trabajo.....	74
4.6.2.6.	Ángulo de talud final (β)	75
4.7.	ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LAS ROCAS CALIZAS	79
4.8.	ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE CALIZAS	82
4.9.	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	83

**CAPÍTULO V.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Pág.

5.1.	CONCLUSIONES.....	84
5.2.	RECOMENDACIONES	85
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
	ANEXOS	89

LISTA DE 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
UM	:	Unidades Morfogenéticas
TM	:	Toneladas Métricas
FISS	:	Flanco Izquierdo del Sinclinal Sangal
FDSS	:	Flanco Derecho del Sinclinal Sangal
RQD	:	Índice de Calidad de la Roca.
RMR	:	Valoración de la Masa Rocosa.

LISTA DE TABLAS		Pág.
Tabla 1.	Clasificación de los Métodos de Explotación a Cielo Abierto	16
Tabla 2.	Composición química de la calcita y dolomita.....	20
Tabla 3.	Propiedades de las Calizas.....	22
Tabla 4.	Descripción de Unidades Geomorfológicas	32
Tabla 5.	Coordenadas del Área de estudio.....	35
Tabla 6.	Acceso a la Zona de Estudio	36
Tabla 7.	Coordenadas de los perfiles del yacimiento FISS.....	48
Tabla 8.	Coordenadas de los perfiles del yacimiento FDSS	49
Tabla 9.	Valores de confianza propuestos por Diehl & David 1982.	49
Tabla 10.	Cálculo de área total del perfil A- A' del yacimiento FISS	52
Tabla 11.	Cálculo de área total del perfil B- B' del yacimiento FISS	52
Tabla 12.	Cálculo de área total del perfil C- C' del yacimiento FISS.....	53
Tabla 13.	Cálculo de área total del perfil D- D' del yacimiento FISS.....	54
Tabla 14.	Cálculo de área total del perfil E- E' del yacimiento FISS	54
Tabla 15.	Cálculo de área total del perfil A- A' del yacimiento FDSS.....	55
Tabla 16.	Cálculo de área total del perfil B- B' del yacimiento FDSS.....	56
Tabla 17.	Cálculo de área total del perfil C- C' del yacimiento FSSS	57
Tabla 18.	Cálculo de área total del perfil D- D' del yacimiento FDSS	57
Tabla 19.	Cálculo de área total del perfil E- E' del yacimiento FDSS.....	58
Tabla 20.	Cálculo del volumen entre las secciones A - A' y B - B' del yacimiento FDSS.....	58
Tabla 21.	Cálculo del volumen entre las secciones B - B' y C - C' del yacimiento FDSS.....	59
Tabla 22.	Cálculo del volumen entre las secciones C -C' y D - D' del yacimiento FDSS.....	59
Tabla 23.	Cálculo del volumen entre las secciones D -D' y E - E' del yacimiento FDSS.....	59
Tabla 24.	Volumen total del yacimiento FDSS.....	59
Tabla 25.	Cálculo de reservas (TM) del yacimiento FDSS	60
Tabla 26.	Cálculo del volumen entre las secciones A - A' y B - B' del yacimiento FISS	60

	Pág.
Tabla 27. Cálculo del volumen entre las secciones B - B' y C - C' del yacimiento FISS	60
Tabla 28. Cálculo del volumen entre las secciones C -C' y D - D' del yacimiento FISS	60
Tabla 29. Cálculo del volumen entre las secciones D -D' y E - E' del yacimiento FISS	60
Tabla 30. Volumen total del yacimiento FISS	61
Tabla 31. Cálculo de Reservas (TM) del yacimiento FISS.....	61
Tabla 32. Reservas totales con castigo de 10% por cobertura vegetal	61
Tabla 33. Aplicación del 80% de confianza.....	61
Tabla 34. Cálculo de los desmontes de los yacimientos FDSS y FDSS	62
Tabla 35. Cálculo del promedio del valor de la RCU del macizo rocoso del yacimiento FDSS.....	65
Tabla 36. Cálculo del promedio del valor de la RCU del macizo rocoso del yacimiento FISS.	65
Tabla 37. Cálculo del RQD de la EG- 01 del yacimiento FDSS.....	66
Tabla 38. Calidad del macizo rocoso de la EG- 01 del yacimiento FDSS.....	66
Tabla 39. Cálculo del RQD de la EG - 02 del yacimiento FISS.....	67
Tabla 40. Calidad del macizo rocoso de la EG - 02 del yacimiento FISS	67
Tabla 41. Cálculo del RMR del macizo rocoso del yacimiento FDSS	68
Tabla 42. Valor del RMR del macizo rocoso del yacimiento FDSS.....	68
Tabla 43. Cálculo del RMR del macizo rocoso del yacimiento FISS.....	69
Tabla 44. Valor del RMR del macizo rocoso del yacimiento FISS	70
Tabla 45. Calidad del macizo rocoso	70
Tabla 46. Parámetros del Yacimiento FISS	70
Tabla 47. Parámetros del yacimiento FDSS	71
Tabla 48. Factores geométricos del yacimiento FISS.....	71
Tabla 49. Factores geométricos del yacimiento FDSS	71
Tabla 50. Resumen de los parámetros de los yacimientos FISS y FDSS	79
Tabla 51. Estudio petrográfico de la muestra BAME-01 correspondiente al FDSS	79
Tabla 52. Estudio petrográfico de la muestra BAME-02 correspondiente al FDSS	80

	Pág.
Tabla 53. Estudio petrográfico de la muestra BAME-03 correspondiente al FDSS	80
Tabla 54. Estudio petrográfico de la muestra BAME- 05 correspondiente al FISS	81
Tabla 55. Estudio petrográfico de la muestra BAME- 06 correspondiente al FISS	81
Tabla 56. Estudio petrográfico de la muestra BAME- 07 correspondiente al FISS	82
Tabla 57. Ubicación de las Muestras del yacimiento FDSS.....	82
Tabla 58. Ubicación de las Muestras del yacimiento FISS	82
Tabla 59. Resultado de los análisis químicos del yacimiento FDSS.....	83
Tabla 60. Resultado de los análisis químicos del yacimiento FISS	83

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.	Altura de banco distancia vertical entre el pie y la cresta del banco.....	6
Figura 2.	Componentes principales para la actividad minera a cielo abierto	7
Figura 3.	Parámetros geométricos en explotación de cantera.....	7
Figura 4.	Las bermas y los frentes de avances	8
Figura 5.	Etapa de la estimación de recursos - Método de Secciones.	10
Figura 6.	Esquema de secciones de un yacimiento y elementos de cálculo de reservas con el Método de Secciones.....	11
Figura 7.	Método Clásico por Triangulación	12
Figura 8.	Cálculo de reservas por el Método de los Polígonos.....	13
Figura 9.	Método por Contornos.....	14
Figura 10.	Planta y sección de una cantera.....	17
Figura 11.	Relación General entre los resultados de Exploración, Recursos Minerales y Reservas minerales.	18
Figura 12.	Proceso de baja reactividad de la cal	24
Figura 13.	Proceso de la obtención de Óxido de Calcio	25
Figura 14.	Ecuación de la reacción de calcinación.....	27
Figura 15.	Representación de un bloque de caliza.....	30
Figura 16.	Ubicación del Área de Estudio	35
Figura 17.	Ubicación Geográfica del C.P. Sangal	36
Figura 18.	Vía de acceso al Área de Estudio.....	37
Figura 19.	Instrumentos y Equipos utilizados en la presente investigación	39
Figura 20.	Temperatura Promedio por meses - Estación Encañada.....	40
Figura 21.	Precipitación Promedio por meses - Estación Encañada	40
Figura 22.	Planicie que se observa en el sector SO del Área de Estudio.....	41
Figura 23.	Lomadas que se observan en el sector SO del área de estudio	41
Figura 24.	Ladera que se observan al SO del área de estudio.....	42
Figura 25.	Columna estratigráfica de la zona de estudio.....	43
Figura 26.	Afloramientos de calizas de la Formación Cajamarca	45
Figura 27.	Afloramientos de calizas de la Formación Cajamarca que se observan al NO de la localidad de Sangal.	45
Figura 28.	Depósitos fluviales compuesto por fragmentos de rocas de diversas litologías	46

Figura 29.	Mapa de ubicación del área de estudio	48
Figura 30.	Determinación de las áreas del corte A-A' del yacimiento FISS.....	51
Figura 31.	Determinación de las áreas del corte B-B' del yacimiento FISS.....	52
Figura 32.	Determinación de las áreas del corte C-C' del yacimiento FISS	53
Figura 33.	Determinación de las áreas del corte D-D' del yacimiento FISS	53
Figura 34.	Determinación de las áreas del corte E-E' del yacimiento FISS.....	54
Figura 35.	Determinación de las áreas del corte A-A' del yacimiento FDSS	55
Figura 36.	Determinación de las áreas del corte B-B' del yacimiento FDSS	56
Figura 37.	Determinación de las áreas del corte C-C' del yacimiento FDSS.....	56
Figura 38.	Determinación de las áreas del corte D-D' del yacimiento FDSS.....	57
Figura 39.	Determinación de las áreas del corte E-E' del yacimiento FDSS	58
Figura 40.	Martillo de Schmidt CONTROLS, tipo L, Modelo 45- 561.....	63
Figura 41.	Gráfico de Miller para la determinación del RCU.....	64
Figura 42.	Macizo rocoso del yacimiento FDSS. Estación EG – 01.	66
Figura 43.	Macizo rocoso del yacimiento FISS. Estación EG – 02.....	67
Figura 44.	Diseño de explotación del yacimiento FDSS con vista al SO.	72
Figura 45.	Diseño de explotación del yacimiento FISS con vista al NE.....	73
Figura 46.	La altura de banco es la distancia vertical entre el pie y la cresta.....	74
Figura 47.	El ángulo θ es el complemento del ángulo de talud.	75
Figura 48.	Parámetros geométricos calculados del yacimiento FDSS	77
Figura 49.	Parámetros geométricos calculados del yacimiento FISS.....	78

RESUMEN

El trabajo de investigación consistió en la realización del cálculo de reservas y la elección del método de explotación más idóneo para calizas de la Formación Cajamarca y que afloran la localidad de Sangal. En esta localidad se encuentran aflorando gruesas secuencias de calizas gris oscuras a gris claras y que poseen un alto contenido de CaCO_3 . Se encuentran conformando ambos flancos del Sinclinal Sangal. El flanco izquierdo posee un buzamiento de 35° en promedio con dirección al NE mientras que el flanco derecho posee una inclinación de 45° con dirección al SO. Se han ubicado dos canteras en ambos flancos del mencionado sinclinal que en adelante lo denominaremos yacimientos del Flanco Izquierdo del Sinclinal Sangal (FISS) y del Flanco derecho del Sinclinal Sangal (FDSS). El cálculo de reservas mediante el método de las secciones dando como resultado para el FISS reservas de 43,944,424.15 TM de roca caliza con un 95.89% de CaCO_3 (Carbonato de Calcio), mientras que para el yacimiento FDSS una reserva de 17,468,695.38 TM de roca caliza con 94.25% de CaCO_3 (Carbonato de Calcio). Se ha calculado la vida útil de los dos yacimientos dando como resultado que a una producción diaria de 1500 TM en el futuro se tendrá una vida útil para FISS de 97.65 años y para el FDSS de 38.82 años. El método de explotación elegido fue el de cielo abierto, mediante bancos superficiales debido a que con este método se puede realizar el traslado del desmonte constituido por la mezcla de las rocas calizas con material arcilloso. Los lugares que muestran mayores condiciones para efectuar la explotación están ubicados a 1.5 km (cerca de la localidad de los Tres Tingos) y a 500 m de la localidad de Sangal.

Palabras claves: Bancos, cielo abierto, sinclinal, cálculo de reservas

ABSTRACT

The research work consisted of the calculation of reserves and the choice of the most suitable exploitation method for limestones of the Cajamarca Formation and that outcrop in the locality of Sangal. Thick sequences of dark grey to grey limestones are found outcropping in this locality and have a high CaCO_3 content. They are found on both flanks of the Sangal Syncline. The left flank has an average dip of 35° in a NE direction, while the right flank has an inclination of 45° in a SW direction. Two quarries have been located on both flanks of the aforementioned syncline, which we will henceforth call the deposits of the Left Flank of the Sangal Syncline (FISS) and the Right Flank of the Sangal Syncline (FDSS). The calculation of reserves was carried out using the section method, resulting in reserves of 43944424.15 TM of limestone rock with 95.89% CaCO_3 (Calcium Carbonate) for the FISS, while 17468695.38 TM of limestone with 94.25% CaCO_3 (Calcium Carbonate) were found in the FDSS deposit. The useful life of the two reservoirs has been calculated, resulting in a daily production of 1500 TM in the future with a useful life for FISS of 97.65 years and for the FDSS of 38.82 years. The method of exploitation chosen was the open pit method using shallow banks because with this method it is possible to carry out the transfer of the waste constituted by the mixture of limestone rocks with clayey material. The places that show the best conditions for exploitation are located 1.5 km (near the town of Tres Tingos) and 500 m from the town of Sangal.

Keywords: Banks, open sky, syncline reserve, calculation

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

En el mundo moderno, los productos derivados de las calizas son muy requeridos en la industria del cemento, la minería y la agricultura. Por ello en el Centro Poblado Sangal se encuentran abundantes afloramientos de calizas pertenecientes a la Formación Cajamarca, estas calizas muestran, regionalmente, casi las mismas características de coloración, textura y alto contenido de CaCO_3 , siendo consideradas por este motivo, idóneas como materia prima para la obtención de óxido de calcio, dicha investigación pretende realizar el cálculo de reservas de estas calizas para luego determinar el método de explotación más idóneo y que se adapte a la topografía del lugar.

Dentro de las interrogantes están: ¿Cuáles son las reservas probables y probadas y cuál es el método de explotación minero más idóneo para la extracción de las calizas de la Formación Cajamarca susceptibles para ser explotadas en la obtención de óxido de calcio en el Centro Poblado Sangal?; ¿Cuáles son las zonas que presentan mayores contenidos de CaCO_3 para la realización del cálculo de reservas en el centro poblado Sangal?

El objetivo general es: Determinar las reservas probables y probadas de las calizas de la Formación Cajamarca susceptibles para ser explotadas para la obtención de óxido de calcio en el centro poblado Sangal. El objetivo específico es: Determinar las zonas que presentan mayores contenidos de CaCO_3 para la realización del cálculo de reservas en el centro poblado Sangal.

La justificación de la investigación propone realizar estudios concernientes al análisis del contenido de carbonato de calcio de las calizas de la Formación Cajamarca y determinar si son aptas para ser explotadas para la obtención de óxido de calcio. Además, la realización del cálculo de reservas probadas y probables y la

aplicación del método de explotación para su posterior extracción se crearán muchos puestos de trabajo para los pobladores del lugar.

La investigación consta de V capítulos, los cuales se mencionan a continuación:

El Capítulo I denominado Introducción en donde se explica cómo está estructurada la tesis.

El Capítulo II, contiene el Marco Teórico, donde se menciona los antecedentes internacionales, nacionales y locales; así mismo las bases teóricas que van a ser de apoyo para la investigación.

El capítulo III, se basa en los Materiales y Métodos, donde se trata el contexto de la investigación, los procedimientos, la metodología, identificación de variables, técnicas, instrumentos y equipos, además se desarrollan los objetivos y se presentan los resultados de la investigación.

En el capítulo IV, Consiste en el análisis y discusión de resultados en el cual dichos resultados de la investigación deben encontrarse relacionados con el planteamiento del problema y la hipótesis planteada, para que así poder llegar a las conclusiones correspondientes.

El capítulo V, Corresponde a las conclusiones y recomendaciones, donde las conclusiones serán de acuerdo a los objetivos planteados, además las recomendaciones se realizaron con la finalidad de que sirva a futuras investigaciones de este tipo.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Reinoso (2015), en su investigación: Evaluación de Reservas y Diseño del sistema de Explotación del Área Minera Mary Elena Código: 102317. Concluyó: que la planificación minera del proyecto es a 5 años con un plan de explotación a mediano plazo de las reservas de la cantera. El diseño de explotación que se propone es un banqueo descendente en cual se ha planteado 4 niveles de explotación con una altura de 5 metros cada uno. Se obtuvo un total de 367222.5 toneladas como Reservas Probadas, 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.

Luque (2017), en su trabajo de investigación titulado: “Estudio de Factibilidad en un Proyecto de Explotación de Rocas y Minerales Industriales en una mina de Perlita”, dentro de los objetivos están el de evaluar si el proceso de explotación de rocas y minerales industriales puede ser factible. Concluye que el cálculo de reservas arroja unas reservas probadas de 74,195 TM; el planeamiento de Minas se basó en la proyección tanto económica como operativa, se calculó una producción diaria de 301 TM/día, de esta manera se obtiene una producción de mineral para 5 años. Para el procesamiento de todo este mineral que es enviado desde la mina se decidió por la utilización de una Chancadora que posee una capacidad de 15 - 70 TM/h.

Acevedo (2005), en su investigación: Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de Caliza en la Región Metropolitana, llega a las

conclusiones: mediante el análisis por calcinación dejan de manifiesto que el contenido de CaCO_3 en la caliza analizada se encuentra entre 94,3% y 96,3%. Este rango de composición de CaCO_3 comparado con el de otros Yacimientos de caliza, tales como: Pampa Tana (93-94%), ubicado en la I Región, Colina Larga (92-95%) ubicado en la II Región, La Perlita (90- 94%) y Lo Valdés (90-95%) ubicados en la Región Metropolitana, permiten inferir que las rocas de caliza de la Minera Doña Emilia pueden ser utilizadas a nivel industrial en la fabricación de cemento, cal y como fundente en procesos metalúrgicos y para enmienda de suelos.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Torres (2015), en su investigación: Metodología para la Estimación de Reservas Minerales en Minera Bateas. Concluye que: La dilución es uno de los parámetros más importantes en una mina, medirla y controlarla trae consigo extraer mineral de mejor calidad y en consecuencia una reducción de costos al no romper, extraer, procesar el material estéril. Otro parámetro importante para la estimación de reservas minerales son los costos. El precio de los metales los define el mercado internacional y una empresa minera no puede tener control de estos, pero puede controlar sus costos y de esta manera volverse más rentable. Las reservas minerales en estas vetas serían de 2.6 M de toneladas.

2.1.3. Antecedentes Locales

Rebaza (2015), en su investigación: Estimación de reservas probables de yacimientos no metálicos en arcillas del distrito de Llacanora Cajamarca, Perú – 2015. Concluye que: existen las 18 reservas probables en toneladas métricas teniendo como datos la densidad determinada en laboratorio y el volumen calculado mediante el software AutoCAD Civil 3D 2016, lo cual dio como resultado un total de 401,327.554 T.M. lo que cubriría un alto índice de porcentaje para la producción regional y nacional.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Cálculo de Reservas

Se denomina reserva minera al conjunto de minerales que son legal, económica y técnicamente factibles de extraer. La estimación de reservas de un yacimiento tiene por objeto determinar la cantidad, calidad y posibilidad de explotación comercial del mineral que lo compone, ya sea metálico, no metálico, industrial u ornamental. Planificar la explotación, el tratamiento del mineral, la restauración ambiental, son aspectos imposibles de encarar sin un cálculo seguro de las reservas. La estimación de toda la vida útil de una mina a través de un proceso de modelación del yacimiento que se ajuste lo mejor posible a la realidad en estudio. La cantidad de reservas de un yacimiento es uno de los factores principales que determinan su viabilidad económica. Los distintos métodos de estimación de recursos que se emplean en la actualidad son definidos por los principios de interpretación empleados y las técnicas de interpolación espacial (Luque, 2017).

La mayoría de los recursos y reservas de minerales se calculan en toneladas métricas, a excepción de los metales (oro, plata y platino) que se calculan en kilogramos. La estimación de reservas es importante en cada etapa de los trabajos de prospección y exploración de yacimientos minerales y este proceso continuo durante la explotación del depósito. Todos los trabajos de exploración de un yacimiento contribuyen ante todo a la estimación de las materias primas minerales. El cálculo de reservas se considera un proceso continuo que se inicia con la exploración y recopilación de la información seguida de la interpretación geológica y la estimación de recursos. Posteriormente se consideran los factores modificadores (mineros, metalúrgicos, ambientales, legales etc.) y se arriba al estimado de reservas (Luque, 2017).

Reinoso (2015) resalta esta importancia aclarando que en la evaluación de los recursos minerales, si bien es muy importante las labores de muestreo y determinación de la ley media, determinar la cubicación de las reservas, es decir, la definición de cuánto, dónde y cómo están, es la labor que adquiere un carácter más crítico, pues permitirá conocer las características generales del yacimiento en cuanto a las toneladas de mineral útil, así como la morfología de los cuerpos

mineralizados, lo que incidirá, posteriormente, en el método de explotación minero a elegirse. El intentar llevar a cabo este trabajo con el mínimo error posible no sólo es deseable sino imprescindible.

2.2.2. Parámetros para determinar el método de explotación

Dentro de los parámetros geométricos principales que configuran el diseño de las excavaciones corresponden a los siguientes términos:

2.2.2.1. Banco

Es el módulo o escalón comprendido entre dos niveles que constituyen la rebanada que se explota de estéril y/o mineral, que es objeto de excavación desde un punto del espacio hasta una posición final preestablecida (Rebaza, 2015).

2.2.2.2. Altura de Banco

Es la distancia vertical entre cada nivel horizontal, esta altura depende de las características físicas del depósito, el grado de selectividad planificado, el tamaño del equipo y el tipo de equipo que se requieren para satisfacer la producción requerida y de las condiciones climáticas (Luque, 2017).

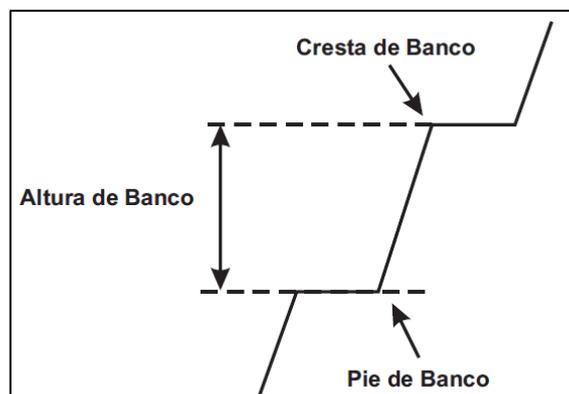


Figura 1. Altura de banco distancia vertical entre el pie y la cresta del banco
Fuente: Contreras, (2017).

2.2.2.3. Talud de Banco

Es el ángulo delimitado entre la horizontal y la línea de máxima pendiente de la cara del banco (Herrera, 2007).

2.2.2.4. Talud de trabajo

Es el ángulo determinado por los pies de los bancos entre los cuales se encuentra alguno de los tajos o plataformas de trabajo. Es, en consecuencia, una pendiente provisional de la excavación (Herrera, 2007).

2.2.2.5. Pistas

Son las estructuras viarias dentro de una explotación a través de las cuales se extraen los materiales, o se efectúan los movimientos de equipos y servicios entre diferentes puntos de la misma. Se caracterizan por su anchura, su pendiente y su perfil (Herrera, 2007).

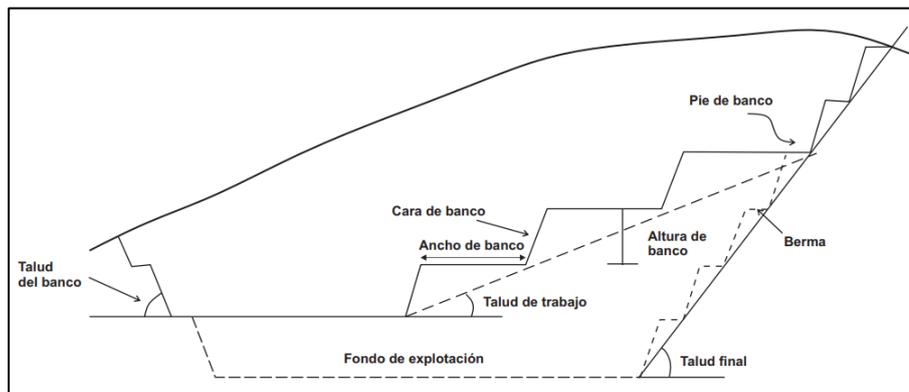


Figura 2. Componentes principales para la actividad minera a cielo abierto
Fuente: Herrera, (2007).

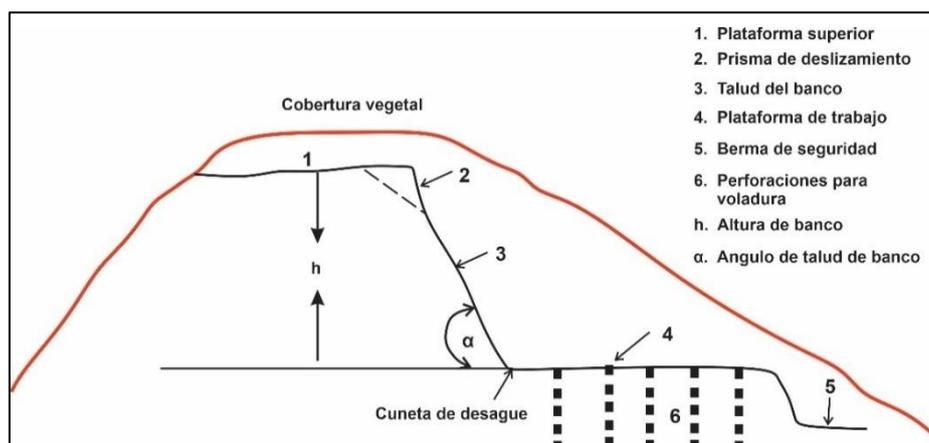


Figura 3. Parámetros geométricos en explotación de cantera.
Fuente: Herrera, (2007).

2.2.3. Bermas

Las bermas se utilizan como áreas de protección para detener los materiales que puedan desprenderse de los frentes de los bancos superiores, normalmente se recomienda del 30 al 40% de la altura del banco (Reinoso, 2015).

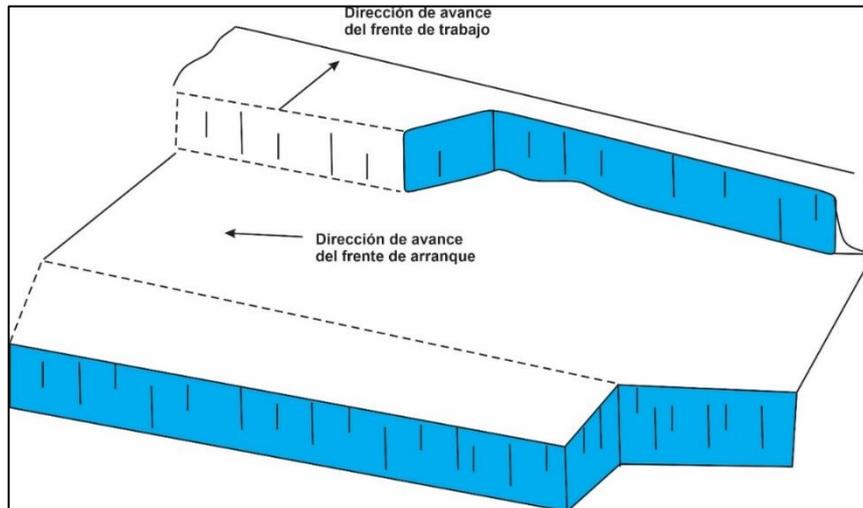


Figura 4. Las bermas y los frentes de avances
Fuente: Herrera, (2007).

2.2.4. Cantera

Es una explotación superficial (menos de 50 m), con un solo banco o con pocos en una pequeña área, sin necesidad de tener que descubrir el material explotable por aflorar y por tanto con muy bajo ratio de estéril/mineral. El ritmo de producción es, en general, pequeño y marcado por las necesidades de unos mercados muy próximos. Normalmente las características físicas y granulométricas, más que las químicas del producto vendible marcan el precio de venta, que es muy bajo, salvo en el caso de las rocas ornamentales. Se subdividen en canteras de rocas para la construcción y canteras de rocas ornamentales (Urbina & Herrera, 2022).

2.2.5. Métodos de la Estimación de Recursos

El cálculo de reservas es una operación que se efectúa en todas las etapas de la vida de una propiedad minera desde su descubrimiento hasta las fases finales de la mina. Es uno de los elementos fundamentales de la evaluación y no tiene sustituto. La eficiencia en la extracción y productividad de una mina son imposibles de alcanzar sin un conocimiento preciso de las reservas Para poder establecer una

estimación de reservas adecuada es importante tener una idea básica del proceso minero a ser empleado.

Siendo esto así, Reinoso (2015) pone de manifiesto que la mejor opción cuando no se cuenta con sondajes que nos permitan obtener una variable regionalizada como es la ley de corte que nos admita calcular un semivariograma, que a su vez nos facilite calcular las reservas a través de métodos geoestadísticos, optemos por los métodos convencionales como puede ser el método tradicional de los Perfiles o Cortes topográficos que es una aproximación práctica para el cálculo de superficies.

En conclusión, la selección del método de cubicación estará sujeto por el método de investigación empleada y por el sistema de explotación que se tiene previsto utilizar.

2.2.5.1. Métodos Clásicos

Existen una serie de métodos para calcular las reservas, los cuales son descritos por Olórtegui (2010) sencillos en su construcción y cálculo, pero con varias desventajas principalmente en la precisión y realismo de las evaluaciones. Esto se debe en gran medida a que generalizan el comportamiento de una zona, que puede llegar a ser amplia, basándose sólo en los resultados de uno o pocos sondeos o perforaciones cercanas. Esta limitación es muy importante cuando se realizan estimaciones de yacimientos muy irregulares o diseminados que pueden presentar grandes variaciones en cortas distancias.

Los métodos clásicos más utilizados en la estimación de reservas de un yacimiento son los siguientes:

a) Método de secciones

Este método consiste en calcular las toneladas y la ley de un bloque de mineral determinado por una serie de secciones transversales, en las que éstas se construyen por los taladros de perforación. Cada una de las secciones establece el límite del área mineralizada. El volumen total y el promedio del bloque mucho mayor que el resto se establece por el promedio de los datos de secciones adyacentes (Castillo & Piscocoya, 2021).

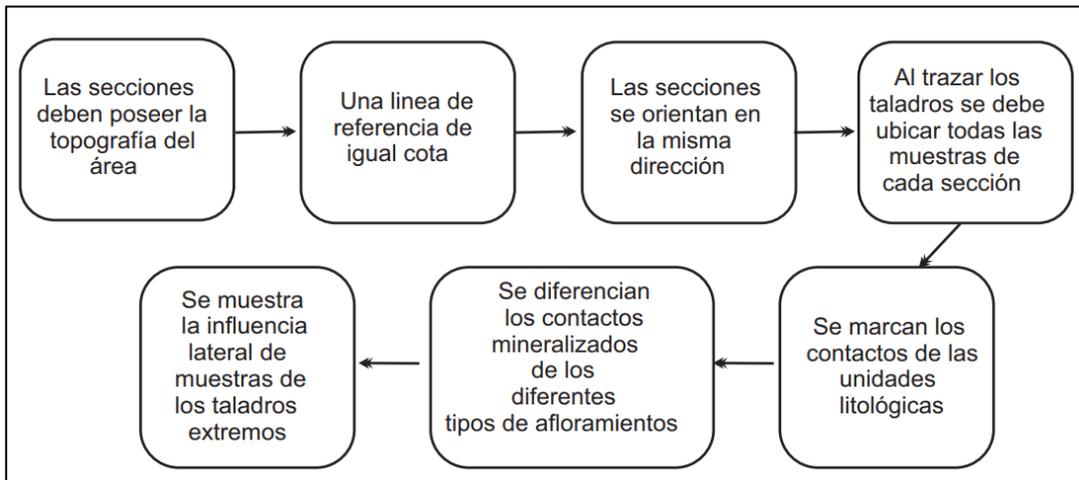


Figura 5. Etapa de la estimación de recursos - Método de Secciones.
Fuente: Castillo & Piscoya, (2021).

El cálculo del volumen total se logra, mediante la suma de los volúmenes parciales, de los cuales estos últimos se logran multiplicando, las áreas de cada sección por un espesor determinado.

$$Vt = \sum_s^n A_s \times J_s$$

Donde:

- Vt : 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

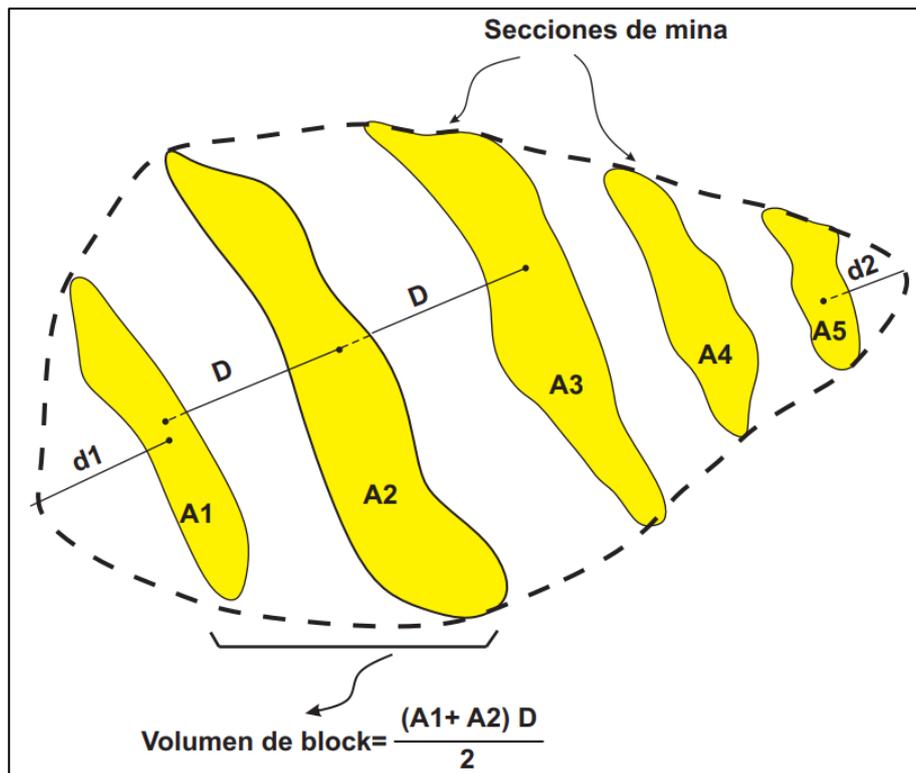


Figura 6. Esquema de secciones de un yacimiento y elementos de cálculo de reservas con el Método de Secciones
Fuente: Annels, (1991).

Este es un método muy utilizado en yacimientos que presentan cierta irregularidad en su morfología, se realiza mediante unos cortes que se generan ya sea en forma vertical, horizontal o no paralelos (Bustillo & López, 1997).

b) Método por Triangulación

Este método consiste en construir prismas rectangulares usando tres perforaciones contiguas como vértices del respectivo prisma; cuyo procedimiento se resume en la unión de los sondeos existentes por líneas rectas, luego se establece un prisma rectangular usando tres perforaciones cercanas como vértices.

El tenor o ley de cada prisma se obtiene como la media aritmética del tenor correspondiente a cada perforación o vértice del prisma. También se puede estimar como la media ponderada entre los tres vértices. Se utiliza el Método de la Triangulación para depósitos con pocas variaciones de potencia (Morales, 2014).

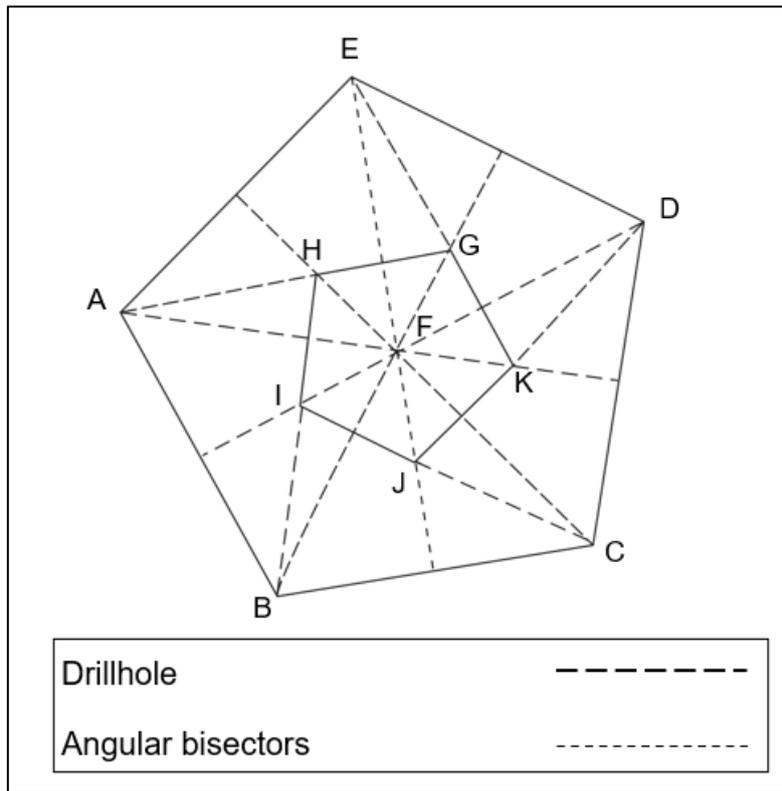


Figura 7. Método Clásico por Triangulación
Fuente: Morales, (2014).

c) Método de los Polígonos

Se suele usar cuando los sondeos están irregularmente distribuidos. A pesar de no ser muy exacto, su uso está muy extendido. Consiste en construir una serie de polígonos en cuyos centros se encuentra un sondeo, asignando a cada polígono espesor, densidad y ley de dicho sondeo, asumiendo, por tanto, que tales parámetros permanecen constantes en todo el polígono (dominio de influencia del sondeo).

Para construir los polígonos, existen dos métodos: bisectrices perpendiculares (los vértices del polígono quedan definidos por los puntos de corte de las mediatrices de los segmentos que unen los sondeos) y bisectrices angulares (vértices de polígono corte de bisectrices de ángulos definidos por las líneas que unen los sondeos). El método consiste en hallar áreas de igual influencia en labores mineras que pueden representarse en un mapa mediante puntos. Las áreas se delimitan en el trazado de bisectores perpendiculares. Cuando las labores mineras aparecen representadas como líneas, las áreas de influencia se trazan mediante ángulos bisectores (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).

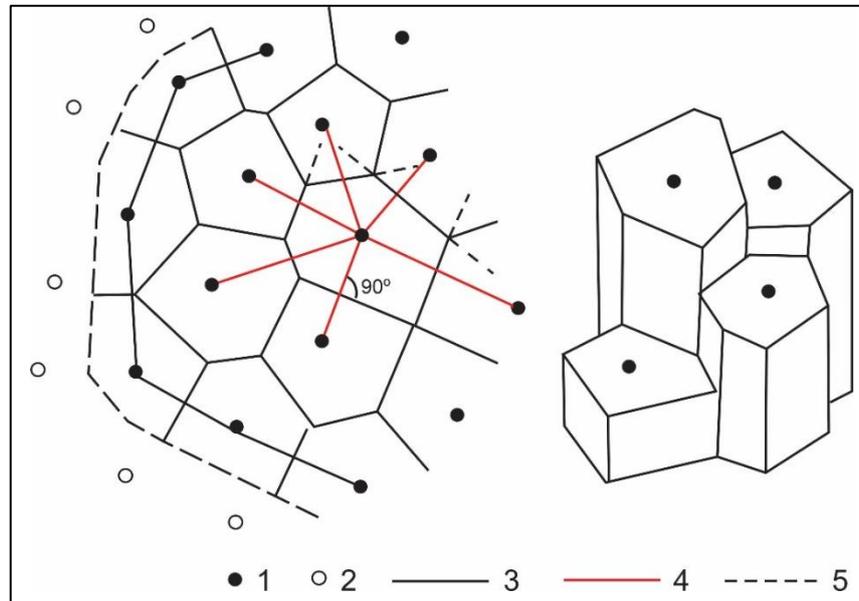


Figura 8. Cálculo de reservas por el Método de los Polígonos
Fuente: Alfaro, (2007).

La fórmula general es:

$$Z_s = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^N S_i Z_i \quad S = S_1 + S_2 + \dots + S_n$$

d) Método de los Contornos

La cuantificación por contornos no está fundamentada 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 (Centro Nacional Minero, 2003).

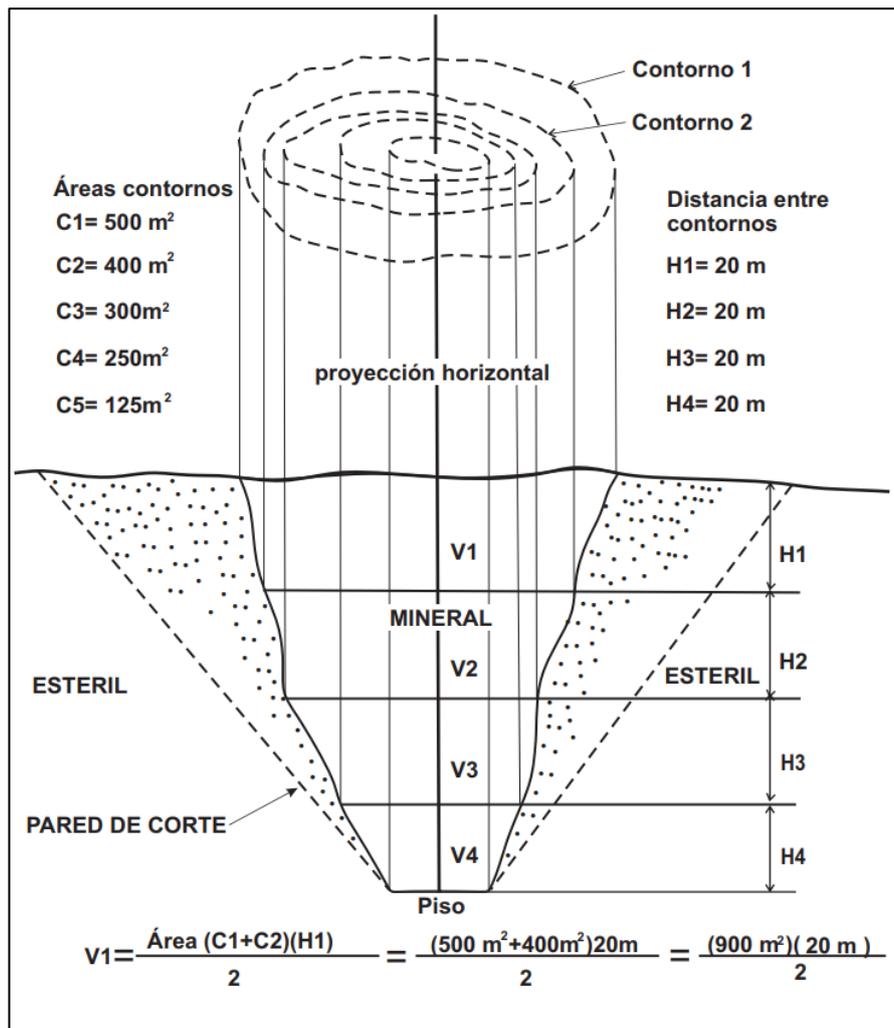


Figura 9. Método por Contornos
 Fuente: Centro Nacional Minero, (2003).

2.2.6. Método de explotación

La elección del método de explotación depende del tipo de yacimientos a explotar y que están directamente relacionados con la naturaleza y extensión del impacto. Se utilizan tres métodos principales: Minería a cielo abierto o minería superficial, minería subterránea y minería por lavado y dragado (Luque, 2017).

El Método de explotación como sistema minero puede definirse como los procedimientos utilizados y el orden espacial con el que se llevan a cabo la extracción de los materiales de interés y estériles asociados, dependiendo fundamentalmente de las características morfológicas del yacimiento y topografía del terreno, se clasifican principalmente en minería a cielo abierto y minería subterránea (Reinoso, 2015).

Por las características del yacimiento sedimentario en un sistema de cielo abierto, Reinoso (2015) distingue los siguientes métodos según la dirección en la que se realizan los trabajos de excavación:

- A. Avance frontal y frente de trabajo de altura creciente.
- B. Excavación descendente y abandono del talud final en bancos.
- C. Avance lateral y abandono del talud final.
- D. Excavación troncocónica con pérdida del macizo de protección.

Considerando que el presente yacimiento es de tipo calcáreo (sedimentario), se hace indispensable ejecutar un método de explotación que cubra los siguientes requerimientos:

- A. Permitir el movimiento de grandes volúmenes de mineral.
- B. Asegurar el normal funcionamiento de la maquinaria que se requiere para cumplir con la producción requerida.
- C. Asegurar una mínima inversión en trabajos preliminares. Para asegurar este requerimiento lo que sugiere Reinoso (2015) es aplicar la segunda alternativa “excavación descendente y abandono del talud final en bancos”, comenzando con los bancos superiores hasta los de menor cota.

2.2.6.1. Elección del Método de Explotación

Existen varias clasificaciones de diversos autores de los métodos de explotación a cielo abierto, las cuales Reinoso (2015) las divide en dos grupos fundamentales:

- A. La clasificación en la cual los métodos de explotación a cielo abierto se diferencian por la forma de efectuar los trabajos de destape y el método de desplazamiento de las rocas estériles hacia las escombreras.
- B. La clasificación en la cual los métodos de explotación a cielo abierto se diferencian en dependencia del orden en que se realizan los trabajos de preparación y arranque, dirección y avance de la frente y método de destape.

De estos 2 grupos fundamentales, se usa el primero, por cuanto se considera que el desplazamiento del estéril puede ser reconocido como el criterio determinante que toma en cuenta las principales particularidades del método y determina los índices técnico-económicos de la explotación a cielo abierto. Las desventajas de este grupo de clasificaciones están en que ellas no toman en cuenta el volumen y

orden de realizar los trabajos de preparación. (Reinoso, 2015). Sin embargo y pese a esto, las clasificaciones propuestas por la corriente soviética son en la actualidad las más extendidas y reconocidas en la literatura técnica, la cual se divide en tres:

Tabla 1. Clasificación de los Métodos de Explotación a Cielo Abierto

Grupos de Sistemas de Explotación	Sistemas de Explotación	Designación Convencional
A Con trasbordo del estéril a la escombrera por medio de excavadoras o escombro transbordadoras (deslizamiento longitudinal) o con transporte	Con trasbordo directo del estéril.	A-1
	Con trasbordo múltiple del estéril por excavadoras.	A-2
	Con trasbordo del estéril por medio de escombro transbordadores.	A-3
B Con acarreo del estéril a la escombrera con ayuda de medios de transporte (deslizamiento longitudinal) o con transporte.	Con acarreo del estéril:	
	A la escombrera interior.	B-4
	A la escombrera exterior.	B-5
C Con acarreo y trasbordo de estéril a la escombrera (deslizamiento transversal y longitudinal) o métodos combinados.	A ambas escombreras (interior y exterior)	B-6
	Con acarreo parcial de estéril a las escombreras interiores o exteriores.	
D Con pequeño volumen de trabajos de destape, cuando el desplazamiento del estéril a la escombrera no tiene significado esencial.	Con trasbordo parcial del estéril a las escombreras interiores	C-8
		A-0

Fuente: Reinoso, (2015).

A partir de características como la profundidad, la morfología del yacimiento, las características geomecánicas de los materiales y parámetros medioambientales, se tendrá que determinar el método de explotación. Ello contribuirá a una localización y apertura de una nueva cantera con el fin de suministrar el material necesario para la obtención de cal.

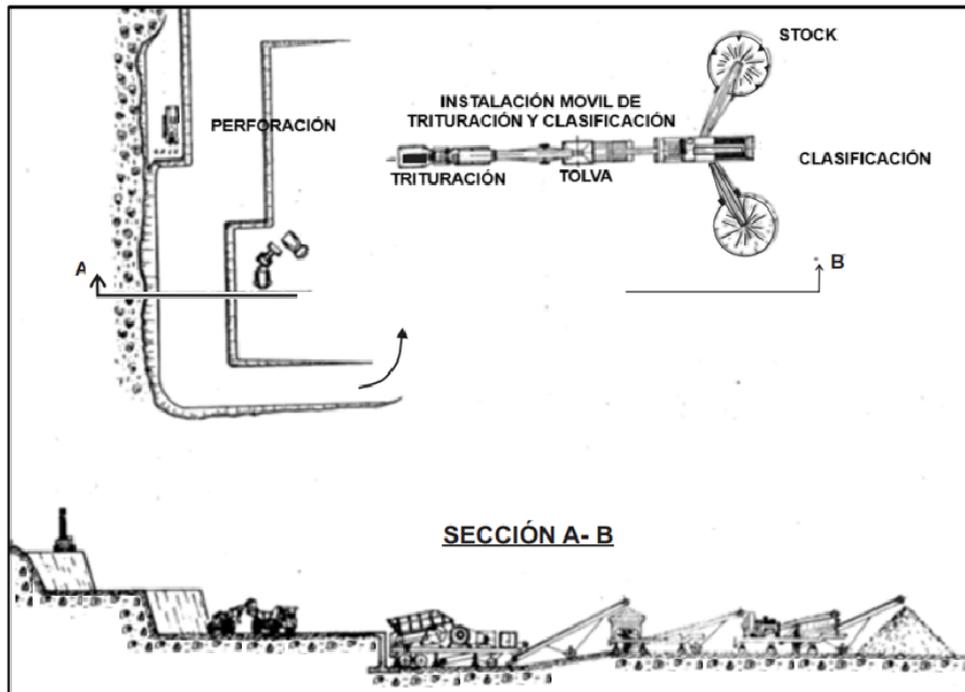


Figura 10. Planta y sección de una cantera
Fuente: Vilca, (2019).

2.2.7. Reserva Minera

Las reservas de una empresa son datos dinámicos, que se reducen en el tiempo a medida que el mineral va siendo extraído de la mina, o porque disminuye la viabilidad económica de la extracción. Por ejemplo, bajan los precios de un metal y la ley de corte (mínima ley explotable) hay que modificarla al alza para adaptarse a la nueva realidad económica.

Al hacer esto, consecuentemente disminuirán las toneladas susceptibles de ser extraídas económicamente. Alternativamente, y como suele ser frecuente, las reservas pueden continuar aumentando a medida que yacimientos adicionales son añadidos al stock de metales de la empresa o porque una nueva tecnología permite explotar zonas antes consideradas solo marginalmente de interés. Por su parte, recurso es un concepto más amplio que implica cualquier concentración natural de un sólido, líquido o gas en la corteza terrestre, y cuya extracción es actual o potencialmente factible. Las reservas mineras son la porción del recursos medido o indicado económicamente extraíble la cual incluye factores geológicos, metalúrgicos, geotécnicos, medioambientales, sociales y gubernamentales (Luque, 2017).

2.2.7.1. Reserva Minera Probable

Una Reserva Minera Probable tiene un nivel de confianza más bajo que una Reserva Minera Probada, pero es de calidad suficiente para servir de base en la decisión sobre el desarrollo de un depósito.

2.2.7.2. Reserva Minera Probada

Una Reserva Minera Probada representa la categoría de más alta de confianza en la estimación de Reservas e implica un alto grado de confianza en la continuidad geológica y en la consideración de los Factores Modificadores.



Figura 11. Relación General entre los resultados de Exploración, Recursos Minerales y Reservas minerales.

Fuente: Código CM, (2015).

2.2.8. Minería no tradicional

La minería no tradicional no metálica comprende las actividades de extracción de recursos minerales que, luego de un adecuado procedimiento, se transforman en productos aplicables en diversos usos industriales, agrícolas, gracias a sus propiedades físicas y/o químicas. Tenemos así minerales no metálicos, tales como las de construcciones, la cerámica, el vidrio, porcelana, esmaltes, refractarios, abrasivos, sales detergentes, etc., los cuales provienen de los minerales industriales como ser: la piedra caliza, azufre, boro, diamante, yeso, etc (Valenzuela, 2002).

2.2.9. 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.

2.2.9.1. Origen químico

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

2.2.9.2. Origen orgánico

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

2.2.10. Rocas Sedimentarias Carbonatadas

Huang (2009) 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, 2009).

Se define a los carbonatos como sustancias formadas por dos o más elementos, en una proporción fija por peso. Contiene los elementos de carbono (C) y oxígeno (O) en su forma de CO_3 , conteniendo un átomo de carbono y tres átomos de oxígeno. Los carbonatos se dividen en anhidros, hidratados y con o sin aniones extraños. Las especies minerales forman dos grupos; en el primero están la calcita y dolomita y en el segundo el aragonito. Dentro de estos minerales la calcita y la dolomita son los más importantes por su abundancia y usos, ya que forman parte de muchas rocas y minerales (Díaz, 2009).

Tabla 2. Composición química de la calcita y dolomita

Mineral	Fórmula	Componentes	Porcentaje (%)
Calcita	CaCO ₃	CaO	56,2
		CO ₂	43,8
Dolomita	CaMgCO ₃	CaO	30,4
		MgO	21,7
		CO ₂	47,9

Fuente: Dias, (2009).

Las principales rocas carbonatadas utilizadas por la industria son las calizas y dolomías. Las calizas son rocas sedimentarias compuestas principalmente por calcita (CaCO₃) y las dolomías (CaMg(CO₃)₂). Otros carbonatos como el aragonito (CaCO₃), la siderita (FeCO₃), la ankerita (Ca₂MgFe(CO₃)₄) y la magnesita (MgCO₃), son comúnmente asociados con calizas y dolomías pero generalmente en menor cantidad.

2.2.11. Calizas

Las calizas al estar formadas principalmente por calcita, su contenido de CaO y CO₂ viene hacer muy alto, llegando a ser en algunos casos más del 95% con porcentajes variables de impurezas (Huang, 2009).

Estas pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, calcedonia, etc., a veces modifican sensiblemente el color y el grado de coherencia de la roca. El carácter prácticamente mono mineral de las calizas permite reconocerlas fácilmente gracias a dos características físicas y químicas fundamentales de la calcita: su dureza es de 3 en la escala de Mohs y reacciona con efervescencia en presencia de ácido clorhídrico. En el ámbito de las rocas ornamentales o de áridos para construcción recibe también el nombre de piedra caliza (Zarate, 2022).

En la naturaleza existe una gran variedad de tipos de rocas calizas: tales como biohémicas que son formadas por la acumulación de esqueletos de organismos acuáticos formadores de arrecifes; las Biostrómicas son parecidas a las anteriores (tienen el mismo origen) pero ocupan áreas más amplias y aparecen en estratos de espesor variable separados por capas de arcilla; las Bituminosas son calizas de color negro ricos en compuestos orgánicos tales como el queroseno y asfaltos; los de crinoides, son calizas con dolomitas aunque la cantidad de calcita representa siempre más del 50% del total (si no sería una dolomía); calizas fétidas que

contienen un cierto porcentaje de azufre reducido de tal forma que al golpearlas despiden un desagradable olor a huevos podridos; litográficas rocas de grano fino y colores claros, formadas a partir de restos de organismos marinos microscópicos llamados foraminíferos y ciertas algas, por lo que también se denominan calizas pelágicas (Hernández, 2001).

La utilización de las calizas está relacionada principalmente con el contenido de carbonato, especialmente de grado químico, como se muestra en la tabla siguiente. Tal definición de pureza química es relativamente simple y puede ser usada para ilustrar la distribución de la pureza de la caliza y permite los datos químicos de diferentes calizas (Contreras, 2017).

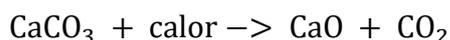
2.2.11.1. Principales usos de la caliza

Dentro de los principales usos de la cal podemos mencionar en la metalurgia de la industria del acero como fundente en la purificación del hierro y en la oxigenación básica, y en hornos eléctricos. Además, la cal se utiliza como agente químico en la fabricación de magnesio, aluminio y en la fundición de metales ferrosos. Por otro lado, como material de construcción, la cal se utiliza porque provee alta estabilidad dimensional al muro y como agregado para formación del concreto hormigón, siendo más resistentes al agua. También se utiliza en la estabilización de suelos y carreteras. En la fabricación de la pulpa de papel la cal se utiliza como neutralizante. Si miramos en el tema de medio ambiente, la cal también es un agente primordial para el tratamiento de agua potable y aguas industriales para mejorar su calidad. Desinfecta bacterias y algunos tipos de virus. Remueve la mayoría de metales pesados y ayuda prevenir un próximo desgaste de conductos y tuberías. Entre otras aplicaciones podemos mencionar el uso en el tratamiento de desechos industriales, tratamiento en plantas empacadoras de alimentos, neutralizador de tierras áridas, entre otros (Espino, 2013).

2.2.11.2. 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).

Reaccion térmica del CaCO₃:



La temperatura de descomposición de caliza utilizable comercialmente se sitúa entre 896 y 910 °C (con una presión parcial de CO₂ de 100 kPa). Este valor se ve influenciado principalmente por la pureza de la cal y por las impurezas contenidas. Es así que la temperatura de descomposición puede descender en varios cientos de grados como consecuencia de una mayor contaminación con SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃ en la caliza (Zapana, 2019).

2.2.12. Características de las calizas

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

Tabla 3. Propiedades de las Calizas

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).

2.2.13. Óxidos Totales

Los porcentajes de MgO, SiO₂, Fe₂O₃, y Al₂O₃ son considerados impurezas tanto para el óxido, hidróxido y carbonato de calcio. Para determinar el % de óxido total

en una muestra de óxido de calcio se hace uso de la siguiente ecuación: (Zarate, 2022).

$$\%CaO \text{ Total} = 100 - (\%impurezas + \%crudo)$$

2.2.14. Óxidos Disponibles

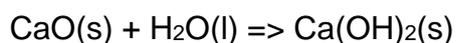
El óxido disponible se refiere al óxido de calcio útil y aprovechable que reacciona con el agua durante el proceso de hidratación (Zarate, 2022).

2.2.15. Pérdidas por Calcinación

Nos indica la cantidad en porcentaje de material crudo ($CaCO_3$), que ha quedado como residuo en la piedra de Óxido de Calcio (CaO), después del proceso de calcinación (Zarate, 2022).

2.2.16. Óxido de Calcio

El óxido de calcio (CaO) es producto de la transformación del carbonato de calcio al ser sometido a altas temperaturas donde hay un desprendimiento del dióxido de carbono, contenido en la piedra hasta obtener cal viva. Si se apaga sometiéndola al tratamiento de agua, se le llama cal apagada (hidróxido de calcio) (Zarate, 2022). Físicamente, es un sólido blanco cristalino, inodoro y con fuertes interacciones electrostáticas, las cuales son responsables de sus altos puntos de fusión ($2572\text{ }^\circ\text{C}$) y ebullición ($2850\text{ }^\circ\text{C}$). Además, tiene un peso molecular de $55,958\text{ g/mol}$ y la interesante propiedad de ser termoluminiscente. Esto quiere decir que un trozo de óxido de calcio expuesto a una llama puede brillar con una intensa luz blanca, llamada luz de calcio. Los iones Ca^{2+} , en contacto con el fuego, originan una llama rojiza. El CaO es un óxido básico que presenta una fuerte afinidad por el agua, a tal grado que absorbe humedad (es un sólido higroscópico), reaccionando inmediatamente para producir cal apagada o 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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, deshidratándolo y encendiendo la cal apagada; entonces, la cal “renace” (Vilca, 2019).

2.2.16.1. Reactividad

Esta característica de la cal viva se refiere a la velocidad de reacción del óxido de calcio al entrar en contacto con el agua. Es decir, el incremento de la temperatura con respecto al tiempo. Esta propiedad es muy importante en distintos procesos, especialmente en aquellos que requieren de hidratación, donde es deseable sea reactiva. Sin embargo, en algunos procesos como la fabricación de concreto celular se requiere una cal de baja reactividad.

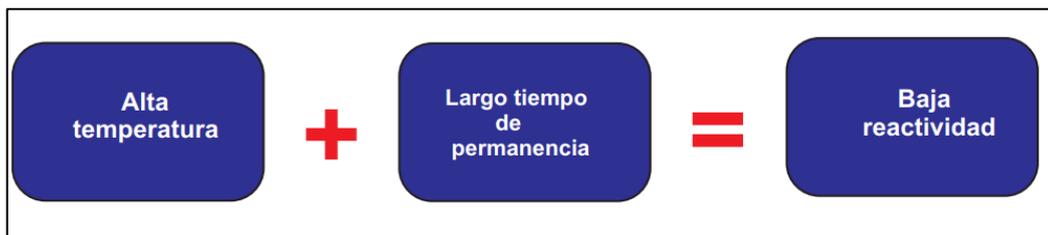


Figura 12. Proceso de baja reactividad de la cal
Fuente: Vilca, (2019).

2.2.17. Proceso de explotación de las calizas

Las calizas son rocas sedimentarias que contienen por lo menos 50% de minerales de calcita (CaCO_3) y dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), predominando la calcita. Cuando prevalece la dolomita se denomina dolomía. La caliza es aglomerante, neutralizante, escorificante y fundente. El proceso para la obtención de cal que se presentan a continuación.

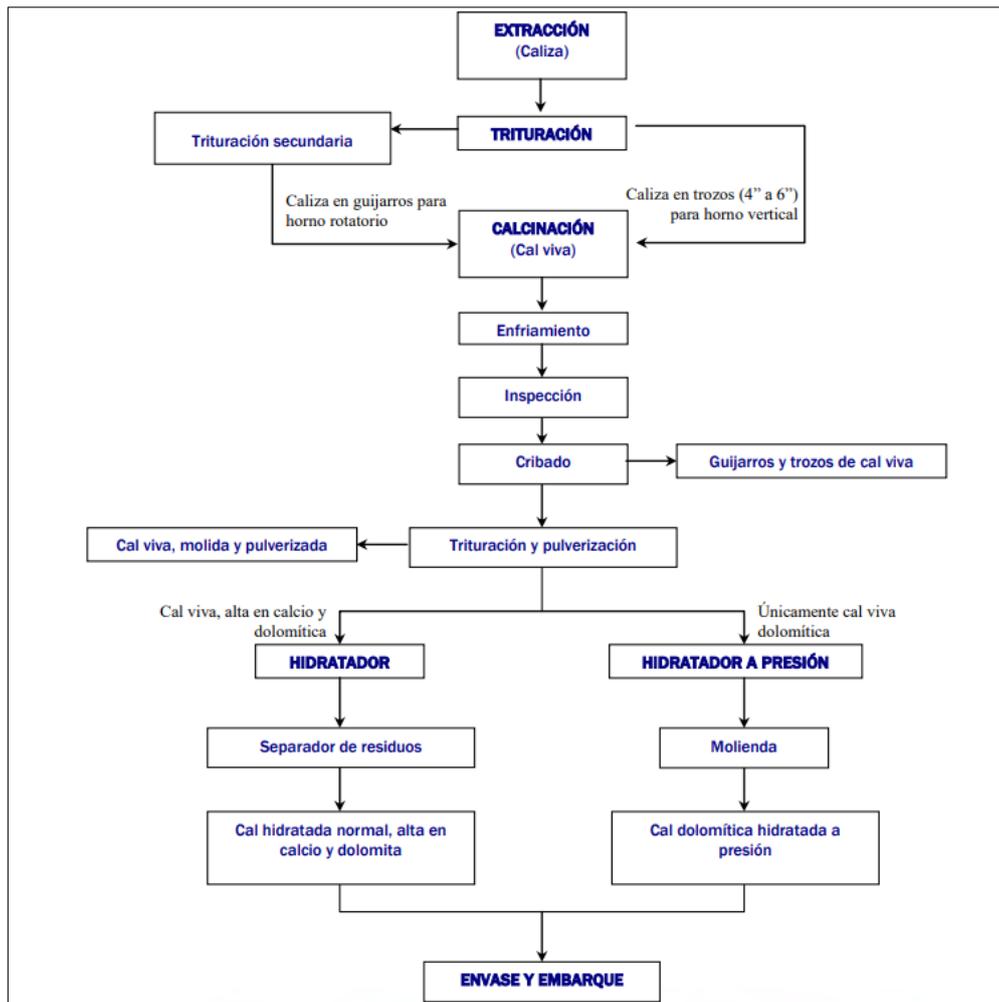


Figura 13. Proceso de la obtención de Óxido de Calcio
Fuente: Caleras San Juan, (2016).

2.2.17.1. Extracción

Se desmonta el área a trabajar y se lleva a cabo el descapote, posteriormente se barrena aplicando el plan de minado diseñado, se realiza la carga de explosivos y se procede a la voladura primaria, moneo, tumbe y rezagado, carga y acarreo a planta de trituración.

2.2.17.2. Trituración

En esta etapa es sometida a un proceso de trituración que arrojará como producto trozos de menor tamaño que normalmente son de 4" a 6", que serán calcinados en hornos verticales. La trituración secundaria se realiza cuando se requieren fragmentos de menor tamaño y se tienen hornos rotatorios para calcinar.

2.2.17.3. Calcinación

La cal es producida por calcinación de la caliza y/o dolomía triturada por exposición directa al fuego en los hornos. En esta etapa las rocas sometidas a calcinación pierden bióxido de carbono y se produce el óxido de calcio (cal viva). Es importante que el tamaño de la roca sometida a calcinación sea homogéneo para que la calcinación se realice en forma efectiva y en su totalidad en todos los fragmentos.

2.2.17.4. Enfriamiento

Posteriormente se somete a un proceso de enfriamiento para que la cal pueda ser manejada y los gases calientes regresan al horno como aire secundario.

2.2.17.5. Inspección

El proceso siguiente es la inspección cuidadosa de muestras para evitar núcleos o piezas de roca sin calcinar.

2.2.17.6. Cribado

Se somete a cribado separando a la cal viva en trozo y en guijarros de la porción que pasará por un proceso de trituración y pulverización.

2.2.17.7. Trituración y pulverización

Este paso se realiza con el objeto de reducir más el tamaño y así obtener cal viva molida y pulverizada, la cual se separa de la que será enviada al proceso de hidratación.

2.2.17.8. Hidratación

Consiste en agregar agua a la cal viva para obtener la cal hidratada. A la cal viva dolomítica y alta en calcio se le agrega agua y es sometida a un separador de residuos para obtener cal hidratada normal dolomítica y alta en calcio. Únicamente la cal viva dolomítica pasa por un hidratador a presión y posteriormente a molienda para obtener cal dolomítica hidratada a presión.

2.2.17.9. Envase y embarque

La cal es llevada a una tolva de envase e introducida en sacos y transportada a través de bandas hasta el medio de transporte que la llevará al cliente.

2.2.18. Reacción de calcinación

El Carbonato de Calcio se descompone mediante una reacción endotérmica de acuerdo con la siguiente ecuación:

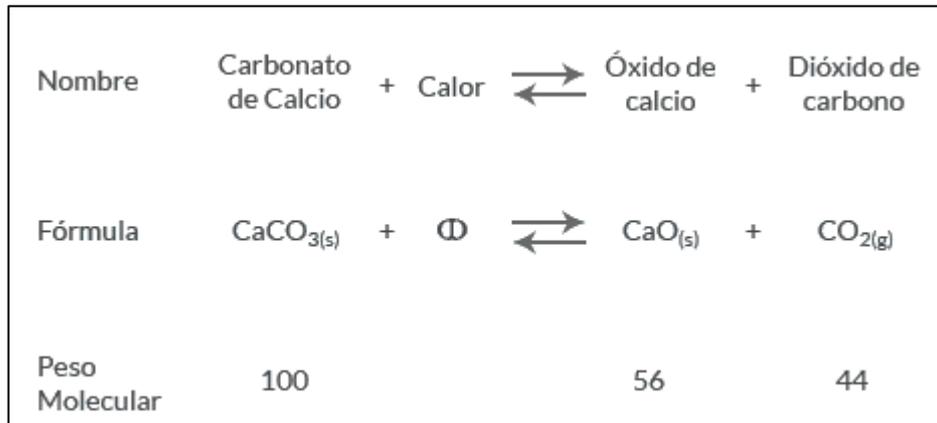


Figura 14. Ecuación de la reacción de calcinación
Fuente: Caleras San Juan, (2016)

La reacción de calcinación es una reacción de descomposición térmica, ya que gracias al calor aportado el Carbonato de Calcio se descompone para dar como producto Óxido de Calcio y Dióxido de Carbono. (Montagna, 2016).

2.2.18.1. Condiciones necesarias para la calcinación

Para que la calcinación se lleve a cabo deben concordar tres factores:

1. La roca debe ser calentada hasta la temperatura de disociación de los carbonatos.
2. El piso térmico debe ser mantenido durante un cierto lapso de tiempo.
3. El gas carbónico que se genera, a partir de la disociación, debe ser removido de la zona donde se genera.

2.2.19. Factor Caliza/Cal

Cálculo para la caliza seca: se determina la relación cal/caliza mediante la formula:

$$\frac{Cal}{Caliza} = \frac{100}{100 - CO_2} \times \frac{CaO + MgO + R_2O_3}{(1,785 \times CaO) + (2,092 \times MgO) + R_2O_3} = A$$

- CO₂ [%] Resto contenido CO₂ en la cal viva
- CaO [%] Contenido CaO en la cal viva
- MgO [%] Contenido MgO en la cal viva
- R₂O₃ [%] Contaminaciones en la cal viva

Cálculo para caliza húmeda:

Cal/Humedad

$$\frac{Cal}{Caliza} = \frac{A \times (100 - humedad)}{100}$$

Humedad [%] Contenido de agua en la caliza referido a caliza seca.

2.2.20. Dilución mineral

Es el proceso de mezcla o pérdida de mineral que se genera durante las etapas de extracción de mineral (Oviedo, 2018).

2.2.20.1. Dilución planificada

Mezcla de materiales durante el diseño de zonificaciones minerales v/s proceso de voladura y/o modelo de bloques.

Factores (Variables) que influyen en la dilución planificada.

- Morfología de la mineralización (por ejemplo, contactos irregulares de los minerales)
- Densidad del muestreo de pozos de sondeo (por ejemplo, muestreo de pozos de voladura en mallas de perforación).
- Calidad del muestreo (por ejemplo, el muestreo de calicatas de voladura)
- Ley de corte (por ejemplo, la ley de corte (%) vs tonelaje (Ca) no va a proporcionar las reservas totales).

2.2.20.2. Dilución operacional

Mezcla de materiales generada durante la extracción mineral (tronadura, extracción y/o transporte). Por ejemplo, mezcla de materiales por voladura especialmente en contactos de estéril, óxidos y arcillas, lo que genera una posterior separación de elementos. (Oviedo, 2018)

Factores que influyen en la dilución operacional.

- Morfología de la mineralización
- Calidad del macizo rocoso (en un frente de extracción)
- Desplazamiento por voladuras
- Dimensiones de los equipos de extracción
- Control operacional (sistema georeferenciado operacional en el interior mina)
- Experiencia de operadores
- Diseño de zonificaciones Mineras (Criterio Geológico-Operacional)

2.2.21. Metodología del control geológico de la dilución mineral

2.2.21.1. Determinación de la dilución Planificada

Se analiza la información geológica (representación y validación de información geológica).

- Se identifica la cobertura del muestreo
- Se revisa la calidad del muestreo.
- Hojas técnicas de procedimiento de muestreo de calidad de caliza
- Se revisan y modifican los criterios de interpretación geológica de zonas minerales.

2.2.21.2. Determinación de la dilución Operacional

- Seguimiento de variables operacionales
- Medición de dilución operacional

Se realiza por medio de las conciliaciones, contrarrestando las diferencias de tonelaje entre el mineral reconocido en las zonificaciones (y actualizando el

modelo), versus el extraído operacionalmente. El objetivo es lograr el cumplimiento de un +/- 10%. (Oviedo, 2018)

2.2.21.3. Evaluación de la dilución de un mineral no metálico

Se cuantifica el flujo de caja por la dilución de un bloque de mineral de CaCO_3 volado de 10x10x15 metros tal como se muestra en la figura:

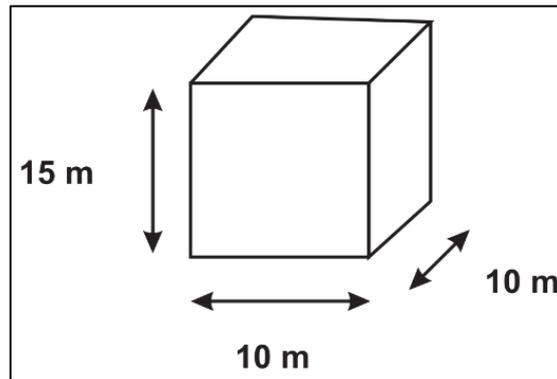


Figura 15. Representación de un bloque de caliza

Datos:

- Densidad= 2.0 TM/m³
- Ley= 45% CaO
- Rec= Recuperación=85%
- Precio de TM de CaO= 60\$
- Costo Operacional=20 \$/TM

Cálculos:

- **Tonelaje del bloque**

$$\begin{aligned} \text{Ancho} \times \text{Alto} \times \text{Largo} \times \text{Densidad} &= 10 \times 10 \times 15 \times 2.0 \text{ TM/m}^3 \\ &= 3000 \text{ TM} \end{aligned}$$

- **Cálculo del contenido de óxido de calcio**

$$\begin{aligned} \text{CaO} &= \text{TM} \times (45\%) \times (\text{Rec}) / 100 \\ &= (3000 \text{ TM} \times 45\% \times 0.85) / 100 \\ &= \mathbf{1147.5 \text{ TM}} \end{aligned}$$

Si el precio estimado de la tonelada de CaO es= 60\$

El valor del bloque diluido sin incorporar el gasto operacional es:

$$\begin{aligned} \text{Ingreso} &= \text{CaO TM} \times \text{Precio\$} \\ &= 1147.5 \text{ TM} \times 60\$/\text{TM} \end{aligned}$$

Ingreso= 68850\$

Egreso = CaO TM x Costo Operacional total CaO

= CaO TM x 20\$/TM

= 1147.5TM x 20\$/TM

Egreso= 22950 \$

Ganancia = Ingresos - Egresos

=68850\$ - 22950\$

Ganancia=45900\$

2.2.21.4. Impacto económico de la Dilución Mineral v/s Costo de producción

En la tabla se observan los datos comparativos con rangos de variación en un 5% de la dilución v/s los costos operacionales en el procesamiento de 100.000 TM de mineral con una ley de 0.35% y recuperación de 0.75% (Oviedo, 2018).

2.2.22. Control de calidad del Óxido de Calcio

El desarrollo de la producción en masa, la especialización, el incremento en la complejidad de los procesos de producción y un mercado centrado en la competencia, hace la necesidad de reducir los precios y ser más competitivos, hecho que implica reducir costes de materiales y de proceso, lo cual hace necesario un control de calidad del producto terminado para evitar reprocesos y cumplir con las expectativas del cliente. La implantación de un sistema de aseguramiento de la calidad permite identificar las características de la calidad que son apropiadas para el producto final, los factores que contribuyen a esas características y los procedimientos para evaluar y controlar dichos factores. Las organizaciones actualmente integran las actividades de control y aseguramiento con la finalidad de producir productos o ejecutar servicios libres de defectos, esto es, que cumplan de forma constante las especificaciones establecidas (alta calidad de ejecución). Para realizar un control de calidad del óxido de calcio, se realiza el control desde la extracción de la piedra caliza hasta tener el óxido de calcio como producto terminado el cual se detalla a continuación (Vilca , 2019).

2.2.23. Control de calidad QA/QC de la información geológica

2.2.23.1. QA (Quality Assurance)

Se refiere a los procesos que se utilizan para medir y asegurar la calidad de un producto durante su desarrollo.

2.2.23.2. QC (Quality Control)

Son las medidas que se toman para verificar que el producto final cumpla con los requisitos y las expectativas del consumidor. QA es un proceso preventivo mientras que QC es una medida correctiva. La aplicación del sistema de control de calidad QA/QC en el presente informe tuvo como objetivo la confiabilidad de la información enviada por el laboratorio y la cual es utilizada para la estimación de las reservas. El efecto de la implementación de un sistema de control de calidad QA/QC tuvo como resultados, que los valores de los análisis de las muestras de rocas reportados por laboratorio se han aplicado sin mayores inconvenientes.

- **QA:** Muestras representativas de rocas calizas seleccionados y preparadas.
- **Duplicados:** Es necesario asegurar en algunos casos el duplicado de las muestras de rocas calizas.
- **QC:** Configuración del modelo de bloques.

Diseño de zonificaciones minerales (criterio geológico y operacional)

2.2.24. Unidades geomorfológicas

Las unidades geomorfológicas se clasifican según su pendiente: van desde planicies hasta escarpes. Las unidades muestran asociaciones litológicas de diferentes tipos de rocas. Existe una clasificación propuesta por Rodríguez (2018) la cual se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4. Descripción de Unidades Geomorfológicas

Unidades geomorfológicas	Pendiente
Planicies	0°- 8°
Lomadas	8°- 20°
Laderas	20°- 50°
Escarpes	Mayor de 50°

Fuente: Rodríguez, (2018).

2.2.24.1. Planicies

Las planicies están determinadas por superficies de pendiente muy suave (0° a 8°) terrenos bastante homogéneos o ligeramente ondulados; se presentan en las partes más bajas, las cuales están relacionadas con depósitos fluviales y depósitos aluviales; esos últimos son productos de la erosión in situ de las rocas Cretácicas. Estos terrenos en su mayoría están destinados para actividades agrícolas y ganaderas

2.2.24.2. Lomadas

Estas Unidades morfológicas presentan formas cóncavas, con pequeñas elevaciones, homogéneas y de pendientes suaves (8° - 20°).

2.2.24.3. Laderas

Se caracterizan por superficies inclinadas y heterogéneas, con inclinaciones que están comprendidas entre los 20 ° a 50 °.

2.2.24.4. Escarpas

Son pendientes pronunciadas del terreno mayor a 50°. Por la disposición de sus estratos con respecto al talud y el grado de meteorización, son zonas críticas con tendencia a una mayor inestabilidad y las rocas producirán deslizamientos, volteos y derrumbes si son alteradas en su geo ambiente natural.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICO

Caliza

La caliza es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO_3), generalmente calcita, aunque frecuentemente presenta trazas de magnesita (MgCO_3) y otros carbonatos. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo. Reacciona con efervescencia en presencia de ácidos tales como el ácido clorhídrico (Dávila, 2000).

Métodos de explotación minera

La elección del método de explotación depende del tipo de yacimientos a explotar y que están directamente relacionados con la naturaleza y extensión del impacto. Se utilizan tres métodos principales: Minería a cielo abierto o minería superficial, minería subterránea y minería por lavado y dragado (Luque, 2017).

Dilución minera

La dilución se refiere a la cantidad de material estéril o de baja ley que se mezcla con el mineral que se quiere extraer. La dilución se choca contra uno de los pasos fundamentales a la hora de llevar a cabo un proyecto minero: la planificación (Luque, 2017).

Oxido de calcio

Es un compuesto químico que contiene calcio y oxígeno en formas iónicas. Se le conoce como cal, palabra que designa a todo compuesto inorgánico que contiene carbonatos, óxidos e hidróxidos de calcio, además de otros metales tales como silicio, aluminio y hierro (Dávila, 2000).

Cantera

Se refiere a las explotaciones de rocas industriales, ornamentales y de materiales de construcción. Constituyen el sector más importante en cuanto a número, ya que desde la antigüedad se han venido explotando para la extracción y abastecimiento de materias primas con uso final en la construcción y en obras de infraestructura (Trigueros, 2013).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Política

El área de investigación, Geográficamente, se ubica en el Centro Poblado de Sangal, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca y a una altura promedio de 3010 m.s.n.m.

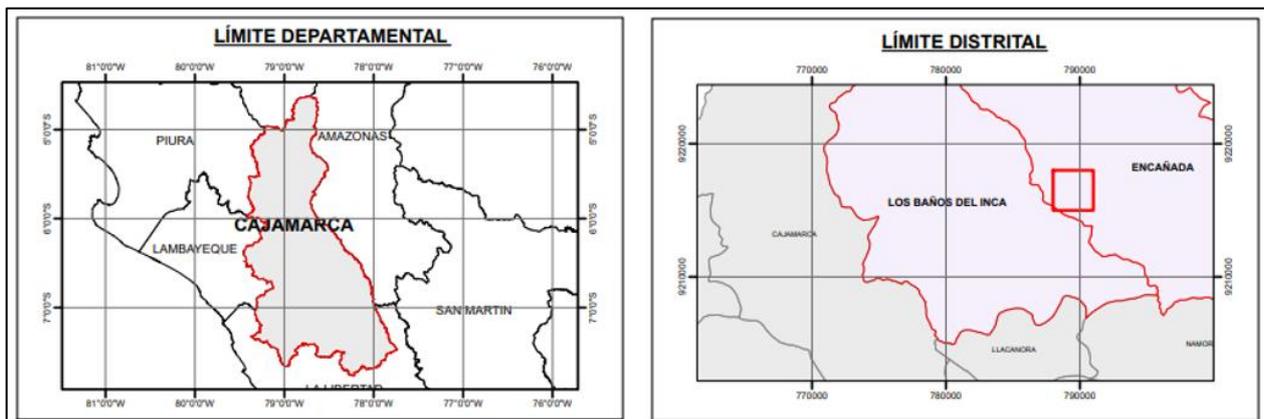


Figura 16. Ubicación del Área de Estudio

3.1.2. Geográfica

El área de investigación se encuentra delimitada en el sistema UTM. WGS 84, zona 17s dentro de las siguientes coordenadas:

Tabla 5. Coordenadas del Área de estudio

VÉRTICE	ESTE	NORTE
A	788000	9218000
B	791000	9218000
C	791000	9215000
D	788000	9215000

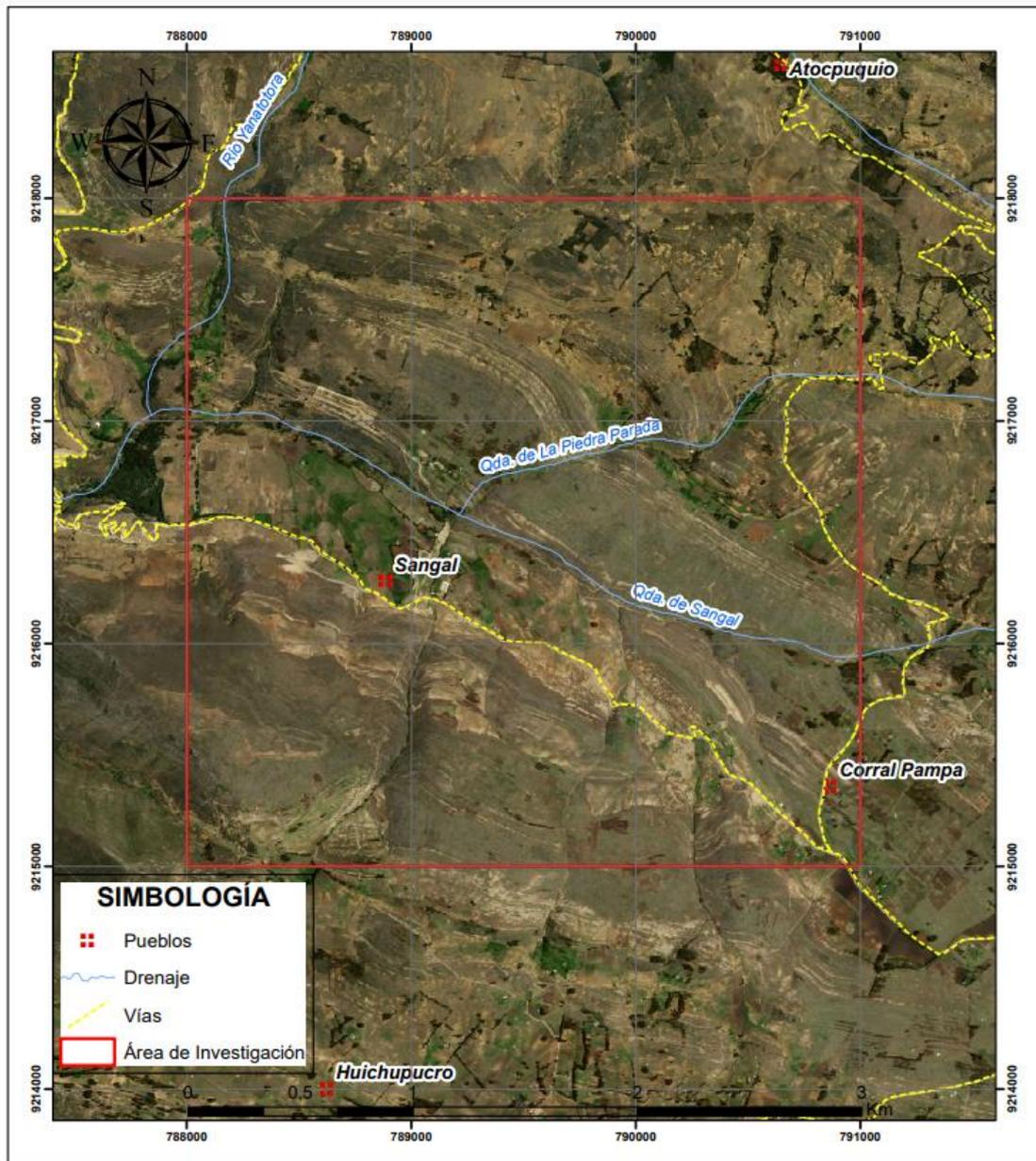


Figura 17. Ubicación Geográfica del C.P. Sangal

3.2. ACCESIBILIDAD

Para acceder a la zona de estudio, se toma la carretera asfaltada Cajamarca – Otuzco, para posteriormente seguir la carretera no asfaltada Otuzco – Sangal.

Tabla 6. Acceso a la Zona de Estudio

Tramo	Distancia (Km)	Tiempo (min)	Condición
Cajamarca - Otuzco	10	30	Asfaltada
Otuzco - Sangal	15	50	Trocha
Cajamarca- Sangal	25	80	Asfaltada- trocha

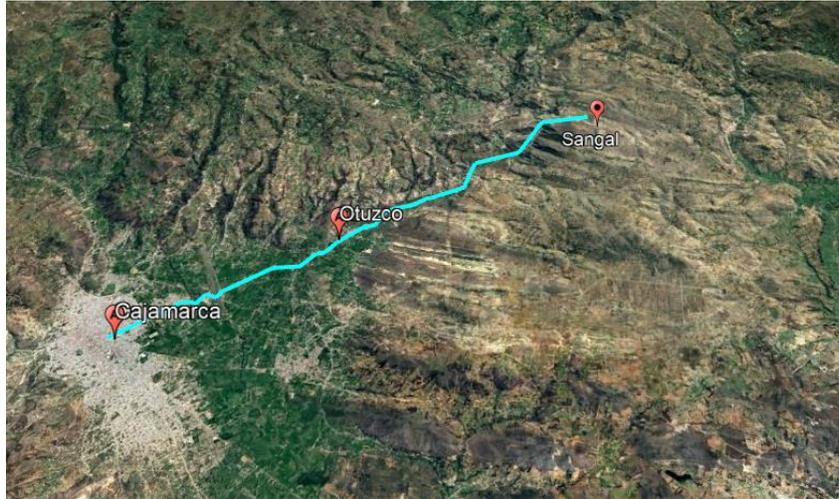


Figura 18. Vía de acceso al Área de Estudio
Fuente: Google Earth, (2023).

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 exploratorio, correlacional

3.3.1.2. Nivel de investigación

De carácter cualitativo y cuantitativo

3.3.1.3. Diseño de investigación

De sección transversal pues se estudia en un momento determinado de tiempo.

3.3.1.4. Método de investigación

De carácter cuantitativo y analítico.

3.3.2. Población de estudio

La Formación Cajamarca del Cretácico Superior de la localidad Sangal.

3.3.3. Muestras

Se analizarán 08 muestras calizas de la Formación Cajamarca

3.3.4. Unidad de análisis

Está conformada por las rocas Calizas de la Formación Cajamarca que afloran en la Centro Poblado de Sangal.

3.3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.5.1. Técnicas

Esta investigación se realizó teniendo en cuenta en su parte inicial una recopilación bibliográfica. Luego se efectuaron salidas al campo con la finalidad de realizar la recolección de muestras para el análisis químico respectivo. También se efectuaron medidas en campo para determinar el tipo de método de explotación que se deba aplicar. Finalmente, se elaboró los mapas geológicos, de pendientes, perfiles, etc, y de esta manera se procesaron los datos para su interpretación final.

3.3.5.2. Instrumentos y equipos

a. GPS Navegadorio

Es un sistema de navegación basado en 24 satélites (21 operativos y 3 de respaldo), en órbita sobre el planeta tierra que envía información sobre la posición de una persona u objeto en cualquier horario y condiciones climáticas.

b. Brújula tipo Brunton

Instrumento que nos ayuda obtener la dirección de estructuras geológicas consistentes en rumbos y buzamientos de los estratos, fallas y dirección del flujo en las rocas volcánicas y sedimentarias.

c. Picota del geólogo

Se utiliza para obtener una superficie fresca de una roca con el fin de determinar su composición, su naturaleza, la mineralogía.

d. HCl diluido

Es una disolución acuosa de cloruro de hidrógeno, en la geología se emplea para identificar carbonatos en las rocas.

e. Protráctor a escala 1/20000

f. 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.

g. Flexómetro de 5 m

Instrumento que sirve para medir longitudes en superficies rectas o curvas.

h. Wincha 30 m

Es una cinta métrica flexible, enrollada dentro de una caja de plástico o metal, que generalmente está graduada en centímetros en un costado de la cinta y en pulgadas en el otro.

i. Libreta de campo

Es una herramienta usada por investigadores de varias áreas para hacer anotaciones cuando ejecutan trabajos de campo.

j. Lupa 40X (40 aumentos)

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

k. Cámara fotográfica digital Marca Canon12Mp

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

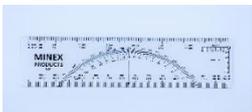
GPS. Navegadorio	Brújula tipo Brunton	Picota del geólogo
		
HCl diluido	Protáctor a escala 1/20000	Wincha 30 m
		
Flexómetro de 5 m	Libreta de campo	Lupa 40X (40 aumentos)
		

Figura 19. Instrumentos y Equipos utilizados en la presente investigación

3.3.6. 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.

3.4. CLIMA

La zona de estudio posee un Clima semiseco, templado y húmedo durante todo el año, que es propio de la región de la sierra, correspondiente a los valles interandinos, en el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 1 °C a 15 °C y la precipitación anual se encuentra por debajo de los 500 mm (SENAMHI, 2022).

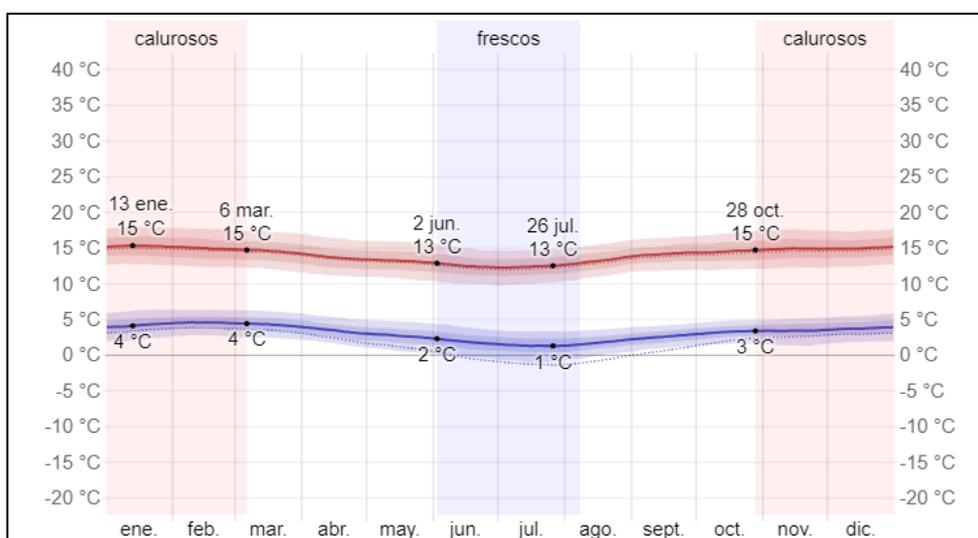


Figura 20. Temperatura Promedio por meses - Estación Encañada.
Fuente: Weather Spark, (2021).

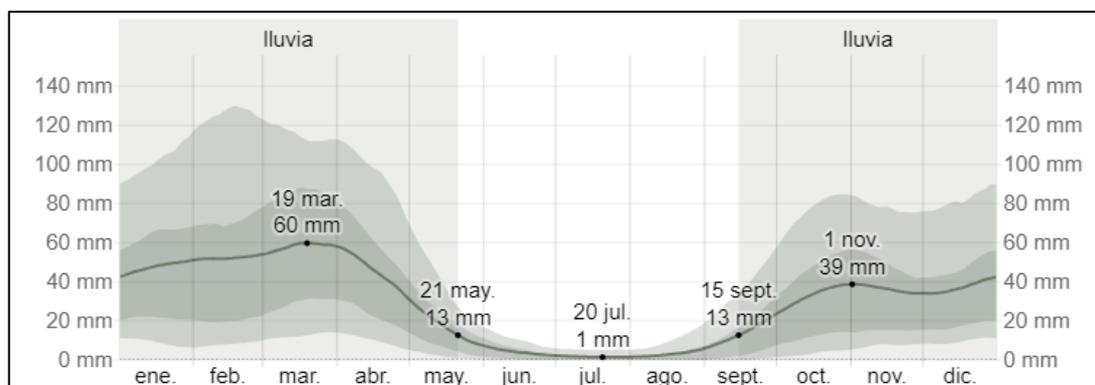


Figura 21. Precipitación Promedio por meses - Estación Encañada
Fuente: Weather Spark, (2021).

3.5. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

En la zona de estudio se presentan una variedad de geoformas las cuales serán descritas siguiendo la clasificación de Rodríguez.

3.5.1. Planicies

Las geoformas que encontramos en la zona de estudio como planicies, tienen un máximo de 5° de pendiente.



Figura 22. Planicie que se observa en el sector SO del Área de Estudio

3.5.2. Lomadas

Las geoformas que encontramos en la zona de estudio como lomadas, presentan una pendiente máxima de 10° .



Figura 23. Lomadas que se observan en el sector SO del área de estudio

3.5.3. Laderas

Las geoformas que encontramos en la zona de estudio como Laderas, presentan una pendiente máxima de 30° .



Figura 24. Ladera que se observan al SO del área de estudio.

3.6. GEOLOGÍA LOCAL

En el área de estudio afloran secuencias sedimentarias calcáreas marinas pertenecientes al Cretácico superior, rocas volcánicas del Cenozoico y depósitos cuaternarios recientes. Las rocas calcáreas están formando parte de ambos flancos del sinclinal Sangal. El eje de este sinclinal posee una orientación NO-SE (orientación andina). Esta estructura se formó como consecuencia de la acción de la Fase Tectónica Incaica. Reyes (1980).

Hacia el sector NO del área de estudio se encuentra aflorando rocas volcánicas Cenozoicas que pertenecen al Volcánico Huambos. Estas rocas volcánicas descansan en discordancia angular sobre las secuencias Cretácicas evidenciando una depositación post- tectónica Incaica.

UNIDADES CRONOESTRATIGRÁFICAS	ERA	PERÍODO	SISTEMA	SERIE	PISO	FORMACIÓN	ESPESOR (m)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	% DETRITOS	AMBIENTE SEDIMENTARIO																			
											EDAD	CONTINENTAL (-)	TRANSICIONAL	MARINO (+)																
UNIDADES GEOCRONOLÓGICAS	ERA	PERÍODO	ÉPOCA	EDAD																										
M. A.	CENOZOICO	NEÓGENO	CUATERNARIO	Holoceno	Versiliano	Dep. fluviales y aluviales Dep. lagunares y glaciares			Arenas, gravas. Limos, arcillas.																					
1.8				Pleistoceno		Formación Condebamba	150		Conglomerados, areniscas y arcillas rojas.																					
				Plioceno		Formación Cajabamba	200		Lutitas, lodolitas, areniscas finas blanco amarillentas.																					
23.0				Mioceno	Serranvaliano	Formación Bambamarca	300		Tobas dacíticas y traquiandesíticas blanquecinas.																					
					Langhiniano																									
					Burdigaliano																									
					Aquitano																									
Eoceno				Oligoceno	Chatiano	Formación Porculla	2100	Grupo Calipuy	Tobas blanco amarillentas intercaladas con areniscas rojizas, conglomerados y piroclastos.																					
					Rupeliano																									
				Priaboniano																										
				Bartoniano																										
				Luteciano																										
				Ypresiano																										
Paleoceno				Formación Chota	500				Conglomerados con cantos de areniscas cuarzosas.																					
																Daniano														
																Maastrichtiano														
																Campaniano														
																Senoniano														
65.5	CRETÁCEO	Superior	Formación Celendín	200		Calizas, margas y lutitas fosilíferas gris amarillentas.																								
													Turoniano	Formación Cajamarca	600 - 700		Calizas macizas gris claras a oscuras de bancos potentes, con intercalación de horizontes de lutitas y margas.													
		Inferior	Cenomaniano	Formación Mujarrún y Grupo Quilquiñán	500			Calizas nodulares macizas, margas y lutitas pardo amarillentas fosilíferas.																						
			Albiano	Gpo. Puliucana	Formación Yumagual	700			Calizas gris parduscas, fosilíferas (exogyra), margas y escasos niveles de lutitas. Hacia el piso con horizontes de chert y calizas nodulares.																					
																Formación Pariatambo	150 - 200													
				Gpo. Crisnejas	Formación Chulec	200 - 250				Calizas bituminosas, intercaladas con lutitas grises de estratificación delgada.																				
Formación Inca	150																													
Neocomiano	Grupo Goyllarisquiza	Formación Farrat	500			Areniscas cuarzosas blanquecinas de bancos potentes y horizontes litarenosas.																								
													Barremiano	Formación Carhuaz	500		Areniscas rojizas y areniscas cuarzosas intercaladas con horizontes de lutitas grises.													
													Hauteriviano																	
													Valanginiano										Formación Santa	100 - 150		Lutitas grises y calizas margosas.				
													Beresiano										Formación Chimú	80 - 600						
145.5																														

Figura 25. Columna estratigráfica de la zona de estudio

Fuente: Herrera, (2012).

3.6.1. Cretácico Superior

3.6.1.1. Formación Yumagual (Ks-yu)

La Formación Yumagual consta de calizas mudstone, packstone y margas de coloración gris marrón a gris claras. Los estratos mayormente son gruesos que llegan a veces a los 80cm. Se encuentran buzando al NE en el flanco occidental y buzando al SO en el flanco oriental del sinclinal Sangal. Descansa en forma transicional a la Formación Pariatambo y soporta en la misma relación al Grupo Quilquiñán- Mujarrúm.

3.6.1.2. Grupo Quilquiñán y Mujarrúm (Ks-qm)

En el presente estudio se considera como una sola unidad litoestratigráfica, como Grupo Quilquiñán- Mujarrúm.

La parte inferior de esta unidad consta de calizas gruesas nodulares de color gris amarillento a gris oscuro con gran contenido de fósiles y con intercalaciones de niveles de arcillitas. La parte superior está conformada por una intercalación de calizas delgadas con limoarcillitas y que, en conjunto, alcanza un espesor de más o menos 500 m. sobreyace en forma concordante sobre la Formación Yumagual e infrayace en la misma relación a la Formación Cajamarca.

3.6.1.3. Formación Cajamarca (Ks-ca)

Denominado por Benavides (1956) en la Cuenca Occidental. Litológicamente está conformada por estratos de calizas mayormente mudstone a Packstone. Sus afloramientos destacan por su homogeneidad litológica y ocurrencia en estratos medianos a gruesos. Sus afloramientos exhiben una topografía con fuertes pendientes. Consisten generalmente de calizas color gris claras de grano fino a medio se intercala a veces con niveles de arcillitas calcáreas y margas. Presenta un espesor de 500 m. Sobreyace al Grupo Quilquiñán- Mujarrúm en forma transicional e Infrayace en la misma relación a la Formación Celendín.



Figura 26. Afloramientos de calizas de la Formación Cajamarca

3.6.1.4. Formación Celendín (Ks-ce)

Litológicamente está compuesta por margas de color gris y arcillitas amarillentas, presenta además intercalaciones de calizas margosas nodulosas en capas delgadas. Se caracteriza por contener abundantes fósiles. Representa a la última regresión marina que sucedió en el territorio peruano. Consta de aproximadamente 200 m de grosor. Esta unidad se encuentra sobreyaciendo en forma concordante a la Formación Cajamarca e infrayace en discordancia angular al Volcánico Huambos del Cenozoico.



Figura 27. Afloramientos de calizas de la Formación Cajamarca que se observan al NO de la localidad de Sangal.

3.6.2. Cuaternario

3.6.2.1. Depósitos fluviales

Estos depósitos se ubican a ambos márgenes del río Chonta. Están conformados por arcillas, arenas, gravas. Estos sedimentos se muestran subredondeados a redondeados producto de su gran transporte. Los sedimentos son de naturaleza calcárea, areniscosa y volcánica. Existen varias canteras en donde se extraen estos materiales y que son utilizados en la construcción de sus viviendas.



Figura 28. Depósitos fluviales compuesto por fragmentos de rocas de diversas litologías

CAPÍTULO IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA

Debido a que las Calizas de la Formación Cajamarca poseen un alto contenido de CaCO_3 , según los análisis químicos de las muestras recogidas, su estudio se hace importante para la explotación por Óxido de Calcio. Por lo que para la realización del cálculo de reservas de estas calizas se procedió a utilizar el Método de las Secciones.

Cabe indicar que los afloramientos de Calizas de la Formación Cajamarca se encuentran formando parte del Sinclinal Sangal. El flanco izquierdo posee un buzamiento entre 30 a 40° al NE mientras que el flanco derecho entre 30 a 40° al SO.

De acuerdo al análisis de campo efectuado se ubicaron dos áreas para la realización del cálculo de reservas: el primero ubicado en el flanco occidental del sinclinal Sangal denominado Flanco Izquierdo del Sinclinal (FISS) y el otro en el flanco oriental denominado Flanco Derecho del Sinclinal Sangal (FDSS) que en adelante lo llamaremos yacimientos FISS y FDSS respectivamente. A continuación, se muestran las coordenadas de las orientaciones de los dos yacimientos:

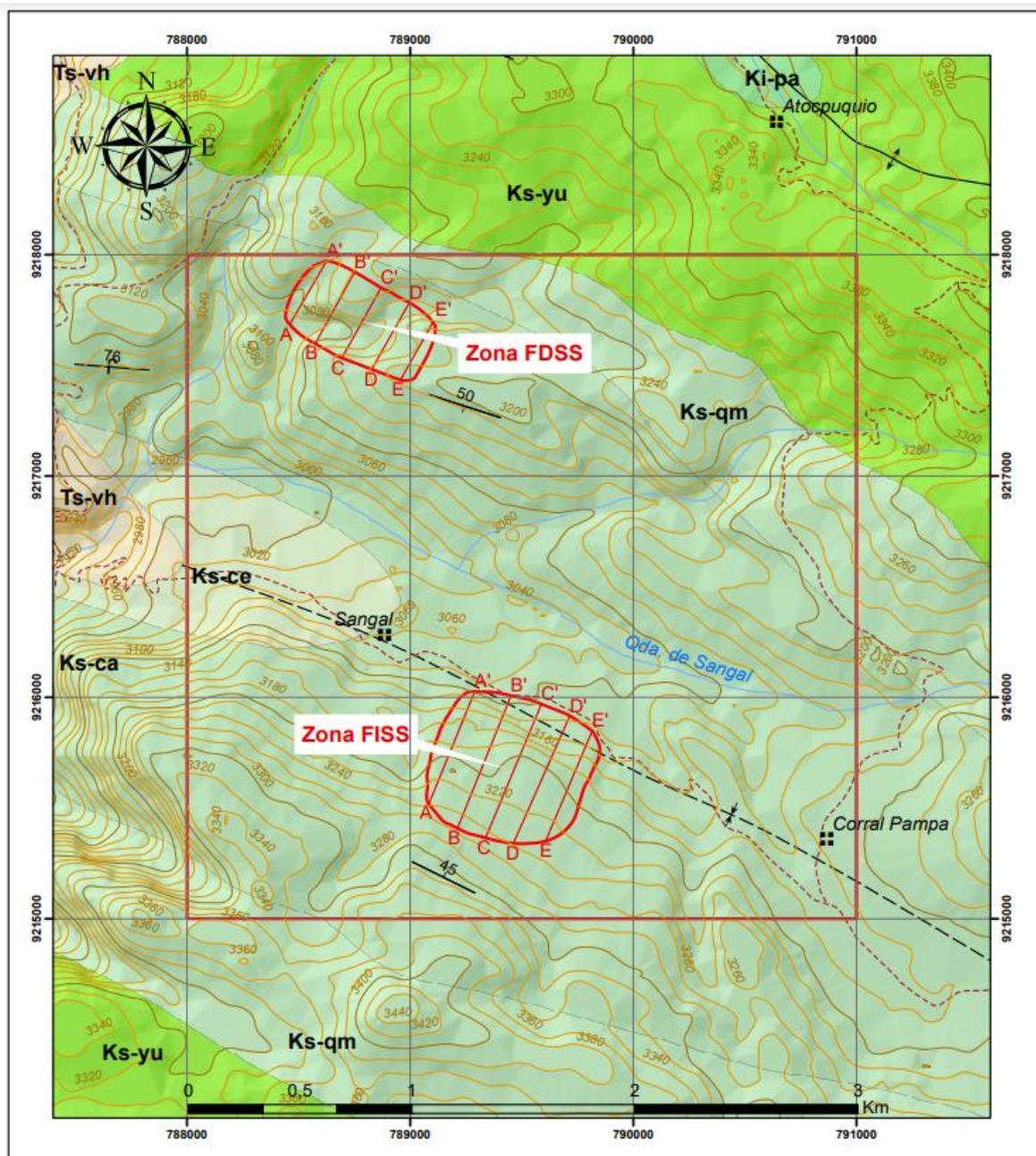


Figura 29. Mapa de ubicación del área de estudio

Tabla 7. Coordenadas de los perfiles del yacimiento FISS

PUNTO	NORTE	ESTE	PUNTO	NORTE	ESTE
A	9215516	789082	A'	9216026	789289
B	9215408	789211	B'	9216007	789451
C	9215365	789337	C'	9215969	789587
D	9215340	789462	D'	9215916	789715
E	9215348	789595	E'	9215848	789815

Tabla 8. Coordenadas de los perfiles del yacimiento FDSS

PUNTO	NORTE	ESTE	PUNTO	NORTE	ESTE
A	9217684	788459	A'	9217970	788625
B	9217598	788574	B'	9217922	788750
C	9217533	788694	C'	9217850	788869
D	9217481	788827	D'	9217783	788996
E	9217434	788956	E'	9217694	789101

4.1.1. Cálculo del área de los yacimientos FISS y FDSS

4.1.1.1. Metodología utilizada

Para el cálculo de reservas se utilizó el Método de las Secciones, que consistió en confeccionar perfiles transversales a la longitud mayor del sector seleccionado. Para ello, cada sector fue dividido en 05 líneas de orientación SO- NE, dichas líneas representan los cortes geológicos.

Dentro de los perfiles construidos se trazaron líneas perpendiculares a las líneas horizontales formándose de esta manera trapecios. Estos trapecios tienen como lado mayor y menor las líneas verticales consecutivas y que coinciden con el eje Y y como altura las líneas horizontales que son paralelas al eje X.

4.1.1.2. Aplicación del castigo del 10% por cobertura cuaternaria

Los afloramientos de calizas de la Formación Cajamarca en el distrito de Sangal están infrayaciendo a una cobertura cuaternaria la cual está compuesta por depósitos arcillosos y arenosos y que podría constituir una dilución al mezclarse con las calizas motivo por el cual se aplicó un castigo de 10%.

4.1.1.3. Aplicación del 80% de confiabilidad

Se aplicó el porcentaje de 80% para yacimientos probados tal como lo sugiere Diehl & David (1982)

Tabla 9. Valores de confianza propuestos por Diehl & David 1982.

Autor	Probado	Probable	Posible	Inferido
Diehl & David	Error: +/- 10% Confi. :>80%	Error: +/-20% Confi. :>60- 80%	Error: +/-40% Confi:>40- 60%	Error: +/-60% Confi:>20- 40%

Fuente: Diehl & David (1982)

4.1.1.4. Cálculo de las áreas totales de los perfiles

Las áreas de los trapecios se calcularon aplicando la siguiente formula:

$$A=(B1+B2) *H/2$$

Donde:

- B1 = lado menor (m)
- B2 = lado mayor (m)
- H = altura (m)

4.1.1.5. Cálculo de volúmenes de los sectores FISS y FDSS

El área de cada perfil se multiplicó por la distancia con respecto al perfil subsiguiente para hallar el volumen. De esta manera se determinaron los volúmenes totales de los sectores FISS y FDSS. Mediante la siguiente formula:

$$V = \sum_{i=1}^n \frac{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}{n} \times l$$

Donde:

- l = longitud del yacimiento en (m)
- An = áreas de cada sección (m²)
- n= número de secciones

Para la realización de los caculos se tuvo el apoyo del software libre de Excel.

4.1.1.6. Cálculo del Tonelaje de los sectores FISS y FDSS

El volumen calculado se multiplicó por la densidad determinada en el laboratorio INGEOPCONSUL & LAB S.R.L.

Para el cálculo de las Toneladas métricas se utilizó la siguiente formula:

$$TM= V*D$$

Donde:

- TM = toneladas métricas (TM)
- V = volumen (m³)
- D = densidad calculada en laboratorio (TM/m³)

4.1.1.7. Cálculo de la cantidad del desmonte

La cantidad de desmonte se obtendrá mediante la diferencia entre las reservas de rocas calizas (TM) y las reservas de CaCO₃ (TM)

4.1.1.8. Elección del Método de cálculo de reservas

Para la realización del cálculo de reservas de las calizas de la Formación Cajamarca se eligió el Método de las Secciones por las siguientes razones:

- Existencia de una continuidad geológica de la Formación Cajamarca y homogeneidad de su afloramiento.
- Una geometría regular de los sectores FISS y FDSS que fueron seleccionados.
- Tipo de yacimiento: yacimiento superficial diseminado.

4.2. CÁLCULO DE LAS ÁREAS DEL YACIMIENTO FISS Y FDSS

A continuación, se realizaron el cálculo de las áreas de los 10 perfiles confeccionados tanto del yacimiento FISS y del FDSS. En estos perfiles la línea roja representa la altura mínima de explotación.

4.2.1. Cálculo de áreas parciales del yacimiento FISS

4.2.1.1. Cálculo de las áreas parciales del perfil A- A' de FISS`

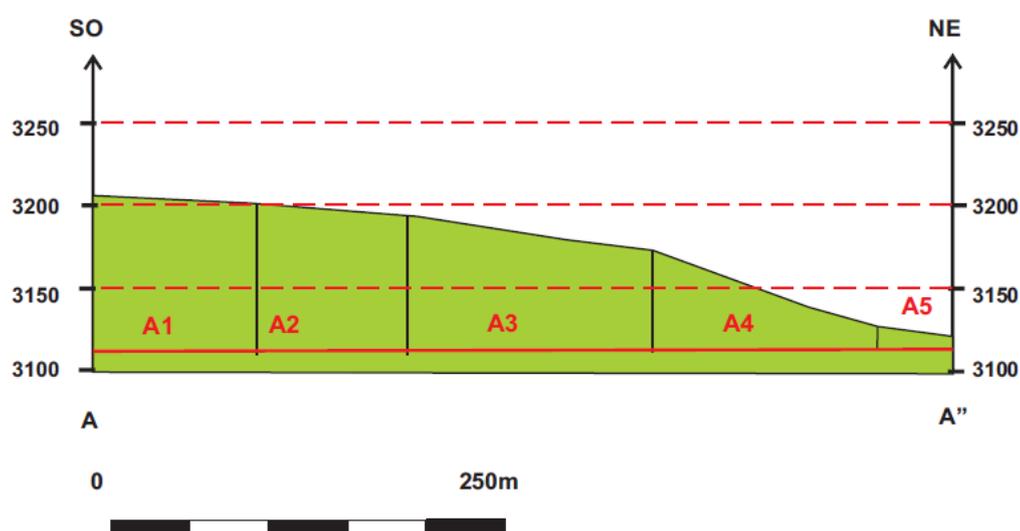


Figura 30. Determinación de las áreas del corte A-A' del yacimiento FISS

Tabla 10. Cálculo de área total del perfil A- A' del yacimiento FISS

Figura	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
A1	98.86	92.19	97.19	9284.07
A2	92.19	84.98	90.53	8019.6
A3	84.98	66.09	148.85	11243.38
A4	66.09	17.22	137.18	5714.23
A5	17.22	14.44	45.54	720.9
Total				34982.19

4.2.1.2. Cálculo de áreas parciales del perfil B- B' de FISS

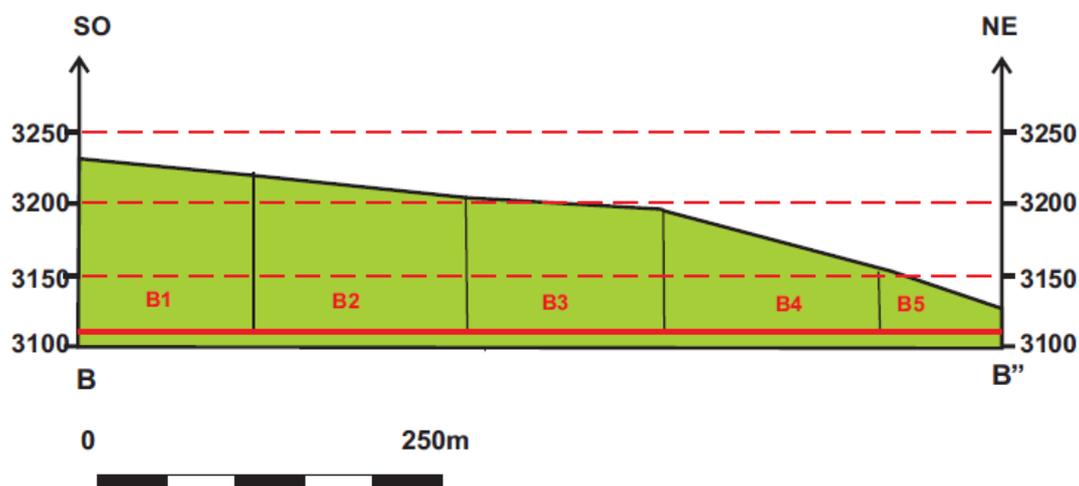


Figura 31. Determinación de las áreas del corte B-B' del yacimiento FISS

Tabla 11. Cálculo de área total del perfil B- B' del yacimiento FISS

Figura	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
B1	130.52	111.64	118.3	14323.76
B2	111.64	94.97	147.74	15262.28
B3	94.97	84.98	136.63	12293.28
B4	84.98	42.21	149.4	9501.09
B5	42.21	9.44	17.77	458.91
Total				51839.33

4.2.1.3. Cálculo de áreas parciales del perfil C-C' de FISS

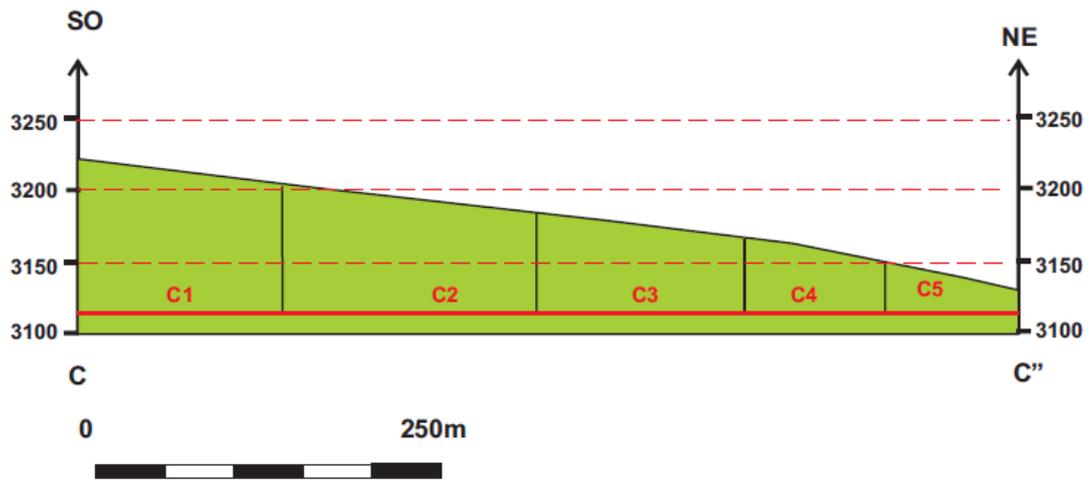


Figura 32. Determinación de las áreas del corte C-C' del yacimiento FISS

Tabla 12. Cálculo de área total del perfil C- C' del yacimiento FISS

Figura	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
C1	107.19	87.75	169.39	16510.44
C2	87.75	64.43	176.06	13396.41
C3	64.43	52.76	143.84	8428.3
C4	52.76	34.43	97.2	4237.43
C5	34.43	17.22	89.98	2323.73
Total				44896.32

4.2.1.4. Cálculo de áreas parciales del perfil D- D' de FISS

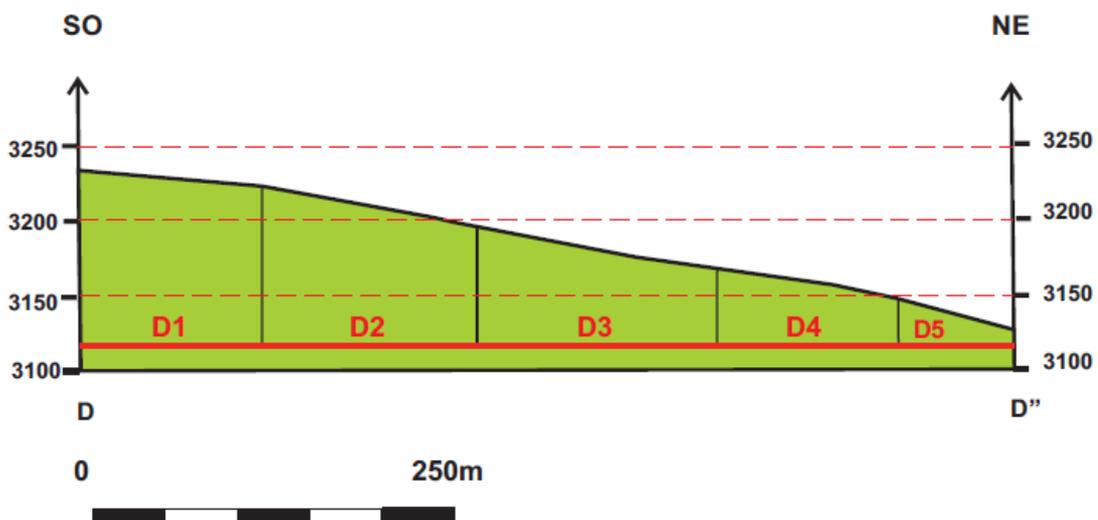


Figura 33. Determinación de las áreas del corte D-D' del yacimiento FISS

Tabla 13. Cálculo de área total del perfil D- D' del yacimiento FISS

Figura	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
D1	119.97	106.08	120.52	13621.77
D2	106.08	79.42	141.07	13084.24
D3	79.42	51.09	158.84	10365.1
D4	51.09	31.66	119.41	4940.59
D5	31.66	12.77	12.77	283.69
Total				42295.39

4.2.1.5. Cálculo de áreas parciales del perfil E- E' de FISS

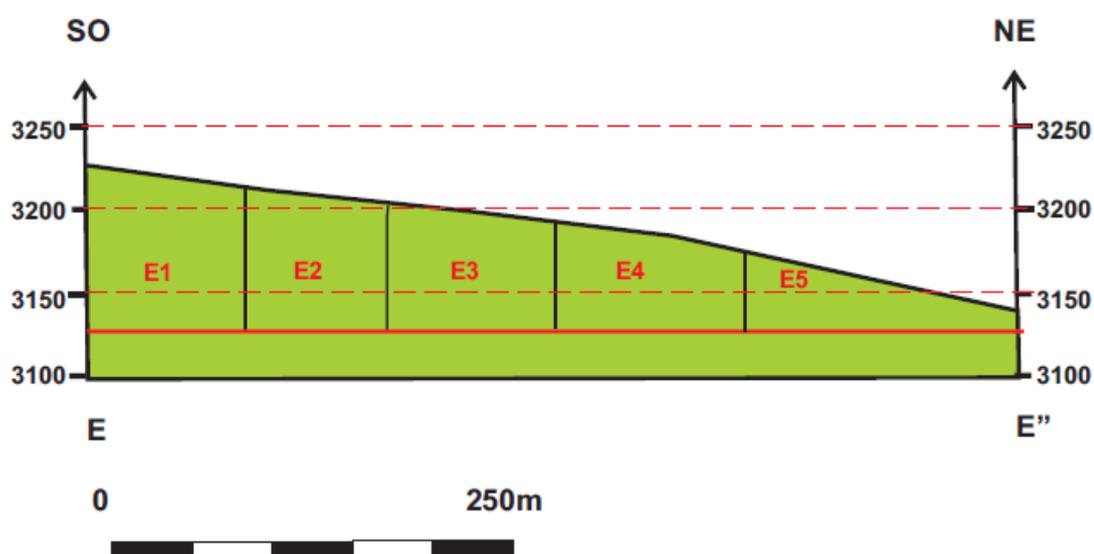


Figura 34. Determinación de las áreas del corte E-E' del yacimiento FISS

Tabla 14. Cálculo de área total del perfil E- E' del yacimiento FISS

Figura	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
E1	99.42	86.64	94.42	8783.89
E2	86.64	72.2	84.98	6749.11
E3	72.2	63.87	98.86	6725.94
E4	63.87	33.88	112.19	5483.29
E5	33.88	16.66	161.06	4069.99
Total				31812.22

4.2.2. Cálculo de áreas parciales del yacimiento FDSS

4.2.2.1. Cálculo de áreas parciales del perfil A- A' de FDSS

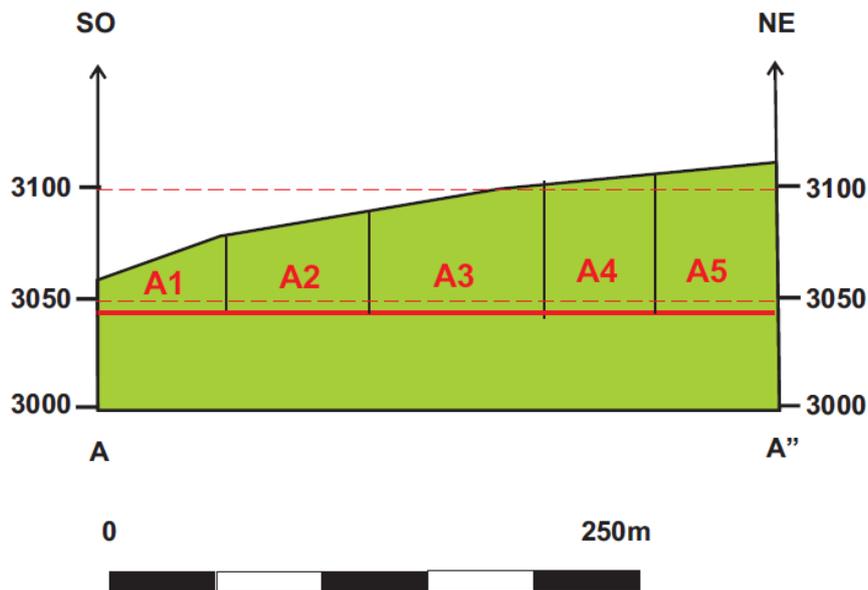


Figura 35. Determinación de las áreas del corte A-A' del yacimiento FDSS

Tabla 15. Cálculo de área total del perfil A- A' del yacimiento FDSS

Figura	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
A1	40.51	27.21	58.32	1974.72
A2	45.54	40.51	64.42	2771.67
A3	61.65	45.54	76.65	4108.06
A4	63.31	61.65	51.65	3227.09
A5	68.31	63.31	55.54	3655.09
Total				15736.62

4.2.2.2. Cálculo de áreas parciales del perfil B-B' de FDSS

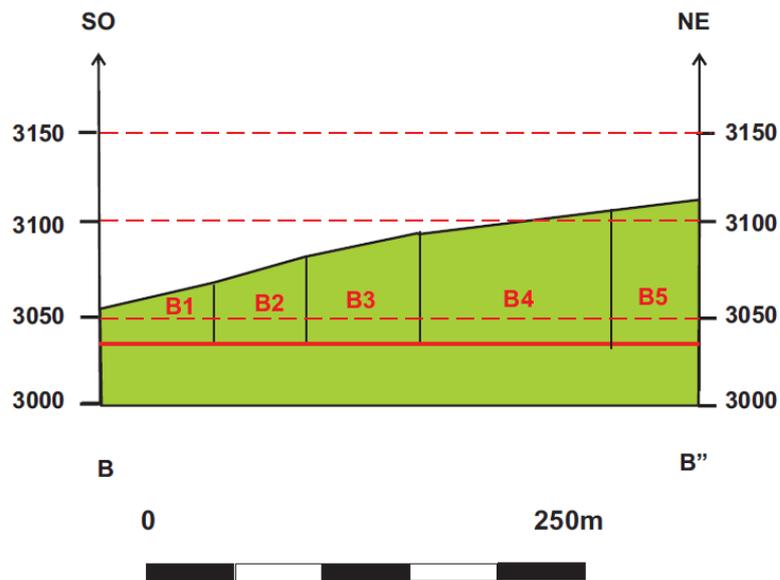


Figura 36. Determinación de las áreas del corte B-B' del yacimiento FDSS

Tabla 16. Cálculo de área total del perfil B- B' del yacimiento FDSS

Figura	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
B1	19.95	38.54	62.2	1819.04
B2	47.21	19.95	49.99	1678.66
B3	59.98	47.21	61.65	3304.13
B4	76.65	59.98	102.75	7019.37
B5	81.09	76.65	47.76	3766.83
Total				17588.03

4.2.2.3. Cálculo de áreas parciales del perfil C- C' de FDSS

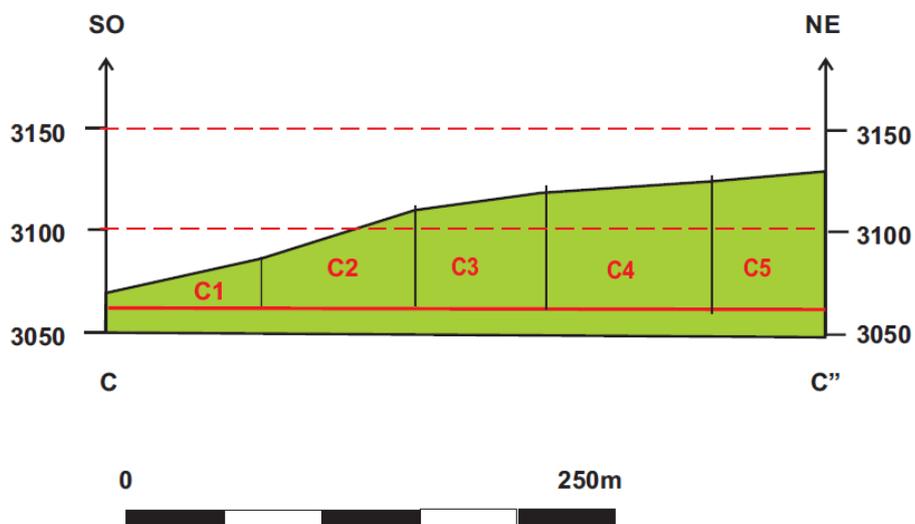


Figura 37. Determinación de las áreas del corte C-C' del yacimiento FDSS

Tabla 17. Cálculo de área total del perfil C- C' del yacimiento FSSS

Figura	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
C1	28.33	9.44	74.42	1,405.42
C2	49.43	28.33	74.98	2,915.22
C3	60.54	49.43	63.87	3,511.89
C4	69.43	60.54	81.08	5,268.98
C5	95.53	69.43	54.98	4,534.75
Total				17636.27

4.2.2.4. Cálculo de áreas parciales del perfil D- D' de FDSS

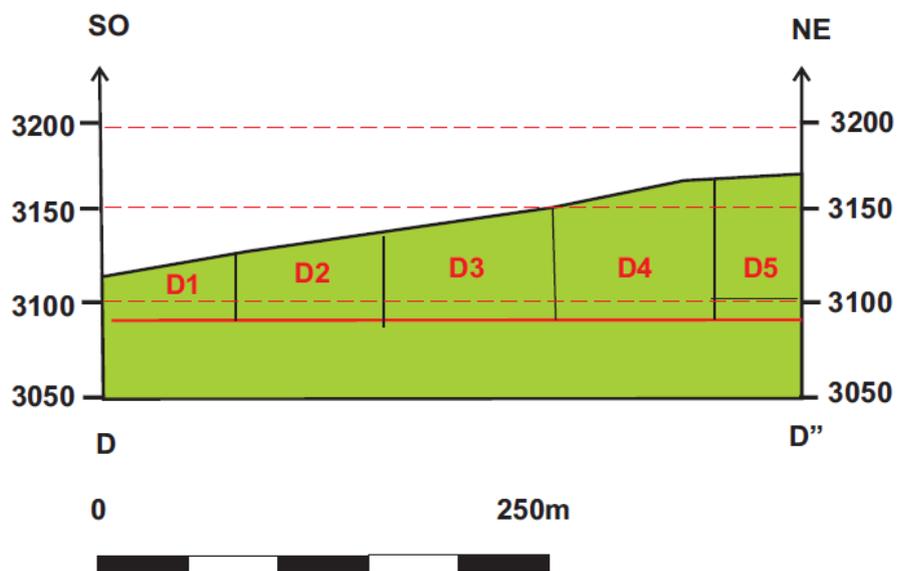


Figura 38. Determinación de las áreas del corte D-D' del yacimiento FDSS

Tabla 18. Cálculo de área total del perfil D- D' del yacimiento FDSS

Figura	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
D1	36.65	19.99	70.54	1997.69
D2	47.76	36.65	79.97	3375.13
D3	59.98	47.76	89.76	4835.37
D4	74.98	59.98	84.98	5734.45
D5	74.99	74.98	44.99	3373.58
Total				19316.22

4.2.2.5. Cálculo de áreas parciales del perfil E- E' de FDSS

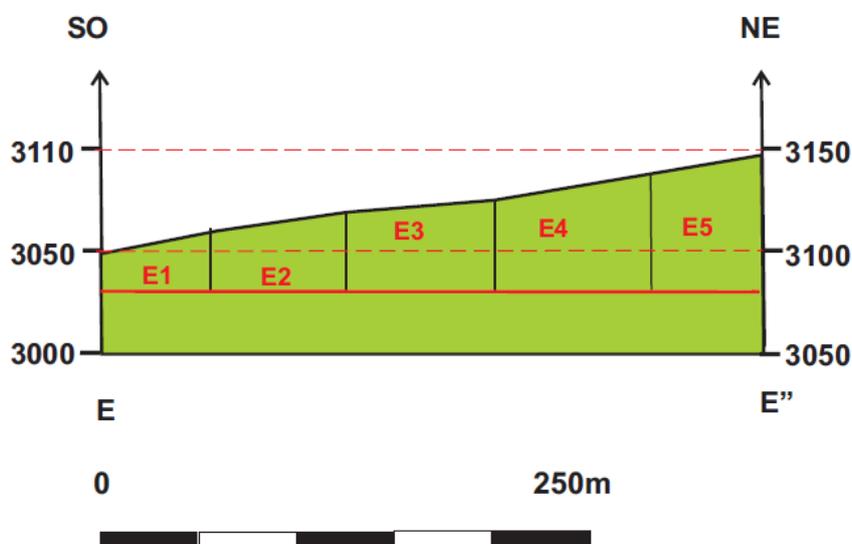


Figura 39. Determinación de las áreas del corte E-E' del yacimiento FDSS

Tabla 19. Cálculo de área total del perfil E- E' del yacimiento FDSS

Figura	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
E1	30.55	16.66	50.54	1192.99
E2	38.88	30.55	66.09	2294.31
E3	44.99	38.88	69.98	2934.61
E4	56.65	44.99	78.31	3979.71
E5	68.31	56.65	53.87	3365.79
Total				13767.43

4.2.3. Cálculo de reservas de los yacimientos FDSS y FISS

Después de calcular las áreas de las secciones de cada yacimiento se procedió de a calcular el volumen

4.2.3.1. Cálculo de volumen del yacimiento FDSS

El cálculo del volumen se logra multiplicando las áreas de cada perfil por la distancia que hay entre ellas tal como se muestra a continuación:

Tabla 20. Cálculo del volumen entre las secciones A - A' y B - B' del yacimiento FDSS

Secciones	A - A' y B - B'
Área de sección A - A'	15736.62
Área de sección B - B'	17588.03

Distancia entre A y B (m)	128.15
Volumen (m³)	2,135,276.95

Tabla 21. Cálculo del volumen entre las secciones B - B' y C - C' del yacimiento FDSS

Secciones	B -B' y C - C'
Área de sección B -B'	17588.03
Área de sección C - C'	17636.27
Distancia entre B y C (m)	142.74
Volumen (m³)	2,513,958.29

Tabla 22. Cálculo del volumen entre las secciones C -C' y D - D' del yacimiento FDSS

Secciones	C -C' y D - D'
Área de sección C -C'	17636.27
Área de sección D - D'	19316.22
Distancia entre C y D (m)	140.51
Volumen (m³)	2,596,097.18

Tabla 23. Cálculo del volumen entre las secciones D -D' y E - E' del yacimiento FDSS

Secciones	D -D' y E -E'
Área de sección D- D'	19316.22
Área de sección E - E'	13767.43
Distancia entre D y E (m)	137.18
Volumen (m³)	2,269,207.55

Tabla 24. Volumen total del yacimiento FDSS

Secciones	Volumen (m³)
A - A' y B - B'	2135276.95
B - B' y C - C'	2513958.29
C - C' y D - D'	2596097.18
D - D' y E - E'	2269207.55
Total	9514539.97

4.2.3.2. Cálculo de reservas (TM) del yacimiento FDSS

Se calculo aplicando la siguiente formula:

$$\text{Reservas (TM)} = \text{Volumen total (m}^3\text{)} * \text{Densidad (TM/m}^3\text{)}$$

$$\text{Reservas (TM)} = 9514539.97 \text{ m}^3 * 2.55 \text{ TM/m}^3$$

$$\text{Reservas (TM)} = 24262076.92 \text{ TM}$$

Tabla 25. Cálculo de reservas (TM) del yacimiento FDSS

Volumen (m³)	Densidad (TM/m³)	Reservas (TM)
9514539.97	2.55	24262076.92

4.2.3.3. Cálculo de volumen del yacimiento FISS**Tabla 26.** Cálculo del volumen entre las secciones A - A' y B - B' del yacimiento FISS

Secciones	A - A' y B - B'
Área de sección A - A'	36717.2
Área de sección B - B'	51839.33
Distancia entre A y B(m)	161.07
Volumen (m³)	7131900.14

Tabla 27. Cálculo del volumen entre las secciones B - B' y C - C' del yacimiento FISS

Secciones	B -B' y C - C'
Área de sección B -B'	51839.33
Área de sección C - C'	44896.32
Distancia entre B y C(m)	137.18
Volumen (m³)	6635098.23

Tabla 28. Cálculo del volumen entre las secciones C -C' y D - D' del yacimiento FISS

Secciones	C -C' y D - D'
Área de sección C -C'	44896.32
Área de sección D - D'	42295.39
Distancia entre C y D (m)	126.07
Volumen (m³)	5496129.44

Tabla 29. Cálculo del volumen entre las secciones D -D' y E - E' del yacimiento FISS

Secciones	D -D' y E -E'
Área de sección D- D'	42295.39
Área de sección E - E'	31812.22
Distancia entre D y E (m)	126.08
Volumen (m³)	4671743.73

Tabla 30. Volumen total del yacimiento FISS

Secciones	Volumen (m³)
A - A' y B - B'	7131900.14
B - B' y C - C'	6635098.23
C - C' y D - D'	5496129.44
D - D' y E - E'	4671743.73
Total	23934871.54

4.2.3.4. Cálculo de reservas (TM) del yacimiento FISS

Se calculo aplicando la siguiente formula:

$$\text{Reservas (TM)} = \text{Volumen total (m}^3\text{)} * \text{Densidad (TM/m}^3\text{)}$$

$$\text{Reservas (TM)} = 23934871.54 \text{ m}^3 * 2.55 \text{ TM/m}^3$$

$$\text{Reservas (TM)} = 61033922.43 \text{ TM}$$

Tabla 31. Cálculo de Reservas (TM) del yacimiento FISS

Volumen (m³)	Densidad (TM/m³)	Reservas (TM)
23934871.54	2.55	61033922.43

4.2.3.5. Cálculo de reservas diluidas (TM)

Para el cálculo de las reservas diluidas se aplica un castigo del 10% a las reservas totales por la presencia de cobertura cuaternaria.

Tabla 32. Reservas totales con castigo de 10% por cobertura vegetal

Yacimientos	Volumen Total (m³)	Densidad (TM/m³)	Reservas Totales (TM)	Dilución 10%	Reservas diluidas (TM)
FISS	23934871.54	2.55	61033922.43	0.90	54930530.19
FDSS	9514539.97	2.55	24262076.92	0.90	21835869.23
Total			85295999.35		76766399.42

Aplicando el 80 % de confianza para reservas probables propuesto por Diehl & David (1982)

Tabla 33. Aplicación del 80% de confianza

Yacimientos	Reservas diluidas	% confianza de Diehl (1982) para Reservas probadas	Reservas (TM)
FISS	54930530.19	0.8	43944424.20
FDSS	21835869.23	0.8	17468695.40
Total	76766399.42		61413119.60

4.2.3.6. Cálculo de los desmontes (TM) de los yacimientos FISS y FDSS

Para determinar la cantidad de desmote en TM de los yacimientos FISS y FDSS se restan las reservas en TM de roca caliza y las reservas de CaCO₃ obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 34. Cálculo de los desmontes de los yacimientos FDSS y FISS

Yacimiento	Reservas (TM)	% CaCO ₃	TM de CaCO ₃	Desmote (TM)
FISS	43944424.15	0.9589	42138308.31	1806115.83
FDSS	17468695.38	0.9425	16464245.40	1004449.98
Total	61413119.53		58602553.71	2810565.81

4.3. CÁLCULO DE LA VIDA ÚTIL DE LOS YACIMIENTOS FDSS Y FISS

Para una futura explotación de las calizas de la Formación Cajamarca de los yacimientos FDSS y FISS se obtiene la vida útil calculada mediante la siguiente formula:

4.3.1. Vida útil del yacimiento FDSS

$$Vida\ util = \frac{\text{Reservas totales del yacimiento en TM}}{\text{produccion diaria en TM} * 25 \frac{\text{dias}}{\text{mes}} * 12\text{meses} * \text{años}}$$

Datos:

- Reservas calculadas del yacimiento FDSS= 17468695.38 TM
- Reservas calculadas del yacimiento FISS= 43944424.15 TM
- Producción diaria estimada a futuro = 1500TM/día
- Días trabajados por mes a futuro= 25 días al mes

$$Vida\ util\ de\ FDSS = \frac{17468695.38\ TM}{1500\ TM * 25 \frac{\text{dias}}{\text{mes}} * 12\ \text{meses/año}}$$

$$Vida\ util\ de\ FDSS = \frac{17468695.38\ TM}{450000\ TM/año}$$

$$Vida\ util\ de\ FDSS = 38.82\ \text{años}$$

4.3.2. Vida útil del yacimiento FISS

$$Vida\ util\ de\ FISS = \frac{43944424.15\ TM}{15000\ TM * \frac{25\ dias}{mes} * 12\ meses}$$

$$Vida\ util\ de\ FISS = \frac{43944424.15\ TM}{450000\ TM/año}$$

$$Vida\ util\ de\ FISS = 97.65\ años$$

4.4. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO

La determinación de la calidad de los macizos rocosos de los yacimientos FDSS y FISS se realizó mediante la utilización del RQD y RMR. El RMR requiere del valor del RQD y de la Resistencia a la Compresión Uniaxial (RCU). Para la determinación de la RCU se utilizó el martillo de Schmidt.

4.4.1. Resistencia a la compresión uniaxial (RCU)

La determinación de la resistencia a la compresión uniaxial de los yacimientos FDSS y FISS fue mediante la utilización del martillo de Schmidt CONTROLS, tipo L, Modelo 45- 561.



Figura 40. Martillo de Schmidt CONTROLS, tipo L, Modelo 45- 561

4.4.1.1. Número de Rebotes (NR)

Se realizaron 05 rebotes para cada estación, en posición diagonal hacia abajo. Cada rebote proporciona un valor, este valor es llevado al ábaco para la determinación de la RCU.

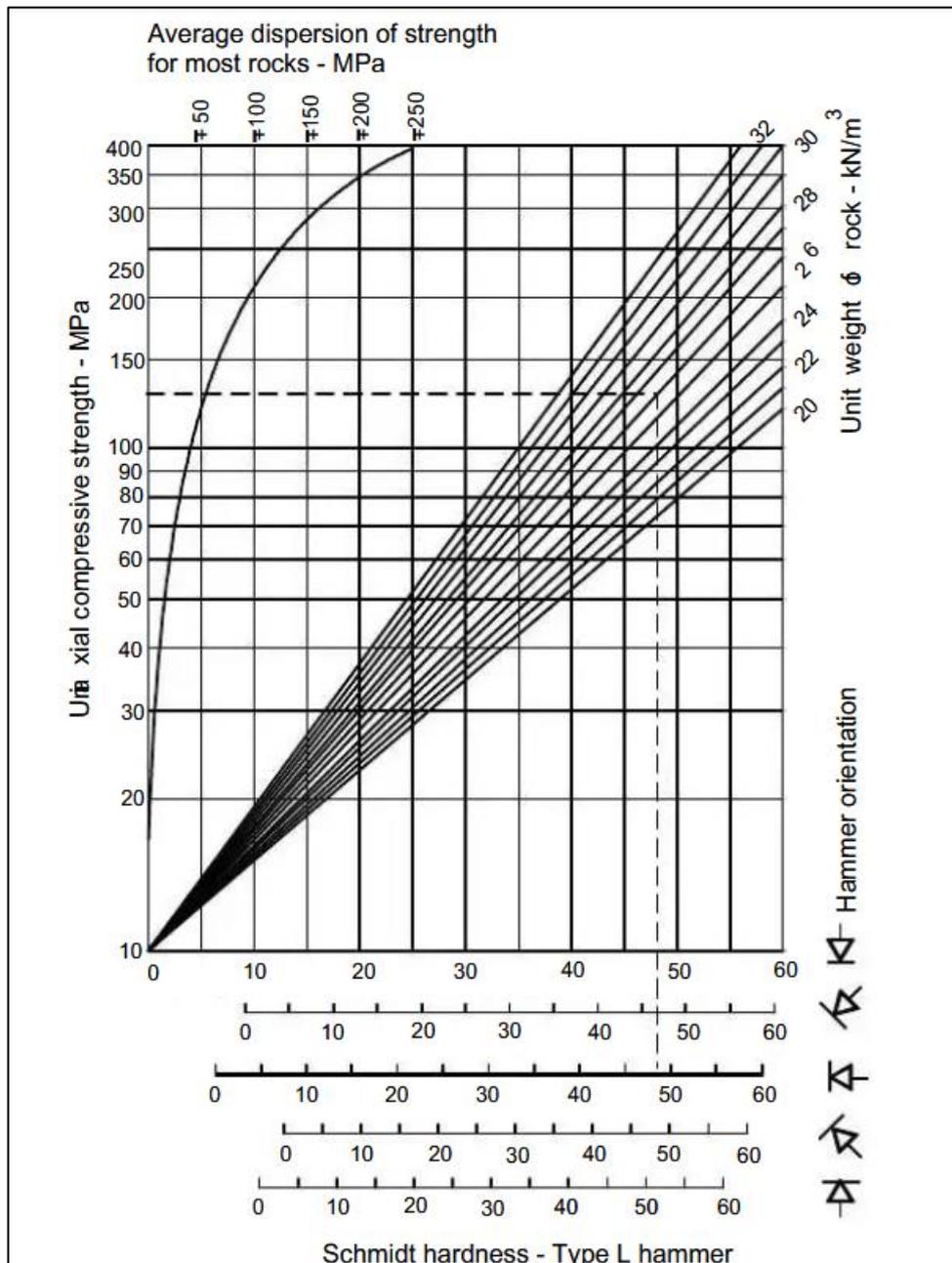


Figura 41. Gráfico de Miller para la determinación del RCU

4.4.1.2. Determinación de RCU de macizo rocoso del FDSS

La RCU se ha determinado mediante el promedio de las 05 lecturas obtenidas del ábaco dando un valor de 109.2MPa.

4.4.1.3. Determinación de RCU de macizo rocoso del FISS

La RCU se ha determinado mediante el promedio de las 05 lecturas obtenidas del ábaco dando un valor de 108.2MPa.

Tabla 35. Cálculo del promedio del valor de la RCU del macizo rocoso del yacimiento FDSS.

Ubicación							N° de rebotes	Cálculos realizados	
Sangal							5		
Macizo rocoso			Martillo de Schmidt			Ensayo de campo	División del intervalo del ábaco		RCU Promedio
Estación	Litología	Peso específico (KN/m3)	Tipo	Fecha	Orientación	Numero de rebotes	RCU		
EG-01 FDSS	Calizas Fm. Cajamarca	26	L	15/10/2024	Diagonal hacia abajo	43	106		109.2
					Diagonal hacia abajo	47	112		
					Diagonal hacia abajo	46	110		
					Diagonal hacia abajo	45	108		
					Diagonal hacia abajo	46	110		

Tabla 36. Cálculo del promedio del valor de la RCU del macizo rocoso del yacimiento FISS.

Ubicación							N° de rebotes	Cálculos realizados	
Sangal							5		
Macizo rocoso			Martillo de Schmidt			Ensayo de campo	División del intervalo del ábaco		RCU Promedio
Estación	Litología	Peso específico (KN/m3)	Tipo	Fecha	Orientación	Numero de rebotes	RCU		
EG-02 FISS	Calizas Fm. Cajamarca	26	L	15/10/2024	Diagonal hacia abajo	45	108		108.2
					Diagonal hacia abajo	43	106		
					Diagonal hacia abajo	46	110		
					Diagonal hacia abajo	44	107		
					Diagonal hacia abajo	46	110		

4.4.2. Determinación del RQD

El cálculo del RQD se realizó mediante la siguiente fórmula:

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

$$\text{Donde: } \lambda = \frac{\text{N}^\circ \text{ discontinuidades}}{\text{longitud total del macizo rocoso}}$$

4.4.2.1. RQD de la EG- 01 del yacimiento FDSS

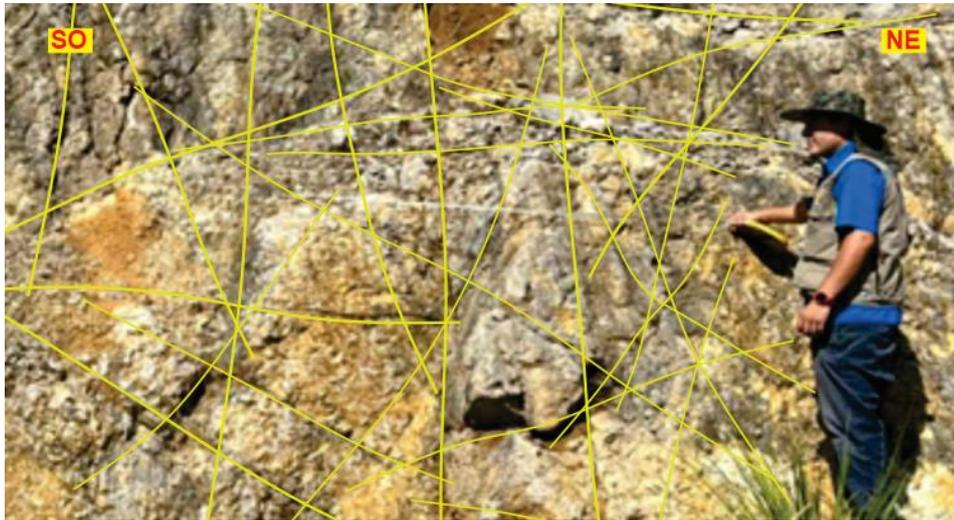


Figura 42. Macizo rocoso del yacimiento FDSS. Estación EG – 01.

Tabla 37. Cálculo del RQD de la EG- 01 del yacimiento FDSS

N.º de disc.	Long. (m)	λ	$e^{(-0.1*\lambda)}$	$(0.1*\lambda)+1$	RQD
22	1.6	13.75	0.29	1.375	59.37
Calidad de la roca (75- 50)					Regular

Tabla 38. Calidad del macizo rocoso de la EG- 01 del yacimiento FDSS

RQD (%)	Calidad de la roca
100-90	Muy buena
90-75	Buena
75-50	Mediana
50-25	Mala
25-0	Muy mala

Fuente: Deere, (1967).

4.4.2.2. RQD de la EG- 02 del yacimiento FISS

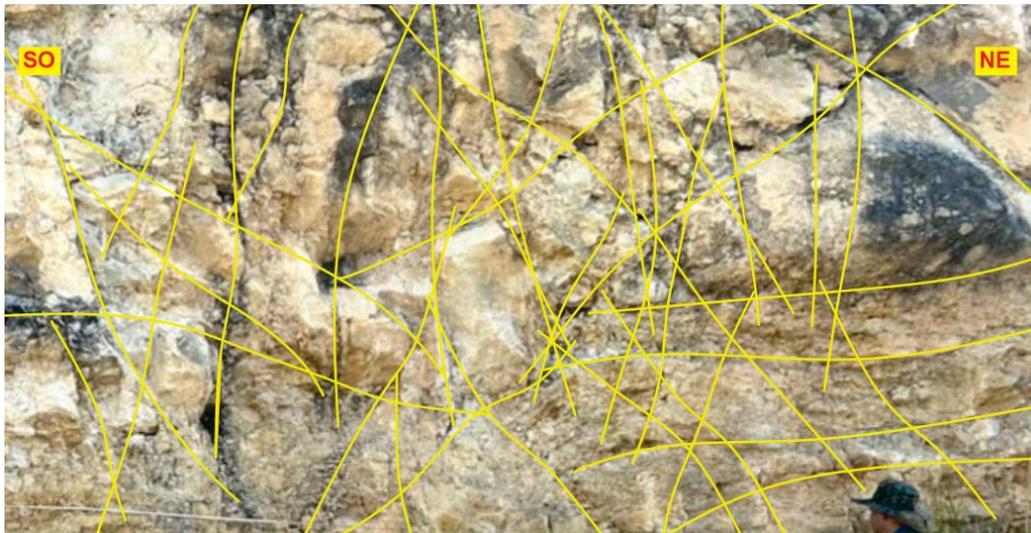


Figura 43. Macizo rocoso del yacimiento FISS. Estación EG – 02.

Tabla 39. Cálculo del RQD de la EG - 02 del yacimiento FISS

Nº de disc.	Long. (m)	λ	$e^{(-0.1*\lambda)}$	$(0.1*\lambda)+1$	RQD
23	1.6	14.38	0.24	2.438	58.5
Calidad de la roca (75- 50)					Regular

Tabla 40. Calidad del macizo rocoso de la EG - 02 del yacimiento FISS

RQD (%)	Calidad de la roca
100-90	Muy buena
90-75	Buena
75-50	Mediana
50-25	Mala
25-0	Muy mala

Fuente: Deere, (1967).

4.4.3. Determinación del RMR

4.4.3.1. Determinación del RMR de la EG- 01 FDSS

En la siguiente tabla se representa la valoración del RMR del macizo rocoso de la EG- 01 del yacimiento FDSS.

Tabla 41. Cálculo del RMR del macizo rocoso del yacimiento FDSS

A. Parámetros de clasificación con sus valores								Valor	
Parámetros		Rango de valores							
Resistencia de la roca intacta	Índice Resistencia Carga Puntual (MPa)	> 10	4-10	2 -4	1 -2	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión (MPa)			
	Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1	
1	Puntaje	15	12	7	4	2	1	0	12
	RQD	90-100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			
2	Puntaje	20	17	13	8	3			13
3	Espaciado del estrato	> 2 m	0.6 - 2 m	200- 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			
	Puntaje	20	15	10	8	5			10
B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades (Promedio del Estrato y discontinuidades)									
4	Longitud (Persistencia) (m)	< 1	1 -3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m			
	puntaje	6	4	2	1	0			4
	Separación (abertura)	Cerrada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1- 5mm	> 5 mm			
	Puntaje	6	5	4	1	0			4
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Superficies pulidas			
	Puntaje	6	5	3	1	0			3
	Relleno	Ninguno	duro < 5 mm	duro > 5 mm	Blando < 5mm	Blando > 5 mm			
	Puntaje	6	4	2	1	0			0
	Meteorización	Inalt.	Lig. meteorizada	Mod. meteorizada	Altamente meteorizada	Descompuesta			
	Puntaje	6	5	3	1	0			3
Suma de condición de discontinuidades								14	
5	Agua subterránea	flujo por cada 10m. De longitud del túnel (1/min)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 - 125	> 125		
		(Presión de agua en la diacl.) (Tensión principal mayor o1)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
	Condiciones generales	Completo. seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo			
	puntaje	15	10	7	4	0			10
c. Tipos de macizos determinados a partir de la valuación total									
	Puntaje	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21		70	
	Tipos de rocas	I	II	III	IV	V		II	
	Descripción	Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala		Buena	

Cálculo del RMR= 12+13+10+14+10=59

Tabla 42. Valor del RMR del macizo rocoso del yacimiento FDSS

Clase	Calidad	Calidad de la roca
I	Muy buena	81 - 100
II	Buena	61 - 80
III	Media	41 - 60
IV	Mala	21 - 40
V	Muy mala	< 20

Fuente: Bieniawski, (1989).

4.4.3.2. Determinación del RMR de la EG- 02 FISS

En la siguiente tabla se representa la valoración del RMR del macizo rocoso de la EG- 02 del yacimiento FISS.

Tabla 43. Cálculo del RMR del macizo rocoso del yacimiento FISS

A. Parámetros de clasificación con sus valores								Valor	
Parámetros		Rango de valores							
Resistencia de la roca intacta	Índice Resistencia Carga Puntual (MPa)	> 10	4-10	2-4	1-2	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión (MPa)			
	Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1	
1	Puntaje	15	12	7	4	2	1	0	12
2	RQD	90-100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			
	Puntaje	20	17	13	8	3			13
3	Espaciado del estrato	> 2 m	0.6 - 2 m	200- 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			
	Puntaje	20	15	10	8	5			8
B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades (Promedio del Estrato y discontinuidades)									
4	Longitud (Persistencia) (m)	< 1	1 -3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m			
	puntaje	6	4	2	1	0			4
	Separación (abertura)	Cerrada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1- 5mm	> 5 mm			
	Puntaje	6	5	4	1	0			4
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Superficies pulidas			
	Puntaje	6	5	3	1	0			3
	Relleno	Ninguno	duro < 5 mm	duro > 5 mm	Blando < 5mm	Blando > 5 mm			
	Puntaje	6	4	2	1	0			0
	Meteorización	Inalt.	Lig. meteorizada	Mod. meteorizada	Altamente meteorizada	Descompuesta			
	Puntaje	6	5	3	1	0			3
Suma de condición de discontinuidades								14	
5	flujo por cada 10m. De longitud del túnel (l/min)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 - 125	> 125			
	(Presión de agua en la diacl.) (Tensión principal mayor o1)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5			
	Condiciones generales	Completo. seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo			
	puntaje	15	10	7	4	0			10
c. Tipos de macizos determinados a partir de la valuación total									
Puntaje		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21		70	
Tipos de rocas		I	II	III	IV	V		II	
Descripción		Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala		Buena	

$$\text{Cálculo del RMR} = 12 + 13 + 8 + 14 + 10 = 57$$

Tabla 44. Valor del RMR del macizo rocoso del yacimiento FISS

Clase	Calidad	Calidad de la roca
I	Muy buena	81 – 100
II	Buena	61 – 80
III	Media	41 – 60
IV	Mala	21 – 40
V	Muy mala	< 20

Fuente: Bieniawski, (1989).

4.4.3.3. Determinación de la calidad del macizo rocoso de la EG-01 y EG-02

Los valores de RQD y RMR de los macizos rocosos de las estaciones EG- 01 y EG-02 de los yacimientos FDSS Y FISS indican una roca de regular calidad, del tipo III tal como se observa en la tabla siguiente:

Tabla 45. Calidad del macizo rocoso

ESTACIÓN GEOMECÁNICA	RMR			RQD	
	Puntuación	Clase	Descripción	Rango	Calidad
EG - 01(FDSS)	59	III	Regular	59.37	Regular
EG - 02 (FISS)	57	III	Regular	58.5	Regular

4.5. DISEÑO DE LOS YACIMIENTOS FDSS Y FISS

El diseño de los yacimientos en la zona de estudio tuvo el propósito de tratar de minimizar el costo de la remoción de material estéril y lograr la mayor recuperación de reservas de las calizas, por esta razón se trata de establecer el talud adecuado que asegure la viabilidad técnica y ambiental del proyecto y para ello se cuenta con los siguientes datos:

Tabla 46. Parámetros del Yacimiento FISS

Mineral	Calizas
Estéril	Suelos arcillosos y arenosos
Producción mensual	1500 TM/día producción a futuro
Reservas probadas	43944424.15 TM
Castigos por tipo de reservas probadas	20%
Castigo por dilución por presencia de material estéril	10%
Cota inferior(m)	3120 msnm
Cota superior (m)	3230msnm

Tabla 47. Parámetros del yacimiento FDSS

Mineral	Calizas
Estéril	Suelos arcillosos. Presencia de facies de margas y calizas arcillosas
Producción mensual	1500 TM/día producción a futuro
Reservas probables	17468695.38 TM
Castigos por tipo de reservas probadas	20%
Castigo por dilución por presencia de material estéril	10%
Cota inferior(m)	3120 msnm
Cota superior (m)	3230msnm

Tabla 48. Factores geométricos del yacimiento FISS

Ancho promedio del yacimiento	314.91m
Largo del yacimiento	548.74m
Espesor promedio del yacimiento	Cota mayor- cota menor (3230- 3120) =110m
Forma del yacimiento	Estratificado
Inclinación general del yacimiento	(35° en promedio) al NE

Tabla 49. Factores geométricos del yacimiento FDSS

Ancho promedio del yacimiento	413.59m
Largo del yacimiento	650.11m
Espesor promedio del yacimiento	Cota mayor- cota menor (3230- 3120) =110m
Forma del yacimiento	Estratificado
Inclinación general del yacimiento	(35° en promedio) al SO

4.5.1. Factores Geoambientales

Los factores geoambientales son todos aquellos que permitirán manejar el material estéril extraído. Además, se refiere a la restauración de la topografía afectada.

Como en el presente caso, la explotación de rocas calizas se dará mediante una explotación a cielo abierto, estas serán removidas y una vez terminada la explotación, la zona dañada deberá ser nivelada y restaurada con especies vegetales de la zona.

4.6. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

Para la explotación de las calizas de los yacimientos FISS y FDSS se diseñarán bancos superficiales para conformar los taludes y bermas correspondientes. El motivo por el cual se va a realizar la explotación a cielo abierto es con la finalidad de aprovechar el traslado del mineral de caliza con material arcilloso.

Este método de explotación consiste en realizar el corte de la roca en la forma de rebanadas desde la parte inferior a la superior, mediante los bancos y el derrumbe de roca fragmentada hasta llegar a las plataformas de cargado, al finalizar el primer corte se inicia el segundo corte y así sucesivamente. El método de extracción aplicado será el de banqueo. La extracción de roca caliza se va a realizar mediante el minado superficial, de tipo cantera, se ha utilizado los bancos de extracción ya que la topografía de la zona de explotación también por los afloramientos superficiales del macizo.

4.6.1. Diseño del yacimiento de calizas FDSS

Las diferentes partes que conformarán el diseño de explotación de las calizas del yacimiento FDSS ubicada en el flanco derecho del sinclinal Sangal estarán diseñadas en dirección SO- NE. Se puede observar que las caras de los bancos están con vista al SO.

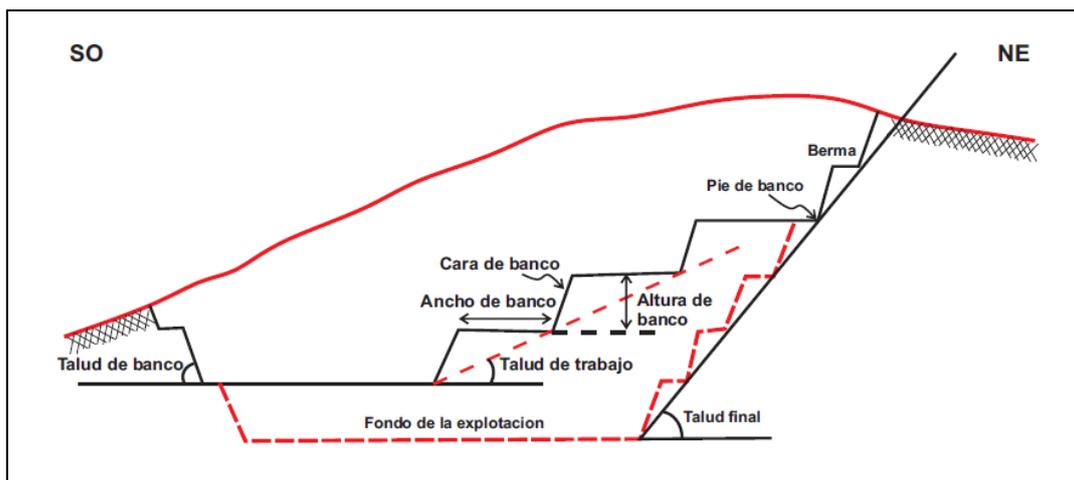


Figura 44. Diseño de explotación del yacimiento FDSS con vista al SO.

4.6.2. Diseño del yacimiento de calizas FISS

Las diferentes partes que conformarán el diseño de explotación de las calizas del yacimiento FDSS ubicada en el flanco izquierdo del sinclinal Sangal estarán diseñadas en dirección SO- NE. Se puede observar que las caras de los bancos de trabajo estarán con vista al NE.

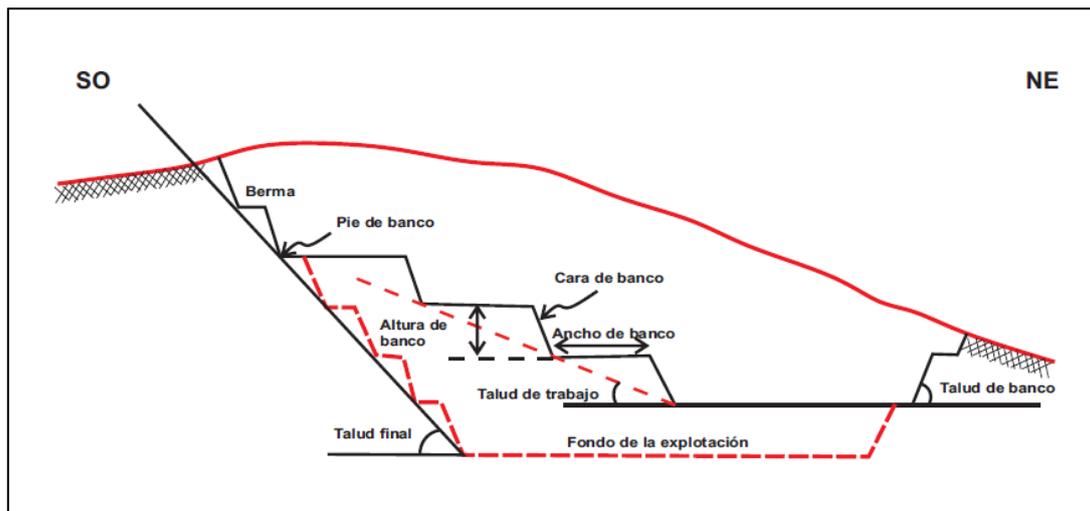


Figura 45. Diseño de explotación del yacimiento FISS con vista al NE

4.6.2.1. Altura de explotación del yacimiento

Para calcular la altura de explotación, se resta la cota máxima de la mínima con la siguiente formula:

$$H = H_s - H_i$$

Donde:

- H = Profundidad del yacimiento (m)
- H_s = Cota superior que es el límite máximo de explotación en promedio (m)
- H_i = Cota inferior que es el límite mínimo de explotación en promedio (m)

Remplazando datos:

$$H = H_s - H_i = 3230 \text{ m} - 3120 \text{ m} = 110 \text{ m}$$

4.6.2.2. Altura de banco (HB)

Es la distancia vertical que es medida entre los niveles consecutivos de explotación, se recomienda que sean de la misma altura, para mantener las condiciones similares de operación. Para la explotación de los yacimientos FDSS y FISS se ha propuesto una altura promedio de 10 metros.

4.6.2.3. Ángulo de banco

El ángulo de inclinación del banco para la explotación de calizas es de 45 a 50° tal como lo sugiere Howard & Mutmansky (2002).

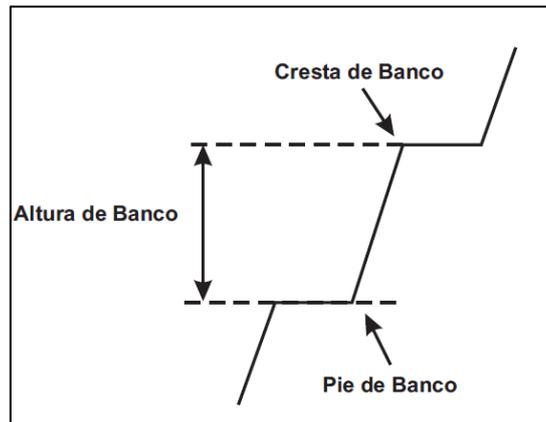


Figura 46. La altura de banco es la distancia vertical entre el pie y la cresta

Fuente: Contreras, (2017)

4.6.2.4. Número de bancos

El número de bancos se determina con la siguiente formula:

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

Donde:

- Nb = Numero de bancos
- H = profundidad de la cantera (m)
- Hb = Altura del banco (m)

Reemplazando:

- H= 110 m
- Hb= 10m

$$Nb = \frac{110}{10} = 11$$

Por lo tanto, se tendrá 11 bancos de 10 m de altura

4.6.2.5. Ancho de la plataforma de trabajo

El ancho de la plataforma de trabajo se determina con la siguiente formula:

$$A = a (0.5 + 1.5 n)$$

Donde:

- A = Ancho total de la plataforma (m)
- a= Ancho del vehículo (m)

- n = Número de carriles deseados

Remplazando tenemos:

- Ancho del vehículo= 5m
- Número de carriles= 1

Reemplazando:

$$A = 5 (0.5 + 1.5 * 1) = 10m$$

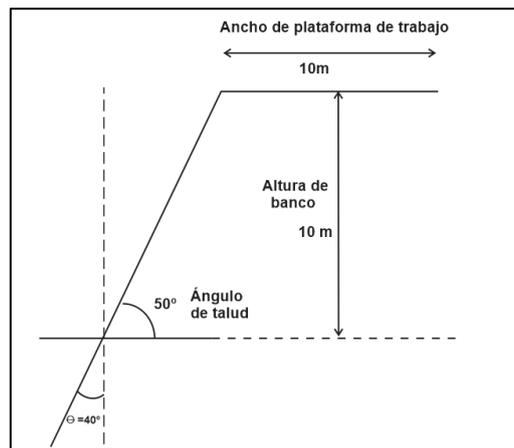


Figura 47. El ángulo θ es el complemento del ángulo de talud.

4.6.2.6. Ángulo de talud final (β)

Este ángulo es el más importante para el diseño de la explotación de las calizas debido a que determina la estabilidad del talud final de explotación. Se determina mediante las siguientes ecuaciones.

$$\tan \beta = \frac{H}{B}$$

Siendo:

- H = altura de banco (m)
- $B=B_1+B_2$
- B_1 = ancho de banco (m)
- B_2 = longitud que genera el ángulo en la cara del banco (m)

$$B_2 = H \tan \theta$$

Siendo

- θ = ángulo que forma la cara de talud con la vertical que es = 40°

$$B_2 = 10 * \tan 40^\circ = 8.39$$

Reemplazando:

$$B=10+8.39=18.39$$

Reemplazando en:

$$\tan \beta = \frac{H}{B}$$

$$\tan \beta = \frac{10}{18.39}$$

$$\tan \beta = 0.5838$$

$$\beta = 30^\circ$$

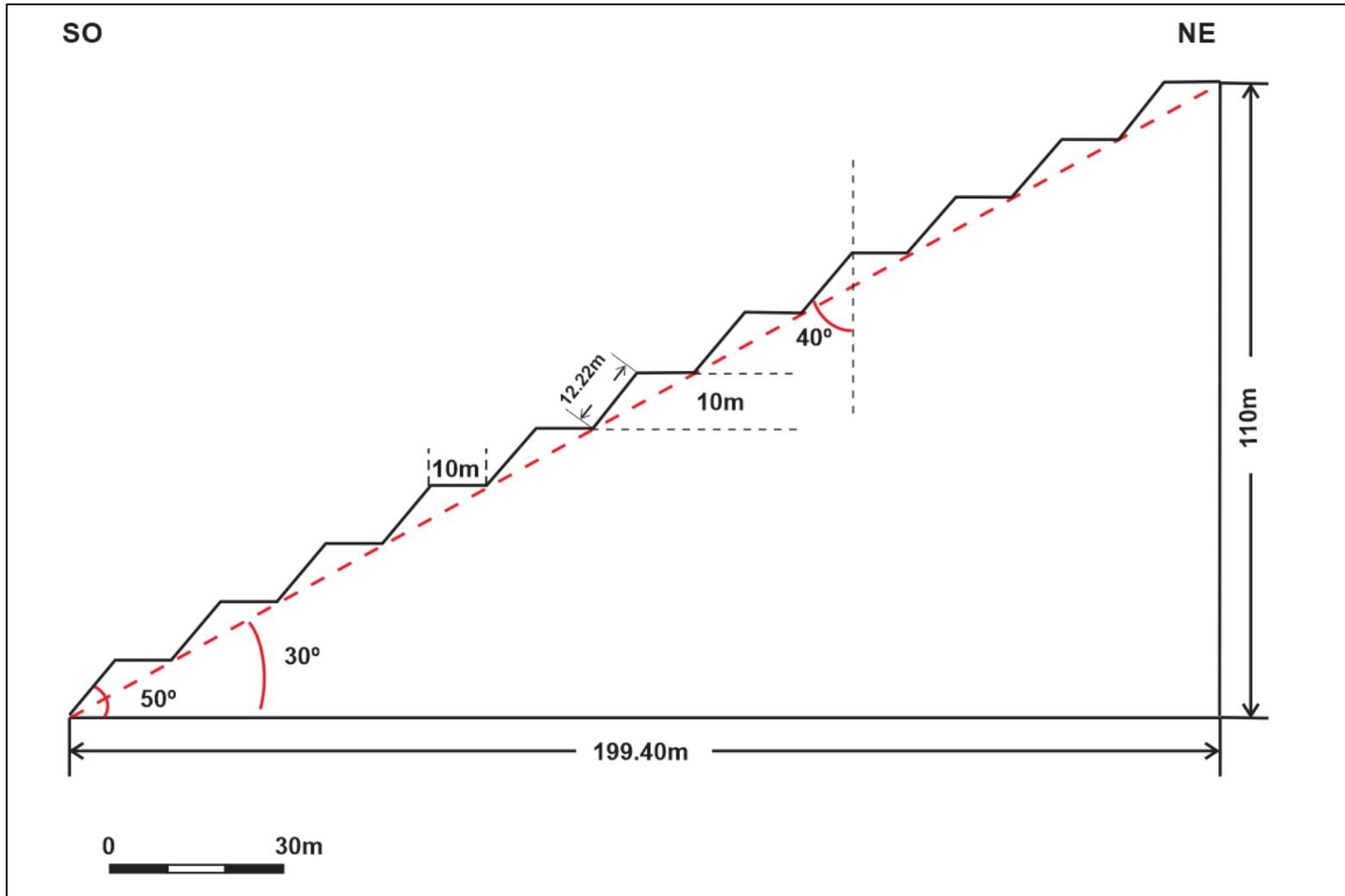


Figura 48. Parámetros geométricos calculados del yacimiento FDSS

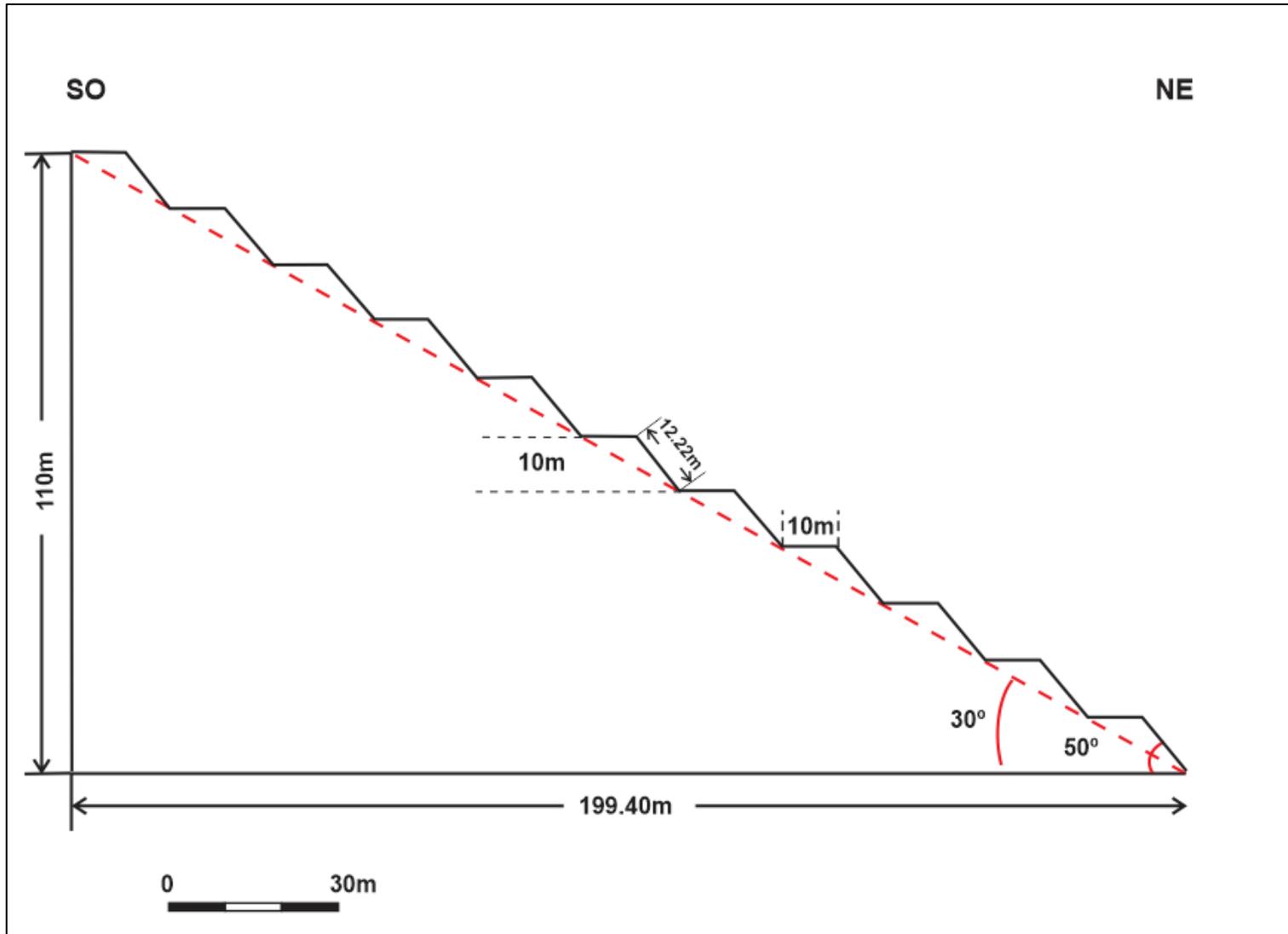


Figura 49. Parámetros geométricos calculados del yacimiento FISS

Tabla 50. Resumen de los parámetros de los yacimientos FISS y FDSS

PARÁMETROS DE DISEÑO	FISS Y FDSS
Profundidad de explotación	110 m
Número de bancos	11
Ángulo de talud	50°
Ángulo final	30°
Ancho de la plataforma de trabajo	10

4.7. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LAS ROCAS CALIZAS

Se realizaron el estudio petrográfico de 06 muestras de calizas de la Formación Cajamarca, correspondiendo a 03 al FDSS y 03 al FISS. Estas muestras fueron rigurosamente seleccionadas para que sean representativas. A continuación, se presentan las tablas de los estudios petrográficos realizados.

Tabla 51. Estudio petrográfico de la muestra BAME- 01 correspondiente al FDSS

Carta	Zona	Formación	Tipo de roca	Coordenadas (UTM)	
15-g	Sangal- FDSS	Cajamarca	Química	9217521	788929
Características petrográficas		Muestra		BAME-01	
Color de superficie intemperizada	Gris amarillento				
Color de superficie fresca	Gris marrón				
Brillo	Opaco				
Dureza	Media a alta				
Raya	Blanca				
Fractura	Irregular				
Presencia de restos de fósiles	No				
Reacción al HCl	Fuerte efervescencia				
Clasificación	Sedimentaria				
Nombre	Caliza				
Comentarios	Muy resistente a la erosión, abundantes venillas de calcita				

Fuente: Tomado de Mendoza (2021) y modificado por Báez (2023).

Tabla 52. Estudio petrográfico de la muestra BAME- 02 correspondiente al FDSS

Carta	Zona	Formación	Tipo de roca	Coordenadas (UTM)	
15-g	Sangal- FDSS	Cajamarca	Química	9217613	788665
Características petrográficas		Muestra		BAME- 02	
Color de superficie intemperizada	Gris amarillento				
Color de superficie fresca	Gris marrón				
Brillo	Opaco				
Dureza	Media a alta				
Raya	Blanca				
Fractura	Concoidea				
Presencia de restos de fósiles	Fragmentos pequeños				
Reacción al HCl	Fuerte efervescencia				
Clasificación	Sedimentaria				
Nombre	Caliza				
Comentarios	Muy resistente a la erosión, abundantes venillas de calcita				

Fuente: Tomado de Mendoza (2021) y modificado por Báez (2023).

Tabla 53. Estudio petrográfico de la muestra BAME- 03 correspondiente al FDSS

Carta	Zona	Formación	Tipo de roca	Coordenadas (UTM)	
15-g	Sangal-FDSS	Cajamarca	Química	9217719	788487
Características petrográficas		Muestra		BAME-03	
Color de superficie intemperizada	Gris Marrón				
Color de superficie fresca	Gris oscuro				
Brillo	Opaco				
Dureza	Media a alta				
Raya	Blanca				
Fractura	Concoidea				
Presencia de restos de fósiles	No				
Reacción al HCl	Fuerte efervescencia				
Clasificación	Sedimentaria				
Nombre	Caliza				
Comentarios	Muy resistente a la erosión, abundantes venillas de calcita en forma paralelas				

Fuente: Tomado de Mendoza (2021) y modificado por Báez (2023).

Tabla 54. Estudio petrográfico de la muestra BAME- 05 correspondiente al FISS

Carta	Zona	Formación	Tipo de roca	Coordenadas (UTM)	
15-g	Sangal- FISS	Cajamarca	Química	9215885	789289
Características petrográficas		Muestra	BAME-05		
Color de superficie intemperizada	Gris claro				
Color de superficie fresca	Gris oscuro				
Brillo	Opaco				
Dureza	Media a alta				
Raya	Blanca				
Fractura	Concoidea				
Presencia de restos de fósiles	No				
Reacción al HCl	Fuerte efervescencia				
Clasificación	Sedimentaria				
Nombre	Caliza				
Comentarios	Muy resistente a la erosión, abundantes venillas de calcita				

Fuente: Tomado de Mendoza (2021) y modificado por Báez (2023).

Tabla 55. Estudio petrográfico de la muestra BAME- 06 correspondiente al FISS

Carta	Zona	Formación	Tipo de roca	Coordenadas (UTM)	
15-g	Sangal- FISS	Cajamarca	Química	9215701	789672
Características petrográficas		Muestra	BAME-06		
Color de superficie intemperizada	Gris claro				
Color de superficie fresca	Gris oscuro				
Brillo	Opaco				
Dureza	Media a alta				
Raya	Blanca				
Fractura	Concoidea				
Presencia de restos de fósiles	No				
Reacción al HCl	Fuerte efervescencia				
Clasificación	Sedimentaria				
Nombre	Caliza				
Comentarios	Muy resistente a la erosión, abundantes venillas de calcita en forma paralelas				

Fuente: Tomado de Mendoza (2021) y modificado por Báez (2023).

Tabla 56. Estudio petrográfico de la muestra BAME- 07 correspondiente al FISS

Carta	Zona	Formación	Tipo de roca	Coordenadas (UTM)	
15-g	Sangal- FISS	Cajamarca	Química	9215508	789532
Características petrográficas		Muestra	BAME-07		
Color de superficie intemperizada	Gris amarillento				
Color de superficie fresca	Gris oscuro				
Brillo	Opaco				
Dureza	Media a alta				
Raya	Blanca				
Fractura	Irregular a concoidea				
Presencia de restos de fósiles	No				
Reacción al HCl	Fuerte efervescencia				
Clasificación	Sedimentaria				
Nombre	Caliza				
Comentarios	Muy resistente a la erosión, abundantes venillas de calcita				

Fuente: Tomado de Mendoza (2021) y modificado por Báez (2023)

4.8. ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE CALIZAS

Se han recolectado 08 muestras de calizas, los que fueron enviados al Laboratorio INGEOCONSULT& LAB SRL para su análisis químico respectivo. La ubicación de las muestras se muestra a continuación:

Tabla 57. Ubicación de las Muestras del yacimiento FDSS

N.º	Código	Norte	Este
01	BAME-01	9217521	788929
02	BAME-02	9217613	788665
03	BAME-03	9217719	788487
04	BAME-04	9217822	788619

Tabla 58. Ubicación de las Muestras del yacimiento FISS

N.º	Código	Norte	Este
01	BAME-05	9215885	789289
02	BAME-06	9215701	789672
03	BAME-07	9215508	789532
04	BAME-08	9215705	789206

Tabla 59. Resultado de los análisis químicos del yacimiento FDSS

N.º	Código	% CaCO₃
01	BAME-01	94.62
02	BAME-02	93.78
03	BAME-03	94.59
04	BAME-04	94.01
Promedio		94.25

Fuente: IGEOCONSULT& LAB SRL (2023).

Tabla 60. Resultado de los análisis químicos del yacimiento FISS

N.º	Código	% CaCO₃
05	BAME-05	96.45
06	BAME-06	95.03
07	BAME-07	95.52
08	BAME-08	96.56
Promedio		95.89

Fuente: IGEOCONSULT& LAB SRL (2023).

4.9. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Los datos obtenidos en campo y los resultados de los análisis químicos de las muestras, han permitido efectuar el cálculo de reservas de las rocas calizas de la Formación Cajamarca en el Centro Poblado de Sangal. Las rocas calizas se encuentran conformando parte del Sinclinal Sangal. Habiéndose identificado dos yacimientos: uno en el Flanco Izquierdo del Sinclinal Sangal (FISS) y otro en el Flanco Derecho del Sinclinal Sangal (FDSS). Además, los resultados de los análisis químicos reportados por INGEOCONSULT & LAB SRL indican que estas poseen un alto porcentaje (%) de CaCO₃ y por esta razón son idóneas para ser explotadas por CaO por lo que la hipótesis se contrasta positivamente.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Las reservas calculadas mediante el método de las secciones para el Flanco Izquierdo del Sinclinal Sangal (FISS) son de 43944424.15 TM y para el Flanco Derecho del Sinclinal Sangal (FDSS), de 17468695.38 TM. La cantidad de desmonte calculado asciende a 1806115.83 TM para el FISS y 1004449.98 TM para FDSS.

Las zonas que son idóneas para la explotación de las calizas son dos, el primero denominado FISS a 500m al Sur de la localidad de Sangal y el segundo llamado FDSS ubicado a 1.5 km al Norte de la localidad de Sangal, muy cerca de la localidad de Los Tres Tingos.

El método más adecuado para la explotación de las calizas de la Formación Cajamarca es a cielo abierto, mediante el banqueo.

El diseño de explotación de las calizas a futuro, en base a los análisis geológicos realizados, obtenemos los siguientes resultados, profundidad de explotación de 110m, numero de bancos 11, ángulo de talud de trabajo de 50°, ángulo de talud final de 30° y ancho de plataforma de 10m.

5.2. RECOMENDACIONES

A las autoridades y pobladores de la localidad de Sangal, dar las facilidades para la realización de una futura explotación de estas calizas, ya que esto beneficiara positivamente en el desarrollo económico de la localidad.

A los señores empresarios interesados en la minería no metálica, realizar de una manera responsable y respetando las normas de cuidado del medio ambiente, la exploración y explotación de las calizas.

Al personal que realice trabajos en la zona, se recomienda el cumplimiento de los parámetros de diseño para asegurar la productividad, optimización y seguridad de los trabajadores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

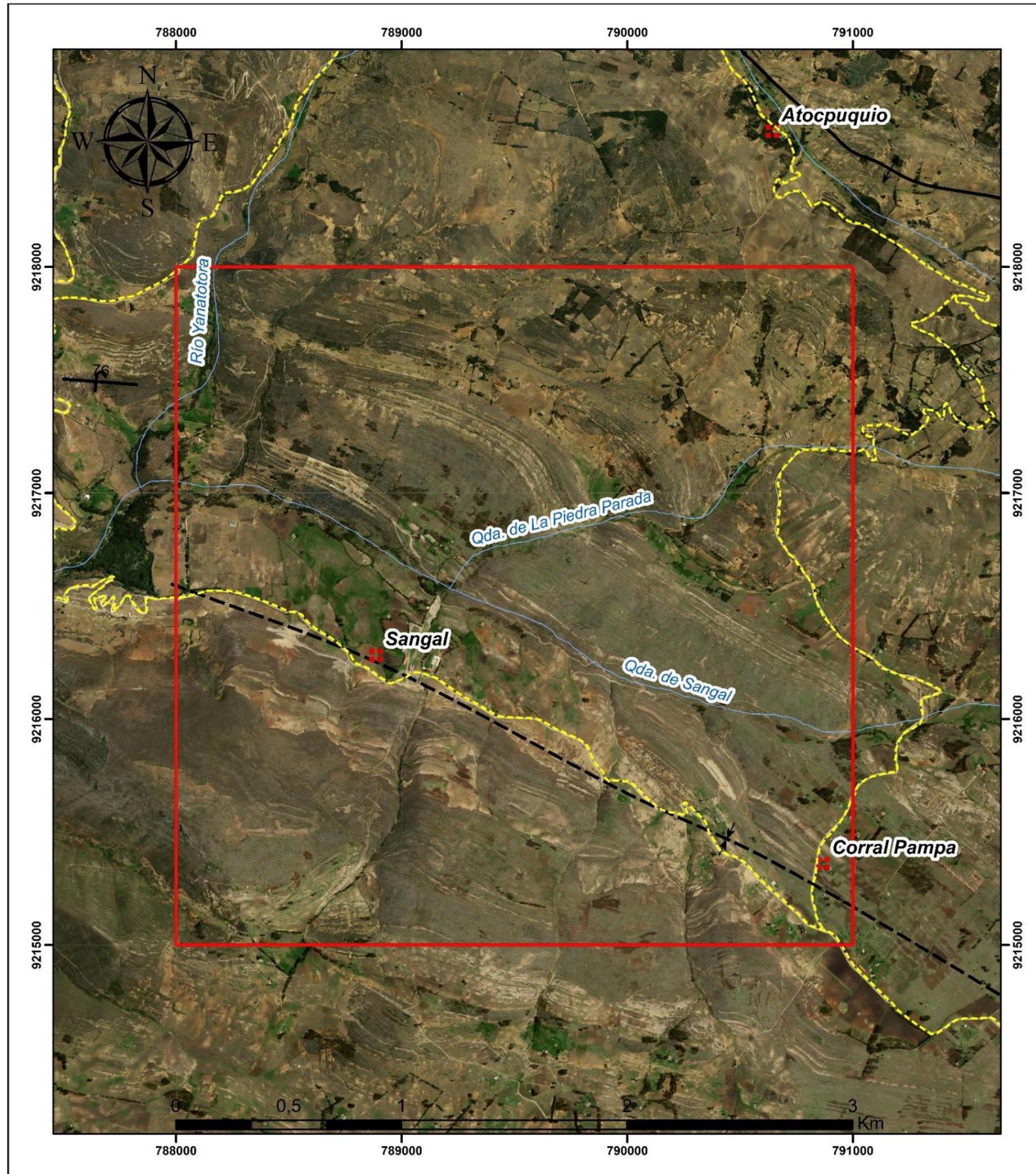
- Acevedo, H. 2005 Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de Caliza en la Región Metropolitana. Santiago – Chile.
- Alcántara, G. 2011 Cobertura vegetal y uso actual del departamento de Cajamarca.
- Alfaro, M. 2007 Estimación de Recursos Mineros.
- Annels, A. 1991 Mineral Deposit Evaluation. A practical approach. London . New York: Chapman & Hall.
- Bustillo, M., & López C. 1997 Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras. Madrid.
- Carpio, M., Torre, J., & Fuentes, J. 2019 Investigación de Calizas para el desarrollo de la Región Junín. Lima: INGEMMET, Boletín Serie B: Geología Económica.
- Centro Nacional Minero. 2003 Programa Descentralizado Tecnico Profesional en Minas a Cielo Abierto. Bogotá - Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje Regional.
- Contreras, A. 2017 Diseño del plan de explotación de calizas en el prospecto minero rubí junín - 2017. Cerro de Pasco, Perú.
- Espino, H. 2013 La explotación de la piedra caliza en el cerro catavi: industria, mercado laboral y economía campesina en el altiplano norte de la paz (1985-2005). La paz - Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.
- Diehl, P., and David, M., 1982 Classification of ore reserves/resources based on geostatistical methods, CIM Bulletin, V. 75, No. 838, p. 127-136.
- Emison. 2023 Hornos para cal, minería y carbón. c. Tecnología, 82.
- Gil, J.2002 Estudios de Estimación y Simulación Geoestadística para la Caracterización de Parámetros Geólogo - Industriales en el Yacimiento Laterítico Punta Gorda. Pinar del Río: Universidad de Pinar Del Río.
- Heredia Castillo, W. E., & Piscocoya Ñiquen , H. A. (2021). Cubicación de Reservas para determinar la Vida Útil del Tajo 1, Concesión Tablazo 55 - Comunidad Campesina San Pedro de Mórrope. Chiclayo: Universidad César Vallejo. Tesis para optar obtener el Título profesional de: Ingeniero de Minas.

- Hernández, C. J. 2001 Rocas calizas: Formación, ciclo del carbonato, propiedades, aplicaciones, distribución y perspectivas en la Mixteca Oaxaqueña. Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Herrera, J., 2007 Diseño de explotación de canteras. Madrid – España
- Howard, L. & Mutmanský, J. 2002 Introductory Mining Engineering. Segunda Edición. Published by John Wiley & Song. Inc., Hoboken, New Jersey. Published simultaneously in Canada.
- Huang, W. T. 2009 Petrología. Ciudad de México: Limusa S.A.
- Luque, J. 2017 Estudio de Factibilidad en un Proyecto de Explotación de Rocas y Minerales Industriales en una Mina de Perlita. Tesis para optar el título de ingeniero de minas. Arequipa, Perú: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa
- Maza, Y. R. 2017 Estimación De Reservas Minerales De Oro Y Plata En La Veta Karina - Los Pircos, Santa Cruz – Cajamarca. Cajamarca: Tesis Para optar al Título Profesional de: Ingeniero Geólogo.
- Mendoza, M. 2021 Correlación litoestratigráfica de la Formación Yumagual en las zonas de Matara, San Marcos y Otuzco. Tesis Para optar al Título Profesional de: Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Montagna, S. 2016 Cal: proceso de calcinación. San Juan, Argentina.
<https://www.calerassanjuan.com/calcinacion.html>.
- Muñoz, C. 2015 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.
- Nicholas, D.E., 1981, “Method Selection—A Numerical Approach,” Design and Operation of Caving and Sublevel Stopping Mines, Chap. 4, D. Stewart, ed., SME-AIME, New York, pp. 39–53
- Pacheco, Y. 2010 Determinación de la Ley de Corte, Valor de Mineral y Estimación de Reservas Aplicado en Compañía Minera Atacocha S.A.A, al 31 de marzo del 2009. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Plá, D. & Herrera, T 2022 Fundamentos de Laboreo de Minas. Universidad Politécnica de Madrid

- Rebaza, B. 2015 Estimación de reservas probables de yacimientos no metálicos en arcillas del distrito de Llacanora Cajamarca, Perú – 2015. Cajamarca, Perú: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3232569>.
- Reinoso, C. 2015 Evaluación de Reservas y Diseño del sistema de Explotación del Área Minera Mary Elena Código: 102317. Para obtener el título de Ingeniero de Minas. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Rodriguez, G. 2022 Mejoramiento de la obtención de Óxido de Calcio en la Empresa Calquipa S.A.C. Arequipa - Perú.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) 2020 Mapa Climático Nacional (en línea). Disponible en: <https://web2.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>
- Silviana, G. 2018 Estándar colombiano para el reporte público de resultados de exploración, recursos y reservas minerales - ECRR. Colombia.
- Torres, J. 2015 Metodología para la Estimación de Reservas Minerales en Minera Bateas. Tesis para optar el título de ingeniero de minas. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Valenzuela, M. S. 2002. Minerales no Metálicos, Rocas Industriales y Gemas de Bolivia. Santa Cruz de la Sierra - Bolivia.
- Vargas, L. 2014. Determinación de reservas en presencia de tecnologías de generación variable. Chile.
- Vilca, D. 2019. Estudio de la Influencia de la pureza de la Caliza, tamaño de partícula y temperatura para obtener óxido de calcio de alta reactividad mediante un diseño experimental 2K. Arequipa: Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa.
- Zapana, D. 2019 Estudio de la influencia de la pureza de la caliza, tamaño de partícula y temperatura para obtener óxido de calcio de alta reactividad mediante un diseño experimental 2K. Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín.

ANEXOS

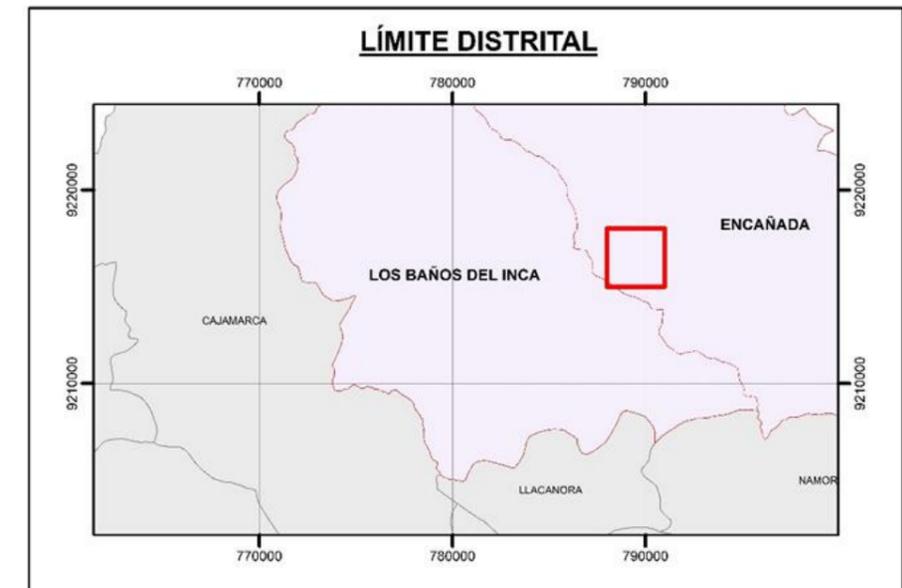
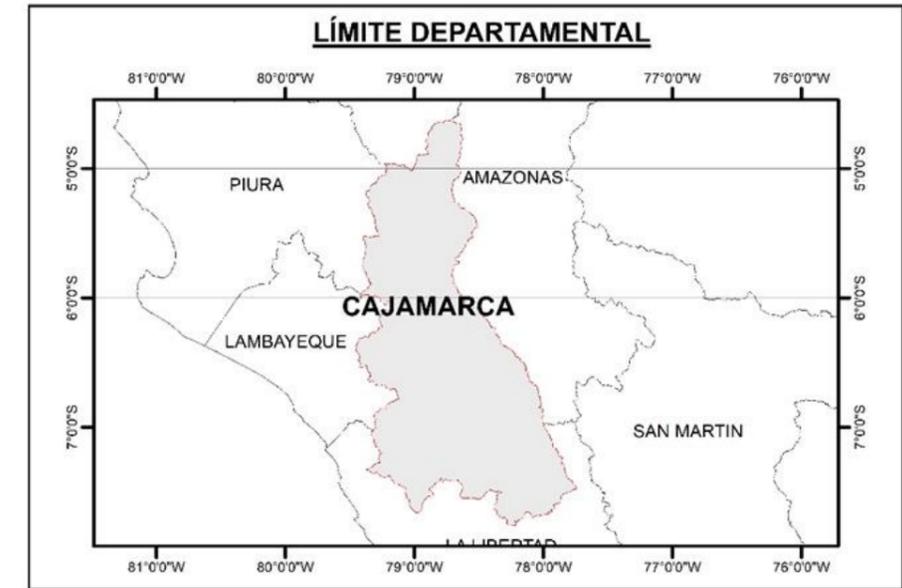
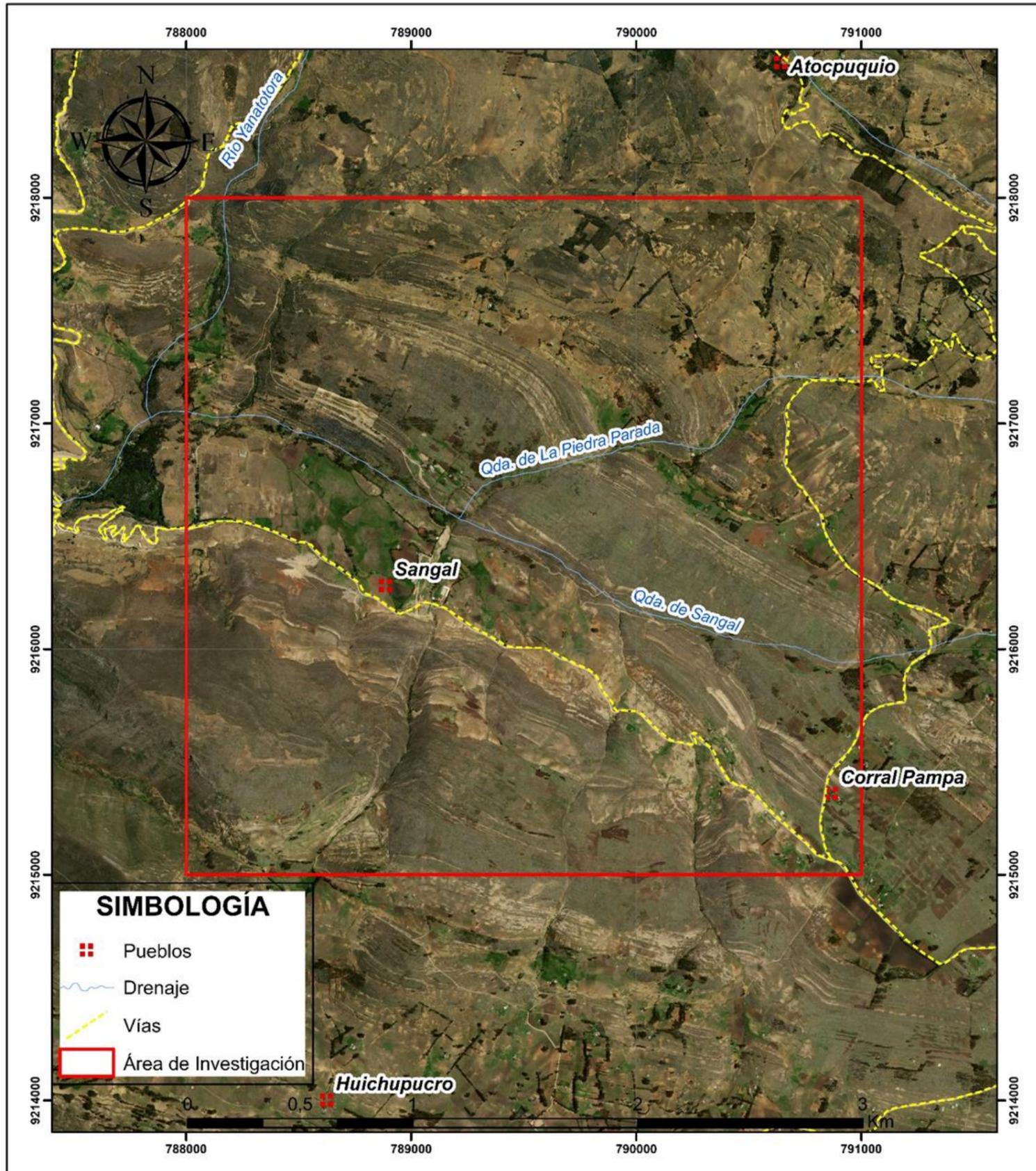
1. Plano Satelital de la Zona de Estudio.
2. Plano de Ubicación de la Zona de Estudio.
3. Plano Modelo Digital de Elevaciones.
4. Plano Geológico de la Zona de Estudio.
5. Plano Unidades Morfogenéticas.
6. Plano de Ubicación de los Yacimientos FISS y FDSS.
7. Plano de Ubicación del Yacimiento FDSS.
8. Plano de Ubicación de los Yacimiento FISS.
9. Plano de Ubicación de Muestras.
10. Anexos de Análisis Químicos de Muestras.
11. Anexos de Fotos.



SIMBOLOGÍA

- Pueblos
- Drenaje
- Vías
- Eje de anticlinal
- Rumbo y buzamiento de capas invertidas
- Sinclinal probable
- Área de Investigación

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas	
TESIS PROFESIONAL:		
CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL- CAJAMARCA		
PLANO:	IMAGEN SATELITAL	DATUM:
TESISTA:	Bach. Báez Meléndez Edwin Manuel	UTM WGS 84
ASESOR:	M.Cs. Ing. Arapa Vilca Víctor Ausberto	
FECHA:	Julio 2024	ESCALA: 1:20.000
P - 01		



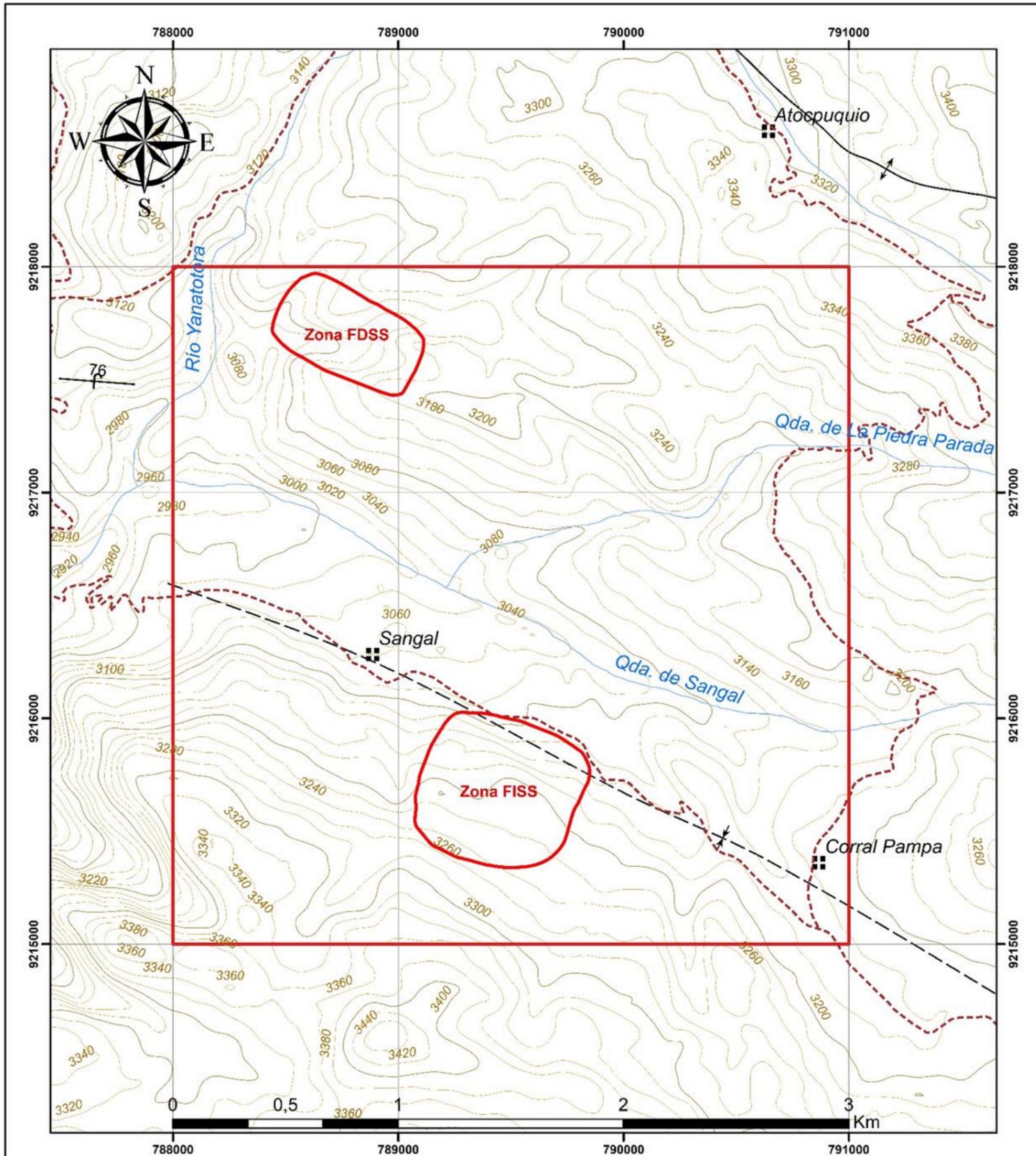
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas



TESIS PROFESIONAL:

CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL- CAJAMARCA

PLANO:	PLANO DE UBICACIÓN		DATUM:
TESISTA:	Bach. Báez Meléndez Edwin Manuel		UTM WGS 84
ASESOR:	M.Cs. Ing. Arapa Vilca Victor Ausberto		P - 02
FECHA:	Julio 2024	ESCALA: 1:20.000	



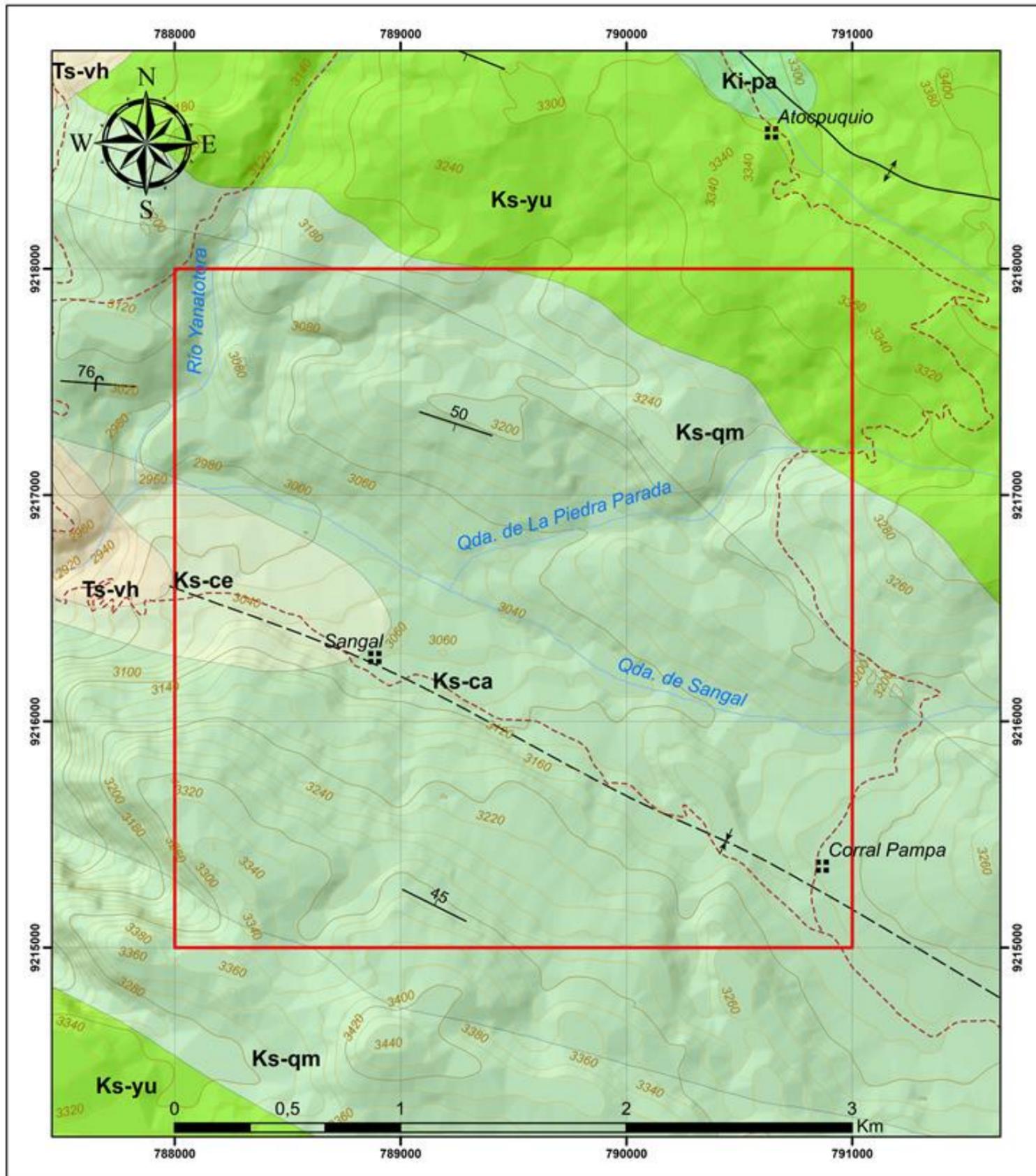
SIMBOLOGÍA

- Pueblos
- Drenaje
- Vías
- Eje de anticlinal
- Rumbo y buzamiento de capas invertidas
- Sinclinal probable
- Yacimientos
- Área de Investigación

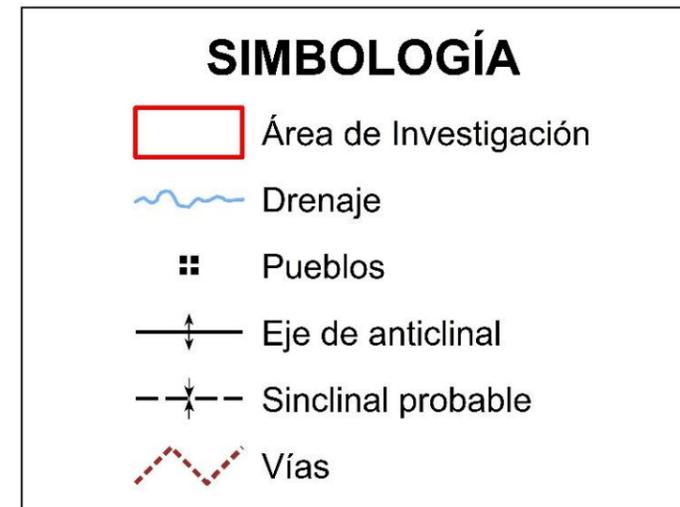
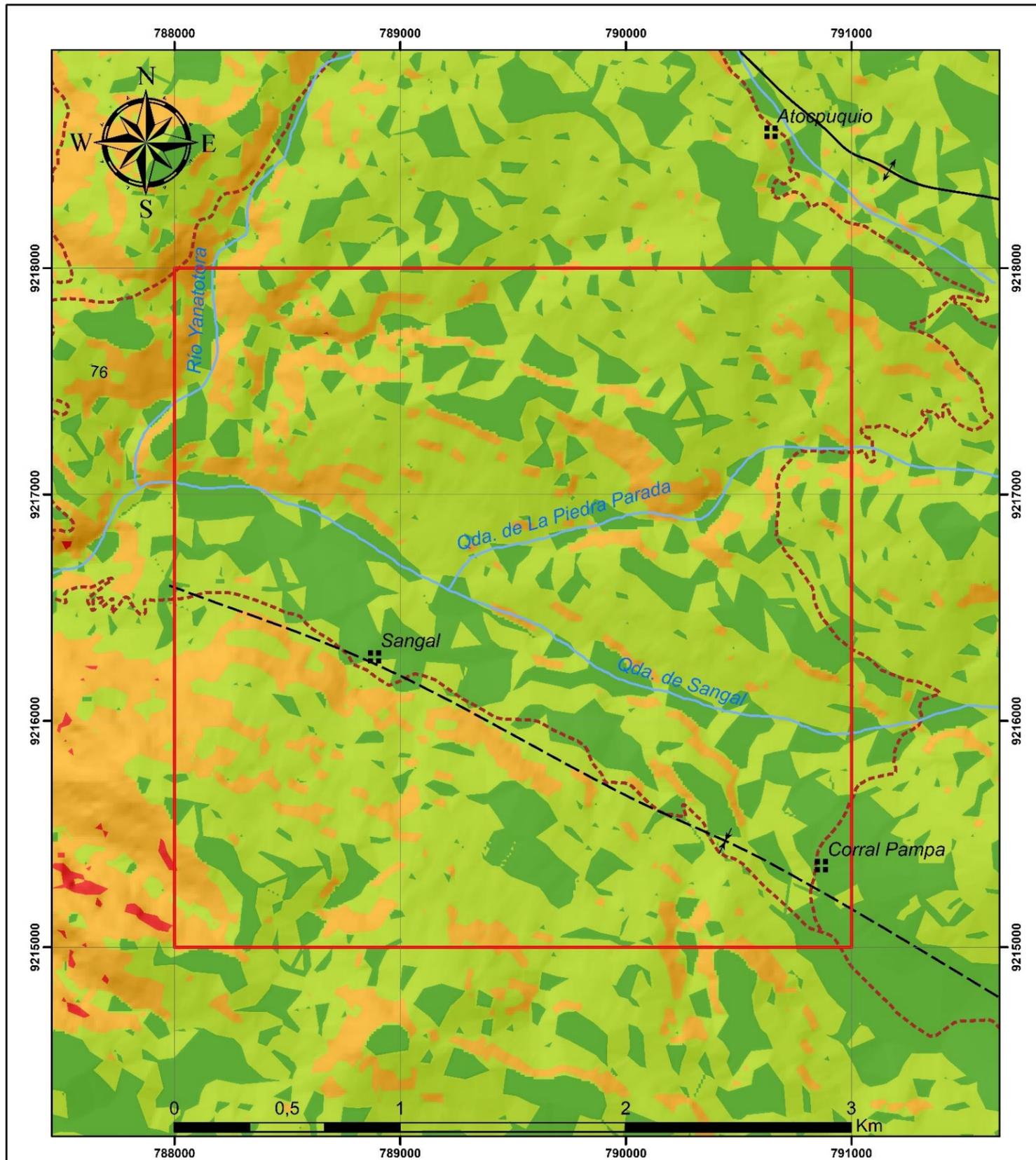
Curvas de Nivel

- Curvas Menores (20m)
- Curvas Mayores (100m)

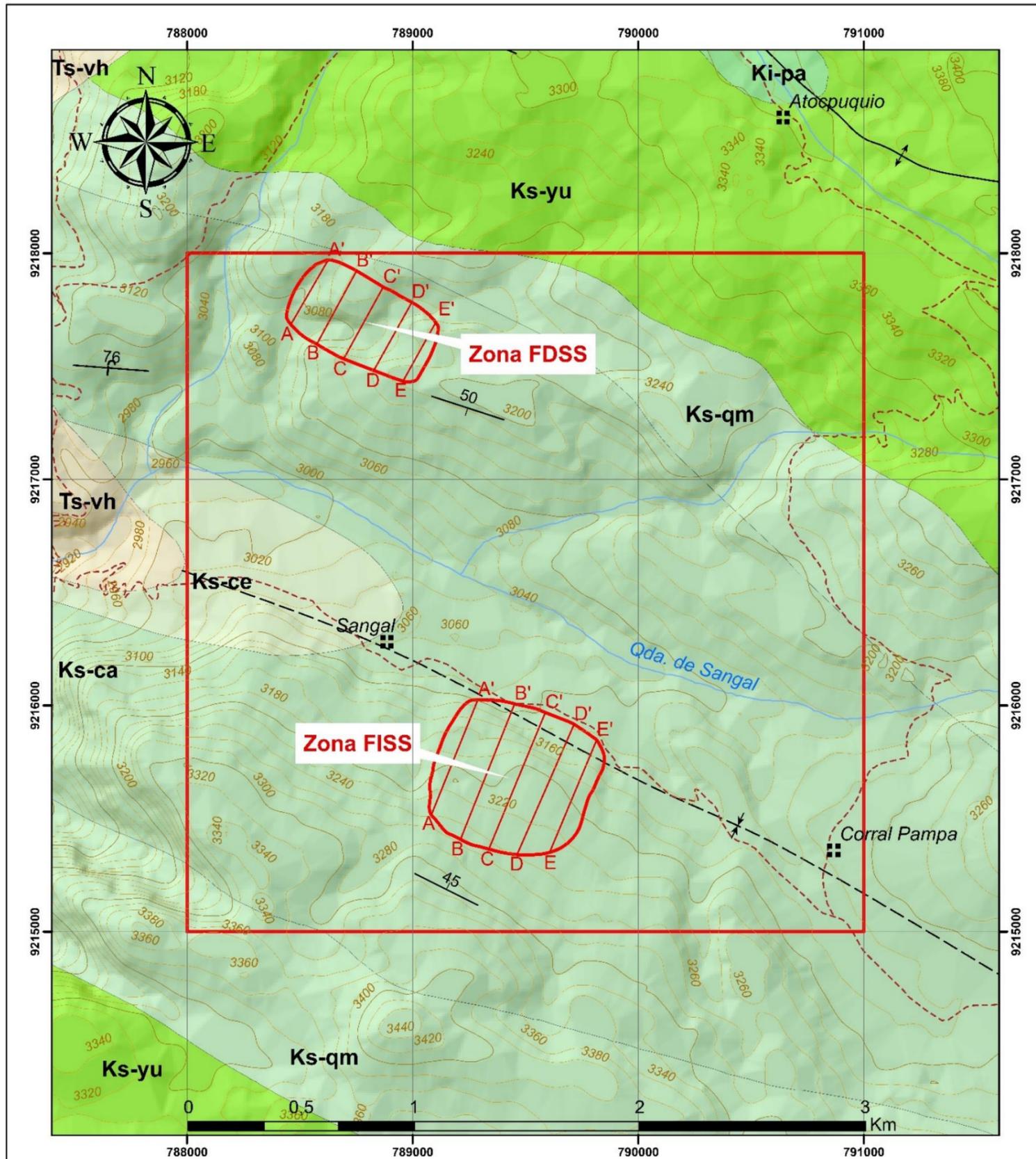
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas	
TESIS PROFESIONAL:		
CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL- CAJAMARCA		
PLANO:	MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES (MDE)	DATUM:
TESISTA:	Bach. Báez Meléndez Edwin Manuel	UTM WGS 84
ASESOR:	M.Cs. Ing. Arapa Vilca Víctor Ausberto	P - 03
FECHA:	Julio 2024 ESCALA: 1:20.000	



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas	
TESIS PROFESIONAL:		
CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL - CAJAMARCA		
PLANO:	PLANO GEOLÓGICO	DATUM:
TESISTA:	Bach. Báez Meléndez Edwin Manuel	UTM WGS 84
ASESOR:	M.Cs. Ing. Arapa Vilca Victor Ausberto	
FECHA:	Julio 2024	ESCALA: 1:20.000
		P - 04



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas	
TESIS PROFESIONAL:		
CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO), CENTRO POBLADO SANGAL- CAJAMARCA		
PLANO:	PLANO DE UNIDADES MORFOGENÉTICAS	DATUM:
TESISTA:	Bach. Báez Meléndez Edwin Manuel	UTM WGS 84
ASESOR:	M.Cs. Ing. Arapa Vilca Víctor Ausberto	P - 05
FECHA:	Julio 2024	
	ESCALA:	1:20.000



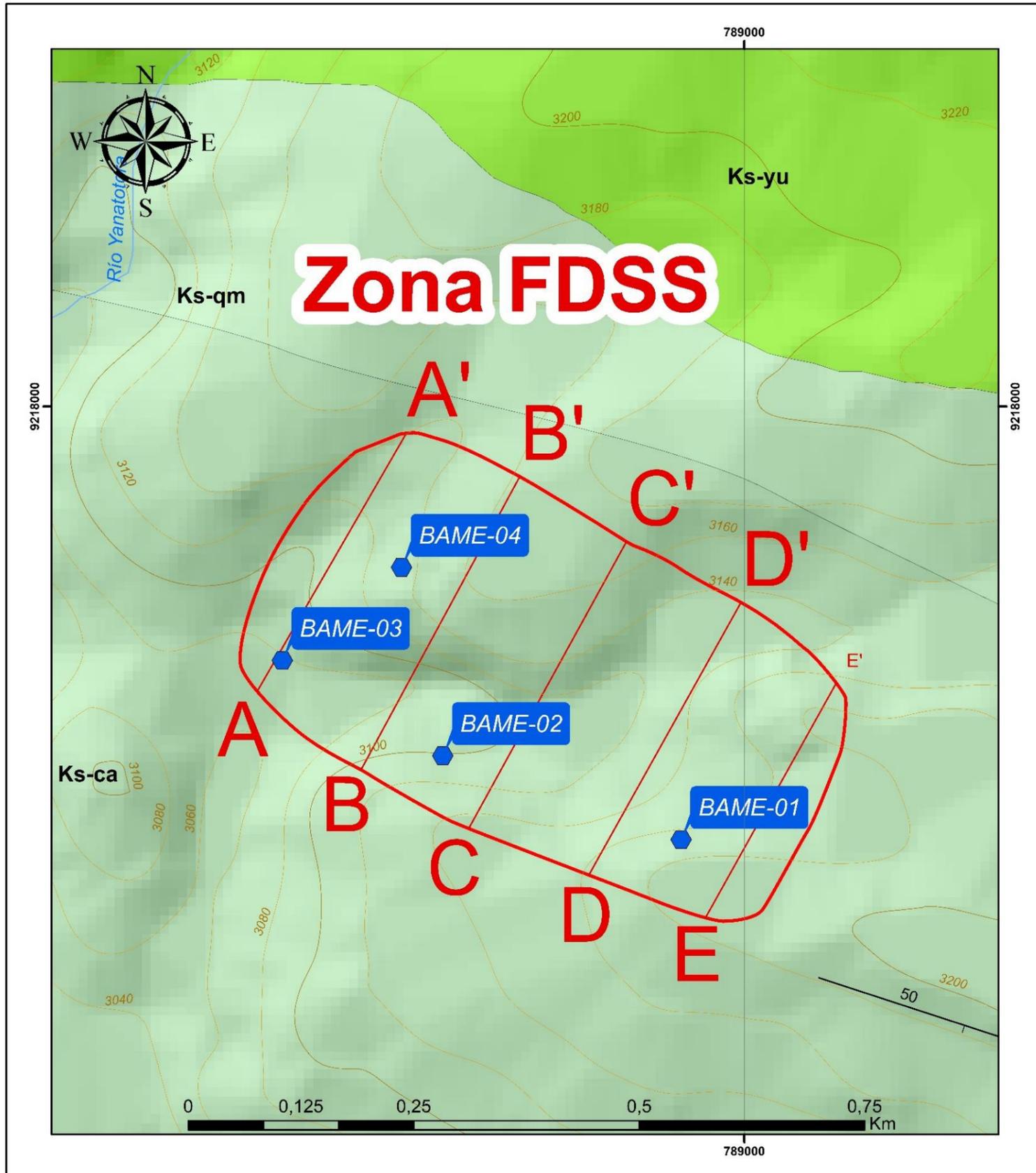
SIMBOLOGÍA

■	Pueblos	↕	Eje de anticlinal
—	Perfiles	↔	Rumbo y buzamiento de capas invertidas
⬭	Yacimientos	↕	Sinclinal probable
⬭	Área de Investigación	~	Curvas Menores (20m)
⋯	Vías	~	Curvas Mayores (100m)
~	Drenaje		
—	Buzamiento		

YACIMIENTO FDSS					
Punto	Norte	Este	Punto	Norte	Este
A	9217684	788459	A'	9217970	788625
B	9217598	788574	B'	9217922	788750
C	9217533	788694	C'	9217850	788869
D	9217481	788827	D'	9217783	788996
E	9217434	788956	E'	9217694	789101

YACIMIENTO FISS					
Punto	Norte	Este	Punto	Norte	Este
A	9215516	789082	A'	9216026	789289
B	9215408	789211	B'	9216007	789451
C	9215365	789337	C'	9215969	789587
D	9215340	789462	D'	9215916	789715
E	9215348	789595	E'	9215848	789815

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas	
TESIS PROFESIONAL:		
CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL- CAJAMARCA		
PLANO:	UBICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS FISS y FDSS	DATUM:
TESISTA:	Bach. Báez Meléndez Edwin Manuel	UTM WGS 84
ASESOR:	M.Cs. Ing. Arapa Vilca Víctor Ausberto	P - 06
FECHA:	Julio 2024	



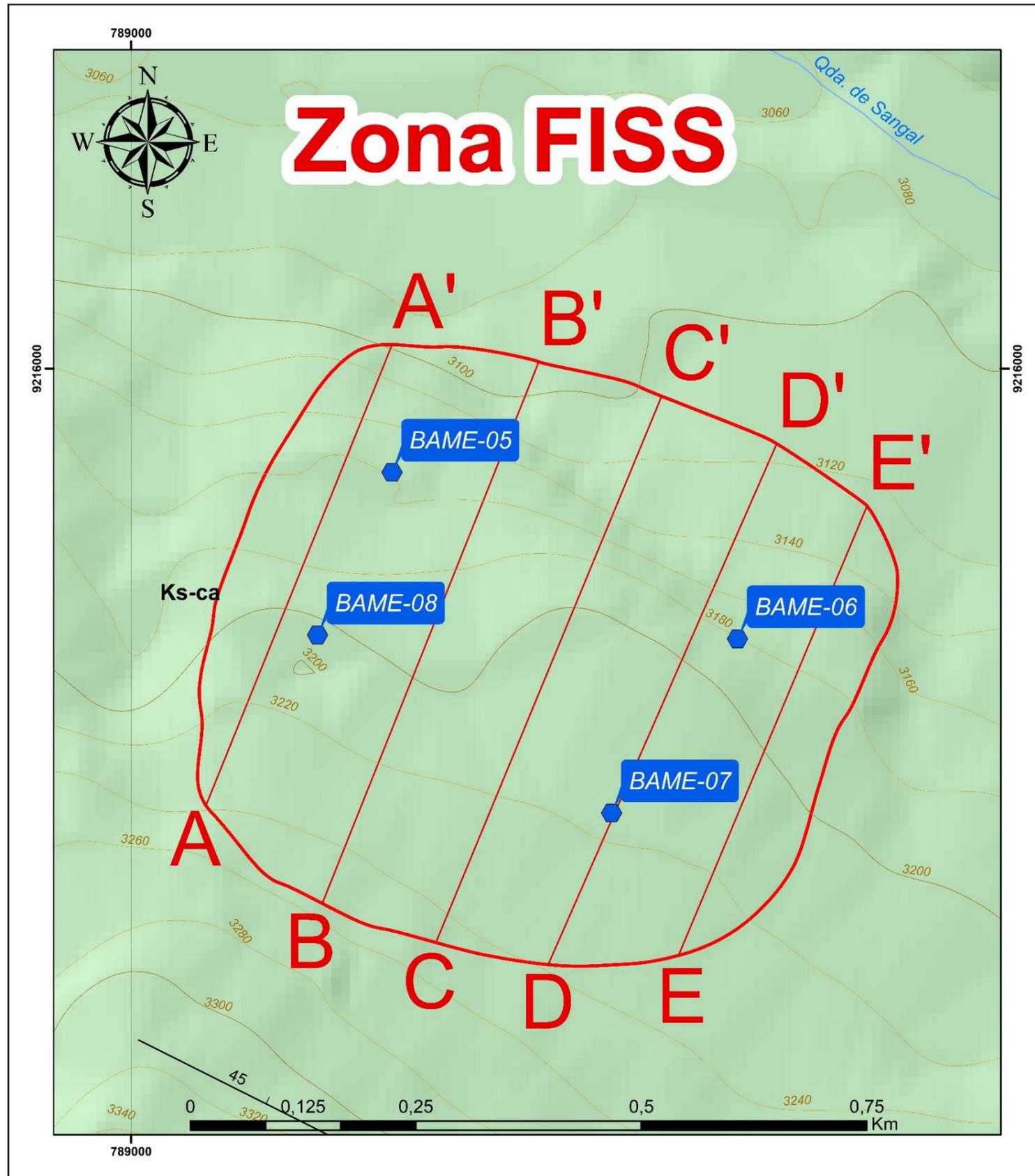
SIMBOLOGÍA

- Muestras
- Perfiles
- Yacimientos
- Drenaje
- Buzamiento
- Curvas Menores (20m)
- Curvas Mayores (100m)

YACIMIENTO FDSS					
Punto	Norte	Este	Punto	Norte	Este
A	9217684	788459	A'	9217970	788625
B	9217598	788574	B'	9217922	788750
C	9217533	788694	C'	9217850	788869
D	9217481	788827	D'	9217783	788996
E	9217434	788956	E'	9217694	789101

MUESTRAS		
Código	Norte	Este
BAME-01	9217521	788929
BAME-02	9217613	788665
BAME-03	9217719	788487
BAME-04	9217822	788619

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas</p>	
TESIS PROFESIONAL:		
CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL- CAJAMARCA		
PLANO:	UBICACIÓN DEL YACIMIENTO FDSS	DATUM:
TESISTA:	Bach. Báez Meléndez Edwin Manuel	UTM WGS 84
ASESOR:	M.Cs. Ing. Arapa Vilca Víctor Ausberto	P - 07
FECHA:	Julio 2024	
	ESCALA:	1:5.000



SIMBOLOGÍA

- Muestras
- Perfiles
- Yacimientos
- Drenaje
- Buzamiento
- Curvas Menores (20m)
- Curvas Mayores (100m)

YACIMIENTO FISS

Punto	Norte	Este	Punto	Norte	Este
A	9215516	789082	A'	9216026	789289
B	9215408	789211	B'	9216007	789451
C	9215365	789337	C'	9215969	789587
D	9215340	789462	D'	9215916	789715
E	9215348	789595	E'	9215848	789815

MUESTRAS

Código	Norte	Este
BAME-05	9215885	789289
BAME-06	9215701	789672
BAME-07	9215508	789532
BAME-08	9215705	789206



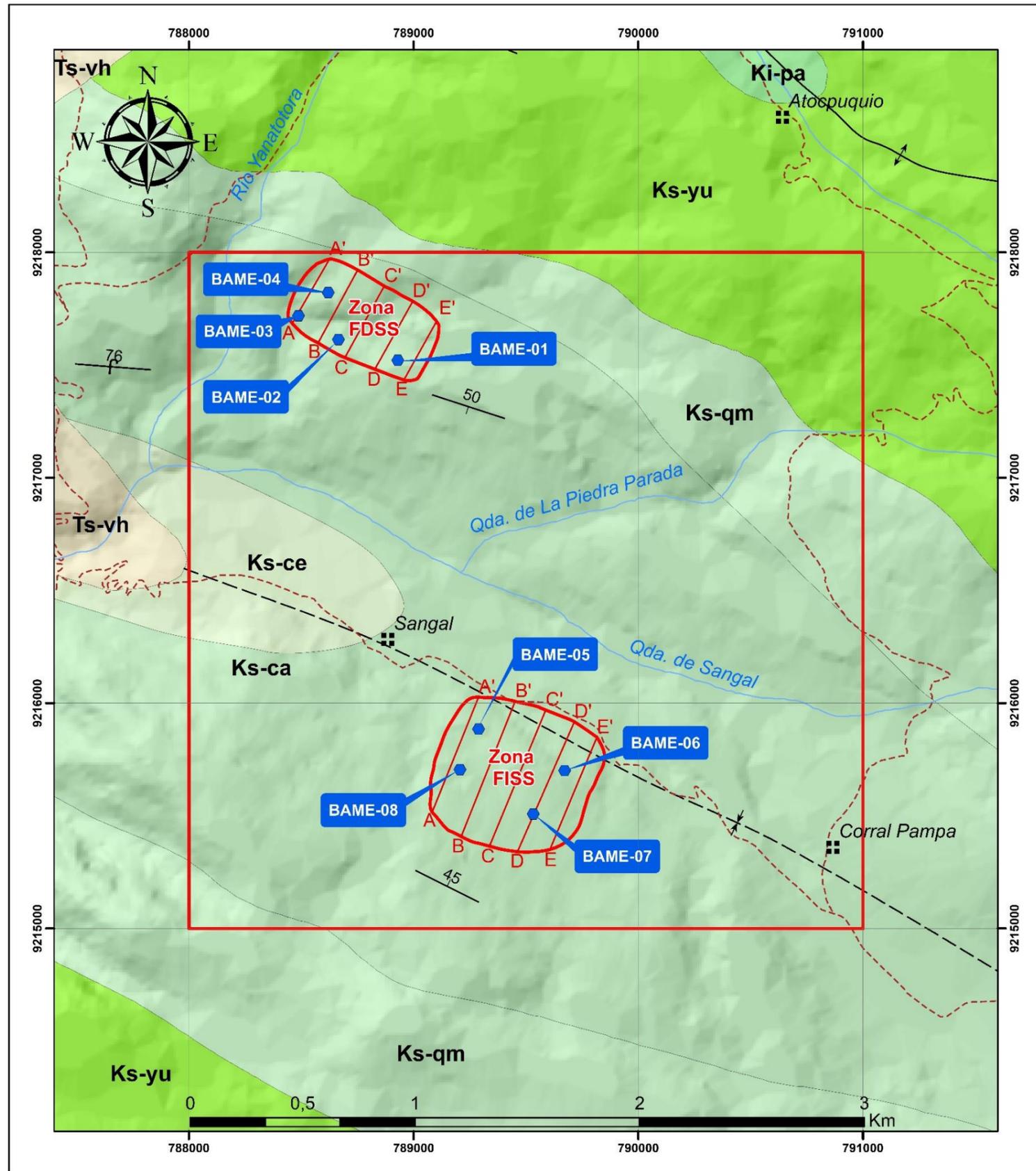
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas
 Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas



TESIS PROFESIONAL:

CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL- CAJAMARCA

PLANO:	UBICACIÓN DEL YACIMIENTO FISS		DATUM:
TESISTA:	Bach. Báez Meléndez Edwin Manuel		UTM WGS 84
ASESOR:	M.Cs. Ing. Arapa Vilca Víctor Ausberto		P - 08
FECHA:	Julio 2024	ESCALA: 1:5.000	



SIMBOLOGÍA

- Muestras
- Puntos
- Perfiles
- ⬭ Yacimientos
- Área de Investigación
- ⋯ Vías
- Drenaje
- Buzamiento
- Eje de anticlinal
- Rumbo y buzamiento de capas invertidas
- Sinclinal probable

Código	Norte	Este
BAME-01	9217521	788929
BAME-02	9217613	788665
BAME-03	9217719	788487
BAME-04	9217822	788619
BAME-05	9215885	789289
BAME-06	9215701	789672
BAME-07	9215508	789532
BAME-08	9215705	789206

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas	
TESIS PROFESIONAL:		
CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL- CAJAMARCA		
PLANO:	UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS	DATUM:
TESISTA:	Bach. Báez Meléndez Edwin Manuel	UTM WGS 84
ASESOR:	M.Cs. Ing. Arapa Vilca Victor Ausberto	P - 09
FECHA:	Julio 2024 ESCALA: 1:20.000	

ANÁLISIS QUÍMICOS

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE ROCA CALIZA

SOLICITA : BÁEZ MELÉNDEZ EDWIN MANUEL
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL – CAJAMARCA.

PROCEDENCIA : CENTRO POBLADO SANGAL
UBICACIÓN : YACIMIENTOS FDSS
COORDENADAS : 9217521, 788929
MUESTRA : BAME - 01
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/10/2023

I. PORCENTAJE (%) DE CARBONATO DE CALCIO (CaCO₃)

MUESTRA	% de CaCO ₃
BAME – 01	94.62

II. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS
Óxido de Calcio (CaO)	45.20
Óxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	1.33
Óxido de Magnesio (MgO)	0.45
Óxido de Silicio (SiO ₂)	12.07
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	1.44
Perdidas	34.13

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

NORMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131-2008


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

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE ROCA CALIZA

SOLICITA : BÁEZ MELÉNDEZ EDWIN MANUEL
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL – CAJAMARCA
PROCEDENCIA : CENTRO POBLADO SANGAL
UBICACIÓN : YACIMIENTOS FDSS
COORDENADAS : 9217613, 788665
MUESTRA : BAME - 02
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/10/2023

I. PORCENTAJE (%) DE CARBONATO DE CALCIO (CaCO₃)

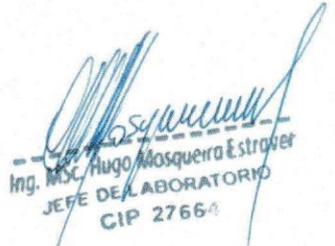
MUESTRA	% de CaCO ₃
BAME – 02	93.78

II. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS
Óxido de Calcio (CaO)	44.28
Óxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	1.42
Óxido de Magnesio (MgO)	0.43
Óxido de Silicio (SiO ₂)	12.22
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	1.25
Perdidas	34.18

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

NORMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131-2008


 Ing. MSC. Hugo Mosquera Estrada
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP 2766

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE ROCA CALIZA

SOLICITA : BÁEZ MELÉNDEZ EDWIN MANUEL
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL – CAJAMARCA
PROCEDENCIA : CENTRO POBLADO SANGAL
UBICACIÓN : YACIMIENTOS FDSS
COORDENADAS : 9217719, 788487
MUESTRA : BAME - 03
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/10/2023

I. PORCENTAJE (%) DE CARBONATO DE CALCIO (CaCO₃)

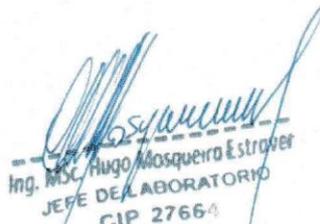
MUESTRA	% de CaCO ₃
BAME – 03	94.59

II. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS
Óxido de Calcio (CaO)	41.28
Óxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	1.52
Óxido de Magnesio (MgO)	0.64
Óxido de Silicio (SiO ₂)	12.55
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	2.54
Perdidas	36.06

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

NORMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131-2008


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

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE ROCA CALIZA

SOLICITA : BÁEZ MELÉNDEZ EDWIN MANUEL
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL – CAJAMARCA
PROCEDENCIA : CENTRO POBLADO SANGAL
UBICACIÓN : YACIMIENTOS FDSS
COORDENADAS : 9217822, 788619
MUESTRA : BAME - 04
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/10/2023

I. PORCENTAJE (%) DE CARBONATO DE CALCIO (CaCO₃)

MUESTRA	% de CaCO ₃
BAME – 04	94.01

II. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS
Óxido de Calcio (CaO)	42.22
Óxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	2.12
Óxido de Magnesio (MgO)	0.33
Óxido de Silicio (SiO ₂)	13.12
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	1.55
Perdidas	34.67

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

NORMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131-2008


 Ing. MSc. Hugo Alosqueiro Estróver
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP 2766-A

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE ROCA CALIZA

SOLICITA : BÁEZ MELÉNDEZ EDWIN MANUEL
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL – CAJAMARCA
PROCEDENCIA : CENTRO POBLADO SANGAL
UBICACIÓN : YACIMIENTOS FDSS
COORDENADAS : 9215885, 789289
MUESTRA : BAME - 05
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/10/2023

I. PORCENTAJE (%) DE CARBONATO DE CALCIO (CaCO₃)

MUESTRA	% de CaCO ₃
BAME – 05	96.45

II. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS
Óxido de Calcio (CaO)	41.30
Óxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	1.44
Óxido de Magnesio (MgO)	0.33
Óxido de Silicio (SiO ₂)	13.01
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	1.55
Perdidas	38.82

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

NORMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131-2008


 Ing. MSC. Hugo Alasqueira Estróver
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP 27664

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

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE ROCA CALIZA

SOLICITA : BÁEZ MELÉNDEZ EDWIN MANUEL
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL – CAJAMARCA

PROCEDENCIA : CENTRO POBLADO SANGAL
UBICACIÓN : YACIMIENTOS FDSS
COORDENADAS : 9215701, 789672
MUESTRA : BAME - 06
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/10/2023

I. PORCENTAJE (%) DE CARBONATO DE CALCIO (CaCO₃)

MUESTRA	% de CaCO ₃
BAME – 06	95.03

II. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS
Óxido de Calcio (CaO)	41.90
Óxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	1.49
Óxido de Magnesio (MgO)	0.88
Óxido de Silicio (SiO ₂)	13.01
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	2.44
Perdidas	35.31

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

NORMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131-2008


Ing. MSc. Hugo Mosquera Estrada
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27662

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE ROCA CALIZA

SOLICITA : BÁEZ MELÉNDEZ EDWIN MANUEL
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL – CAJAMARCA
PROCEDENCIA : CENTRO POBLADO SANGAL
UBICACIÓN : YACIMIENTOS FDSS
COORDENADAS : 9215508, 789532
MUESTRA : BAME - 07
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/10/2023

I. PORCENTAJE (%) DE CARBONATO DE CALCIO (CaCO₃)

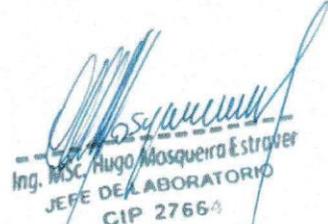
MUESTRA	% de CaCO ₃
BAME – 07	95.52

II. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS
Óxido de Calcio (CaO)	41.90
Óxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	2.49
Óxido de Magnesio (MgO)	0.88
Óxido de Silicio (SiO ₂)	13.01
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	2.44
Perdidas	34.80

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

NORMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131-2008


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

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE ROCA CALIZA

SOLICITA : BÁEZ MELÉNDEZ EDWIN MANUEL
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAJAMARCA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO). CENTRO POBLADO SANGAL – CAJAMARCA
PROCEDENCIA : CENTRO POBLADO SANGAL
UBICACIÓN : YACIMIENTOS FDSS
COORDENADAS : 9215705, 789206
MUESTRA : BAME - 08
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD : CRETÁCICO SUPERIOR
FECHA : 10/10/2023

I. PORCENTAJE (%) DE CARBONATO DE CALCIO (CaCO₃)

MUESTRA	% de CaCO ₃
BAME – 08	96.56

II. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS
Óxido de Calcio (CaO)	42.85
Óxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	2.57
Óxido de Magnesio (MgO)	0.88
Óxido de Silicio (SiO ₂)	13.55
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	2.62
Perdidas	34.09

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

NORMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.131-2008


 Ing. MSc. Hugo Mosquera Estrayer
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP 2766

ANEXO DE FOTOS



Anexo 1. Calizas de la Formación Cajamarca aflorando en el flanco izquierdo del sinclinal Sangal y que constituye el yacimiento FISS.



Anexo 2. Calizas de la Formación Cajamarca aflorando en el flanco derecho del sinclinal Sangal y que constituye el yacimiento FDSS.



Anexo 3. Localidad de Sangal. Al fondo se observan los afloramientos de calizas de la Formación Cajamarca del yacimiento FDSS



Anexo 4. Afloramiento de calizas de la Formación Cajamarca que se observan al Sur de la localidad de Sangal.