



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“INFLUENCIA DE LA CALIDAD DE LA ROCA CALIZA EN EL
DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN EN MINERA NO
METÁLICA DE CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Rafael Orihuela Verano

Asesor:

Ing. Rafael Napoleón Ocas Boñón

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

Dedico intensamente a toda mi familia que siempre estuvo conmigo apoyándome siempre con sus buenos consejos y por estar siempre a mi lado en los malos y buenos momentos. A mis hermanos por motivarme a continuar mis estudios superiores para de esa manera cumplir todos mis sueños anhelados.

Rafael.

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos totales a Dios, a mi familia y a mis padres, en especial a mi asesor Ing. Rafael Napoleón Ocas Boñón quien me apoyo incondicionalmente para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, ya que sin su apoyo no hubiera logrado todas mis expectativas de superación.

Rafael.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
TABLA DE CONTENIDOS.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática	9
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Objetivos.....	12
<i>1.3.1. Objetivo general</i>	<i>12</i>
<i>1.3.2. Objetivos específicos</i>	<i>12</i>
1.4. Hipótesis	12
<i>1.4.1. Hipótesis general.....</i>	<i>12</i>
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	13
2.1. Tipo de investigación.....	13
<i>Enfoque de investigación</i>	<i>13</i>
<i>Nivel de investigación</i>	<i>13</i>
<i>Diseño de investigación</i>	<i>13</i>
2.2. Población y muestra	14
<i>2.2.1. Población.....</i>	<i>14</i>
<i>2.2.2. Muestra.....</i>	<i>14</i>
<i>2.2.3. Métodos.....</i>	<i>14</i>
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	14
<i>a. Técnicas</i>	<i>14</i>
<i>b. Instrumentos de recolección</i>	<i>15</i>
<i>c. Etapa de análisis de información</i>	<i>15</i>
2.4. Procedimiento de recolección de datos	16
<i>2.4.1. Recolección de datos</i>	<i>16</i>
<i>2.4.2. Etapa de gabinete</i>	<i>17</i>

2.4.3. <i>Etapa de campo</i>	18
a. <i>Ubicación</i>	18
b. <i>Accesibilidad</i>	19
c. <i>Trabajo realizado</i>	20
2.4.4. <i>Elaboración de tesis</i>	20
CAPÍTULO III. RESULTADOS	21
3.1. <i>Reconocimiento de unidades geológicas del área de estudio de la minera no metálica en la ciudad de Cajamarca</i>	21
3.2. <i>Resultado de estudio físico químico de las rocas calizas presentes en el área de estudio para zonificar las posibles áreas de interés de la minera no metálica de Cajamarca</i>	29
3.3. <i>Análisis estructural para plantear el diseño de método de explotación en la minera no metálica en la ciudad de Cajamarca</i>	44
3.4. <i>Diseño de método de explotación de la roca caliza en la minera no metálica en la ciudad de Cajamarca</i>	46
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	52
4.1. <i>Discusión</i>	52
4.2. <i>Conclusiones</i>	54
REFERENCIAS	56
ANEXOS	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Fases de información.....	17
Tabla 2 Corresponde a la accesibilidad principal de la zona.....	20
Tabla 3 Ubicaciones de las muestras tomadas.....	29
Tabla 4 Características físicas de las calizas.....	30
Tabla 5 Índice de resistencia a la carga puntual de las calizas de la formación Yumagual.....	31
Tabla 6 Índice de resistencia a la carga puntual de las calizas de la formación Quilquiñan.....	31
Tabla 7 Índice de resistencia a la carga puntual de las calizas de la formación Cajamarca.....	32
Tabla 8 Índice de resistencia a la carga puntual de las calizas de la formación Celendín.....	32
Tabla 9 Índice de resistencia a la carga puntual de las muestras.....	32
Tabla 10 Ficha de muestreo.....	34
Tabla 11 Clasificación según la clase y calidad.....	37
Tabla 12 Índice de la calidad de RQD (%).....	37
Tabla 13 Análisis físico de las calizas de la formación Yumagual.....	38
Tabla 14 Análisis físico de las calizas de la formación Quilquiñan.....	38
Tabla 15 Análisis físico de las calizas de la formación Cajamarca.....	38
Tabla 16 Análisis físico de las calizas de la formación Celendín.....	38
Tabla 17 Composición química de las calizas de la formación Yumagual.....	39
Tabla 18 Composición química de las calizas de la formación Quilquiñan.....	40
Tabla 19 Composición química de las calizas de la formación Cajamarca.....	41
Tabla 20 Composición química de las calizas de la formación Celendín.....	42
Tabla 21 Análisis de todas las muestras.....	43
Tabla 22 Especificaciones técnicas del equipo de perforación.....	47
Tabla 23 Especificaciones técnicas del equipo.....	48
Tabla 24 Disponibilidad física y mecánica de la perforadora.....	49
Tabla 25 Parámetros para el tajo de explotación.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación detallada de la zona de trabajo.....	19
Figura 2 Formación Yumagual.....	23
Figura 3 Formación Quilquiñan.	24
Figura 4 Contacto dentro de los tipos de rocas.....	25
Figura 5 Contacto y facie 2.	26
Figura 6 Calizas.....	27
Figura 7 Estructura lenticular de maganeso.	27
Figura 8 Gossan.....	28
Figura 9 Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de suelos y rocas a partir de índices de campo.....	33
Figura 10 Figura para encontrar la resistencia a la compresión uniaxial a partir del martillo Schmidt.....	33
Figura 11 Determinación de resistencia.	35
Figura 12 Clasificación según las condiciones de las discontinuidades.....	36
Figura 13 Orientación del rumbo y buzamiento.....	37
Figura 14 Composición química de calizas – Formación Yumagual M1.	39
Figura 15	40
Figura 16 Composición química de calizas – Formación Cajamarca M3.....	41
Figura 17 Composición química de calizas – Formación Cajamarca M4.....	42
Figura 18 Composición química de calizas – Formación Celendín M5.	43
Figura 19 Composición química de calizas – Todas las muestras.	44
Figura 20 Pliegue encontrado en la Fm Cajamarca.....	45
Figura 21 Volcánico Huambos con alto fracturamiento.....	45
Figura 22 Microfalla hallada cerca a la falla normal anterior.	46

RESUMEN

La presente investigación plantea un objetivo principal de determinar la influencia de la calidad de la roca caliza en el diseño del método de explotación en minera no metálica de Cajamarca. La metodología empleada para el desarrollo tiene un enfoque de investigación cualitativa, un nivel de investigación descriptivo y el diseño de investigación es no experimental, puesto que se realizó la recolección de información y toma de datos de campo, para luego ser analizadas. Se hizo el reconocimiento de unidades geológicas de acuerdo a las formaciones identificadas en la zona de estudio, también se logró hacer el análisis físico y químico de las rocas calizas. Los datos fueron identificados en campo posterior a ello aproximando el rango de resistencia a compresión simple y la resistencia uniaxial a partir del martillo Schmidt, conjuntamente con el reconocimiento geomecánico. Se identifica la resistencia de la roca: clase R4, Resistente, Resistencia uniaxial entre 50–100, índice de carga puntual 2-4. La clasificación según su clase y calidad son: Clase I, Calidad muy buena y la puntuación 100-81. El RQD% de 75–90, donde su calidad es buena. Se realizó el análisis físico químico de las calizas de acuerdo a sus formaciones (Yumagual, Quilquiñan, Cajamarca y Celendín). Se consideró el análisis estructural para plantear el diseño de explotación identificando pliegues, fracturas y fallas. Se planteó el diseño de método de explotación donde a través de los parámetros obtuvimos los resultados de altura de banco, 5 m, ancho de bermas 6.06 m, altura final del tajo 36 m, largo final del tajo 80 m, número de bancos 7 y los ángulos de los bancos de 75°. Se concluyó reconociendo las 4 formaciones, asimismo, se realizó estudios físico químicos obteniendo resultados favorables. A partir de la clasificación geomecánica se escogió la formación Cajamarca, por lo que es una roca buena y considerando los equipos a emplear.

Palabras claves: Roca, caliza, diseño, explotación minera, minería no metálica.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Actualmente, en la ciudad de Cajamarca ha surgido el interés por la explotación de la roca caliza ya que geológicamente la región presenta formaciones calcáreas, por ello; es necesaria la caracterización de la roca caliza y a su vez estudiar la influencia en la evaluación de la calidad de roca en la minera no metálica; en la actualidad se ha superado la demanda en cuanto a la explotación minera no metálica en Cajamarca, queriéndose enfocar en objetivos específicos como el análisis de la calidad de la roca caliza de acuerdo a sus características físicas y/o químicas.

La evaluación físico química apropiada de las calizas además de servir de base en el diseño de obras mineras, contribuye de manera eficaz en la optimización del método de explotación permitiendo el análisis; tomando en consideración el método aplicado y periodo de tiempo.

Recordemos entonces que la roca caliza está formada de una serie de compuestos químicos, en el que la presencia de los carbonatos de calcio y de magnesio son más significativas, refiriéndose a estos como los principales componentes de la caliza. (Valdiviezo & Ramírez, 2009).

Para (Lhoist, 2019), si hablamos de la industria en construcción incluyendo componentes básicos como el material de construcción, ornamentación y mano de obra, la calidad de la roca referida y encontrada en un yacimiento nos ayudará a determinar el nivel de influencia efectiva dependiendo principalmente del estado en el que sea encontrada, es decir; su proceso de evolución a lo largo del tiempo así como el ambiente de formación y los procesos geológicos que influyeron a su almacenamiento, solo así

esto ayudara a determinar la cantidad de material carbonatado y se detectará el nivel de impureza asociados a la roca caliza.

El proyecto está pensado en la optimización segura de los recursos mineros, en cuanto a la infraestructura y el diseño de explotación no metálica, refiriéndose al índice de roca, donde se pretende buscar un método de explotación a aplicar.

Toda esta información que se obtendrá de este estudio será necesaria para determinar la factibilidad y la influencia de la calidad de la roca caliza en la producción de explotación en minería no metálica en Cajamarca, determinando a su vez el destino final de la roca. Como se sabe, hoy en día la roca caliza tiene o desempeña un papel muy importante dentro de las industrias, principalmente en la industria de la construcción y esto no solo se debe a que presenta una gran diversidad de aplicaciones tanto como material de construcción y/o ornamentación, sino que también porque dicha roca es uno de las principales componentes para la fabricación del cemento y también la cal. La calidad de roca caliza en un yacimiento dependerá principalmente de cómo esta haya evolucionado a lo largo del tiempo y su ambiente de formación presente, esto determinaría la cantidad de materiales carbonatados adjuntos como impurezas a la roca principal tales como arcillas, cuarzo, arena, entre otras (Lhoist, 2020).

Koerber et. al. (2003) en su artículo publicado por la Universidad de Concepción en Chile titulado “Exploración de caliza para uso industrial en la zona centro sur de Chile” concluye que un gran yacimiento de caliza con base en un levantamiento topográfico y geológico, y en un muestreo detallado, se identificó que las características de la zona alcanzaban los 28 millones de toneladas de caliza de alta ley con 83% de CaCO_3 y en algunas partes alcanzando el 90%. Se determinó de igual manera que los recursos de esta caliza están situados cerca a diferentes infraestructuras entre 0.1 y 3 km de la

carretera internacional, y es viable operar a tajo abierto ya que no se han observado

problemas medioambientales ni para construcción u operación de la planta de procesamiento.

Culqui (2017) en su tesis titulada “Influencia de la calidad de las calizas para la producción de cal viva en la calera de conga del caserío de Sogorón Alto distrito de La Encañada, Cajamarca 2017” para obtener grado de Bachiller en Ingeniería de Minas se planteó el objetivo general de determinar la influencia de la calidad de las calizas para la producción de cal viva en la calera “La Conga”. Teniendo como metodología la recolección de muestras con método aleatorio y tomando 2 muestras más representativas de caliza y recolectándose datos característicos de la geología del área de interés, así como también reconociendo las formaciones geológicas; posteriormente de acuerdo con los estándares comparativos se determinará la calidad de calizas que van desde muy malas hasta muy buenas dependiendo del porcentaje de carbonato cálcico que contengan. Se concluyó que los resultados la influencia de la calidad de la roca caliza es alta para la producción de cal viva en la calera La conga y que además el cálculo promedio de los resultados en cuanto al porcentaje de carbonato de calcio se obtuvo un 93.92% determinándose así que la calidad es buena.

Bajo estas premisas podemos decir que la roca caliza tiene varios factores que influyen en su calidad que son, la dureza de la roca, las impurezas presentes y la variación de la calidad de la roca en diferentes zonas del yacimiento.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la calidad de la roca caliza en el diseño del método de explotación en minera no metálica de Cajamarca?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la calidad de la roca caliza en el diseño del método de explotación en minera no metálica de Cajamarca.

1.3.2. Objetivos específicos

- Reconocer las diferentes unidades geológicas del área de estudio de la minera no metálica en la ciudad de Cajamarca.
- Realizar el estudio físico químico de las rocas calizas presentes en el área de estudio para zonificar las posibles áreas de interés de la minera no metálica en la ciudad de Cajamarca.
- Realizar la clasificación geomecánica del macizo rocoso para plantear el diseño de método de explotación en la minera no metálica en la ciudad Cajamarca.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La calidad de la roca caliza influye en el diseño de explotación en minera no metálica de Cajamarca.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Enfoque de investigación

El tipo de investigación será Cuantitativa, según los investigadores Hernández, Fernández y Baptista (2014), es secuencial y probatorio, donde cada etapa precede a la siguiente y no podemos saltar o eludir pasos. Su orden es muy riguroso, ya que desde luego se pueden redefinir algunas fases. Forma parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación revisando la literatura donde construye un marco o una perspectiva teórica.

Nivel de investigación

El nivel de esta investigación será descriptivo, según los autores Hernández, Fernández, y Baptista (2014), donde manifiesta que una investigación descriptiva es aquella que comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos; por ende, nos permite realizar la descripción de las variables y contribuyendo a la explicación de dichas variables, con el fin de entender correctamente el problema de investigación.

Diseño de investigación

Según los autores Hernández, Fernández y Baptista (2014), señalan que el diseño de investigación no experimental, es aquella que realiza sin alterar deliberadamente las variables. Es decir, es una investigación donde no se varía intencionalmente las variables de estudio que posee. (p.152).

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Todas las rocas calizas presentes en la unidad de estudio.

2.2.2. Muestra

Para esta investigación se ha considerado como muestra a la roca caliza.

2.2.3. Métodos

Método Inductivo – Deductivo. Mediante el presente método, se obtuvo conocimientos tanto generales, particular y viceversa; es decir, del análisis de cada variable implicada en el objetivo de investigación se podrá efectuar generalidades con relevancia científica donde permitan sustentar afirmaciones en relación a la hipótesis ya formulada.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

a. Técnicas

Revisión documental: Los recursos empleados para recuperación de información fueron mayormente informáticos, donde se logra consultar páginas web, libros digitales y virtuales, artículos científicos a través de bases de datos de fuentes confiables que son: Redalyc, Scielo, Concytec, entre otras fuentes, paralelo a ello se ha realizado la revisión de la literatura de científica, considerando la información desde el año 2016 hasta 2021, para tal se ha hecho uso como instrumento a una ficha de organización de información.

Para obtener la información de manera rápida y eficaz se toma en cuenta las palabras

claves para escribir en el buscador virtual, en tal sentido los resultados de búsqueda son más rápida.

b. Instrumentos de recolección

- ✓ Fichas de organización de información.
- ✓ Fichas bibliográficas
- ✓ Fichas de muestreo

c. Etapa de análisis de información

En la revisión sistemática para el análisis de información se ha valido de los siguientes criterios: 1) El criterio de inclusión ha sido por los objetivos que están enfocados a la calidad de la roca caliza, además, en relación a la pregunta de investigación ¿Cuál es la influencia de la calidad de la roca caliza en el diseño del método de explotación en minera no metálica de Cajamarca?, también porque los resultados son claros y explícitos; además de presentar una metodología bien estructurada. 2) Los criterios de exclusión han sido aplicados a aquellos estudios que no presentan resultados afines con lo que se quiere lograr en la presente investigación, por el tiempo (no mayor a 5 años), por los que no presentan contenidos completos, tal es el caso de que en ciertos casos solo se presenta un índice o un resumen, lo cual dificulta poder rescatar información relativa sobre al tema en cuestión.

2.4. Procedimiento de recolección de datos

Para la elaboración de esta investigación en mención, se ejecutaron dos etapas básicas e importantes, las cuales son clasificadas en etapa de: recolección de datos y análisis de datos.

2.4.1. Recolección de datos

Revisión de bibliográfica

El estudio se comenzó con la recopilación de información, evaluación de estudios e investigaciones anteriores a nivel regional, nacional e internacional, en tal sentido sirven como sustento teórico y aplicativo para la realización del estudio. Con la información obtenida se generó una base de datos donde nos permite realizar los trabajos de interpretación de la información documentada y analizada para las fases posteriores del trabajo de investigación, puesto que la información se buscó en fuentes confiables como buscadores académicos que se presentan a continuación.

Las informaciones fueron averiguadas en buscadores académicos más utilizados, dentro de ellos son: Redalyc, Scielo, Repositorios, Bibliotecas virtuales, entre otros. Según nuestras bases de datos consultadas de acuerdo a la información encontrada se obtuvo: google académico (14), Redalyc (09), Scielo (08), Concytec (10) y Alicia (08).

Los criterios de selección que fueron tomados en cuenta son: tesis y artículos científicos menor a 5 años de publicación, donde se toma decisiones de incluir o rechazar de acuerdo a las palabras claves que se tienen en el artículo o tesis. Puesto que nos ayuda a seleccionar y organizar nuestra información.

Con respecto a la información seleccionada se considera y se organiza de acuerdo al título, año de publicación, país, entre otros. Cabe resaltar, que los criterios de selección y depuración de bibliografía se hicieron de acuerdo al tiempo, teniendo en cuenta el año que sea no mayor a cinco años y palabras claves.

2.4.2. Etapa de gabinete

En esta etapa se desarrolló el procesamiento de datos obtenidos en campo, redacción del informe, así como la digitalización del plano geológico, construcción de perfiles geológicos, reconstrucción de eventos geológicos, análisis petrográfico, etc.

Adicionalmente, se procedió a la compilación literaria, principalmente el agenciamiento de libros de Geología Estructural, Geología de Yacimientos Minerales, análisis digital mediante imágenes de satélite, vías de acceso, además de revisión de informes y trabajos de anteriores, también la obtención del plano de la zona a escala 1:10000 para el cartografiado.

Tabla 1

Fases de información

Recolección de información	Análisis de información	Planificación
- Trabajos anteriores	- Foto interpretar	- De la investigación a realizar
- Planos de la zona	- Bosques del trabajo	(tanto en el campo y gabinete)
- Fotos aéreas, etc.	- Detalles geológicos	- De investigación final

2.4.3. Etapa de campo

Se desarrolló mediante la técnica de cartografiado geológico, el cual consistió en la identificación y delimitación de unidades, identificación de fallas y fracturas, toma de rosas estructurales, identificación macroscópica y microscópicas de rocas y minerales. Para el estudio se consideró:

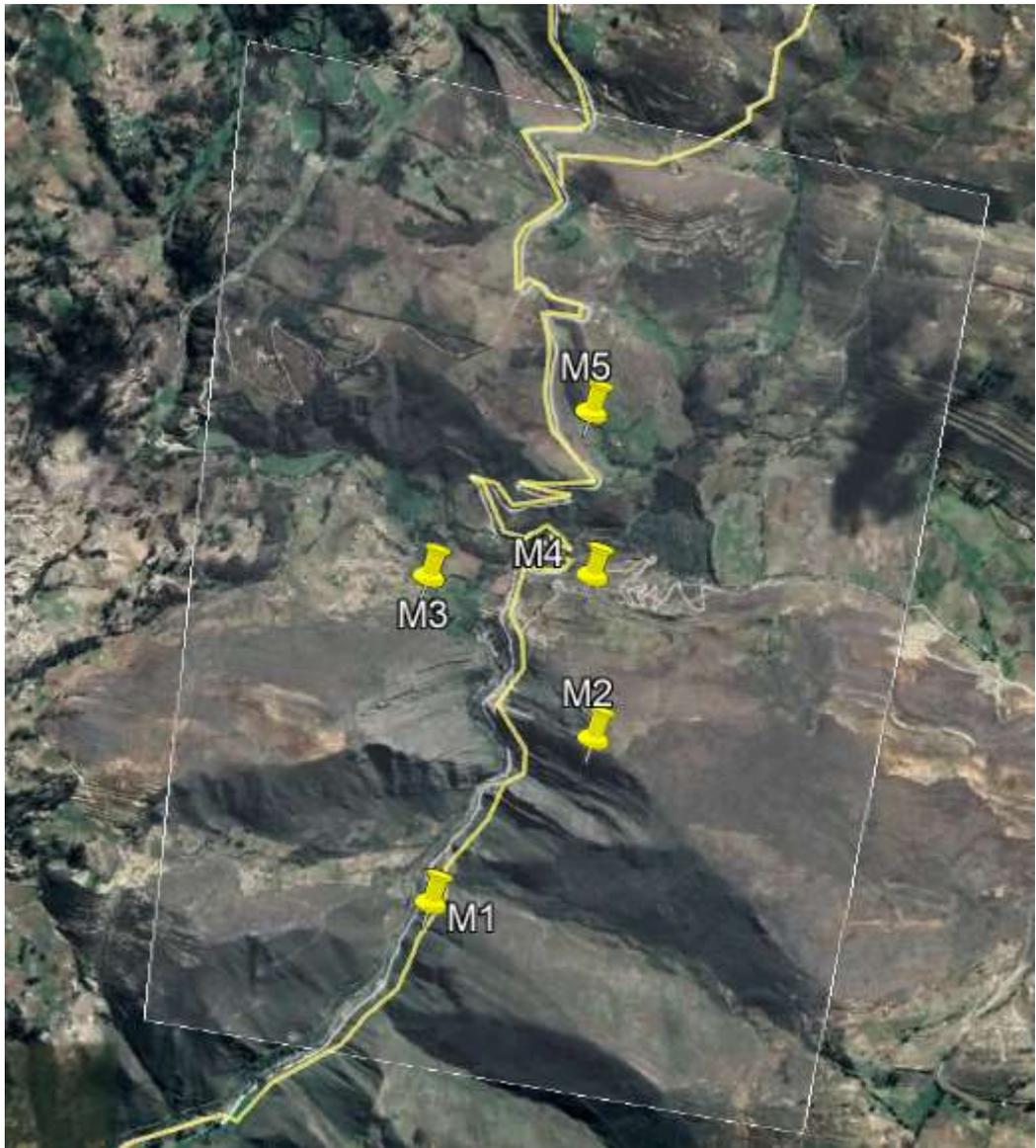
a. Ubicación

Geográficamente, de acuerdo con el globo terráqueo se encuentra ubicada en el continente americano.

- ✓ **País:** Perú el cual está ubicado en la región occidental de América del Sur.
- ✓ **Departamento:** Cajamarca
- ✓ **Provincia:** Cajamarca.
- ✓ **Distrito:** Combayo

Figura 1

Ubicación detallada de la zona de trabajo



b. Accesibilidad

Para llegar a la zona de estudio se puede hacer uso de 2 diferentes tramos, el primero partiendo de la ciudad de Cajamarca hacia Otuzco seguidamente transportarnos por la carretera a Combayo.

Tabla 2

Corresponde a la accesibilidad principal de la zona.

TRAMO	Tipo de Movilidad	TIPO DE CARRETERA	TIEMPO (min)	DISTANCIA (Km)
Cajamarca – Otuzco	Combi	Asfaltada	20	8
Otuzco – Sangal	Combi	Afirmada	70	20
Sangal - Área de trabajo	Pie	Caminos de Herradura	20	--
TOTAL			110	28

Nota, para llegar a la zona de estudio se llega por tramos, desde Cajamarca hasta Sangal vamos en combi, pasando por varios tipos de carretera (Asfaltada, afirmada y caminos de herradura). El tiempo para llegar hacia el área de estudio es 1 hora y media aproximadamente.

c. Trabajo realizado

Se planificó la salida de campo, donde se realizó el reconocimiento geológico de la zona, del mismo modo se procede a la toma de muestras con el propósito de ser analizadas a detalle.

2.4.4. Elaboración de tesis

Con los resultados adquiridos y con la información necesaria se procedió a organizar el contenido de la actual investigación, para ello se hizo uso del formato actual de tesis que maneja la Universidad Privada del Norte.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

En el presente capítulo se desarrollan los resultados obtenidos, a través la influencia de la calidad de la roca caliza en el diseño del método de explotación en minera no metálica de Cajamarca. Básicamente el estudio se enfoca en determinar la calidad de la roca caliza en el diseño del método de explotación.

3.1. Reconocimiento de unidades geológicas del área de estudio de la minera no metálica en la ciudad de Cajamarca.

En la zona se encontraron las siguientes formaciones, dentro de ellas tenemos:

3.1.1. Formación Yumagual

Eontema	:	Fanerozoico
Eratema	:	Mesozoico
Sistema	:	Cretáceo
Serie	:	Inferior – Superior
Piso	:	Albiano - Cenomoniano
Grosor	:	700 m.
Correlación	:	
Zona centro	:	Familia Jumasha (inferior)
Zona sur	:	Fm. Moho (medio/superior)
Estudiado	:	Esta denominación fue dada por Tafur (1950) Y Benavides (1956)

Litología

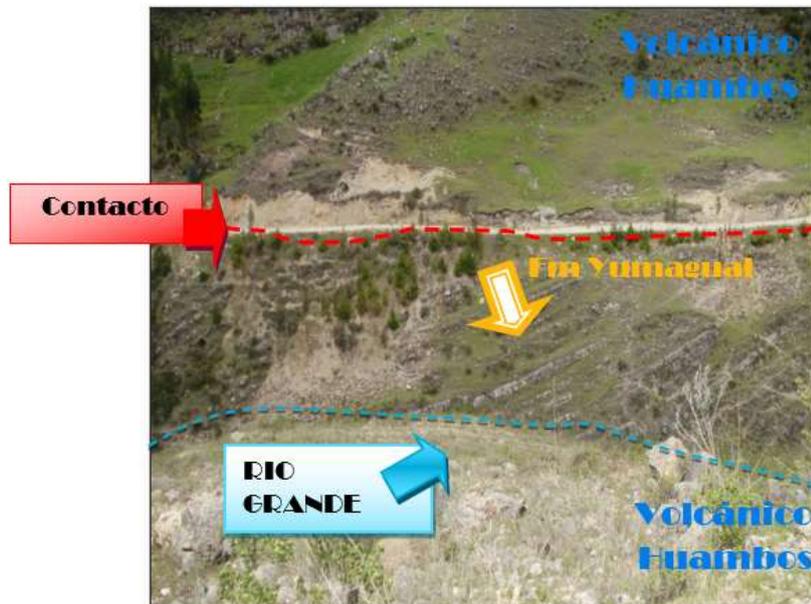
Formación Yumagual suprayace con leve discordancia a la formación Pariatambo a infrayace con aparente concordancia a la formación Mujarrúm y Grupo Quilquiñan indiviso. La formación Yumagual consiste en una secuencia de margas y calizas gris parduscas en bancos más o menos uniformes, destacando un miembro medio lutáceo margoso, amarillento, dentro de un conjunto homogéneo presenta escarpas alongadas debido a su dureza uniforme algunas veces se intercalan bancos calcáreos, compuestos en su mayor parte por restos de fósiles y microfósiles. En algunos horizontes se observan modulaciones calcáreas.

Fósiles

En la zona encontramos *Ostrea scyphax* COQU. Contacto del tipo discordante entre la formación Yumagual y el volcánico Huambos (Facies 1) en el flanco derecho de la quebrada del río Grande, y hacia el flanco izquierdo la vista del volcánico Huambos (Facies 1).

Figura 2

Formación Yumagual.



Nota, la formación Yumagual se caracteriza por tener un delgado miembro intermedio bastante fosilífero, por lo que litológicamente puede confundírsele con las formaciones Mujarrún o Quilquiñán.

3.1.2. Formación Quilquiñan – Mujarrum:

Eontema : Fanerozoico

Eratema : Mesozoico

Sistema : Cretáceo

Serie : Superior

Piso : Cenomoniano

Grosor : 500 m.

Correlación :

Zona centro : Familia Jumasha (media)

Zona sur : Fm. Moho(superior)

Estudiado : Tafur (1950) Y Benavides (1956)

Litología

Consiste en una gruesa secuencia de calizas nodulares macizas, seguida de una intercalación de margas y lutitas amarillentas, continuando con delgados lechos de calizas nodulares y con margas pardo-amarillentas también fosilíferas y también con bancos de calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas. Descansa concordantemente sobre la formación Yumagual, mientras que en su parte superior infrayace con discordancia paralela a la formación Cajamarca.

Fósiles

Algo característico de esta formación es que contiene abundante *Exogyra ponderosa* y *Exogyra africana*

Figura 3

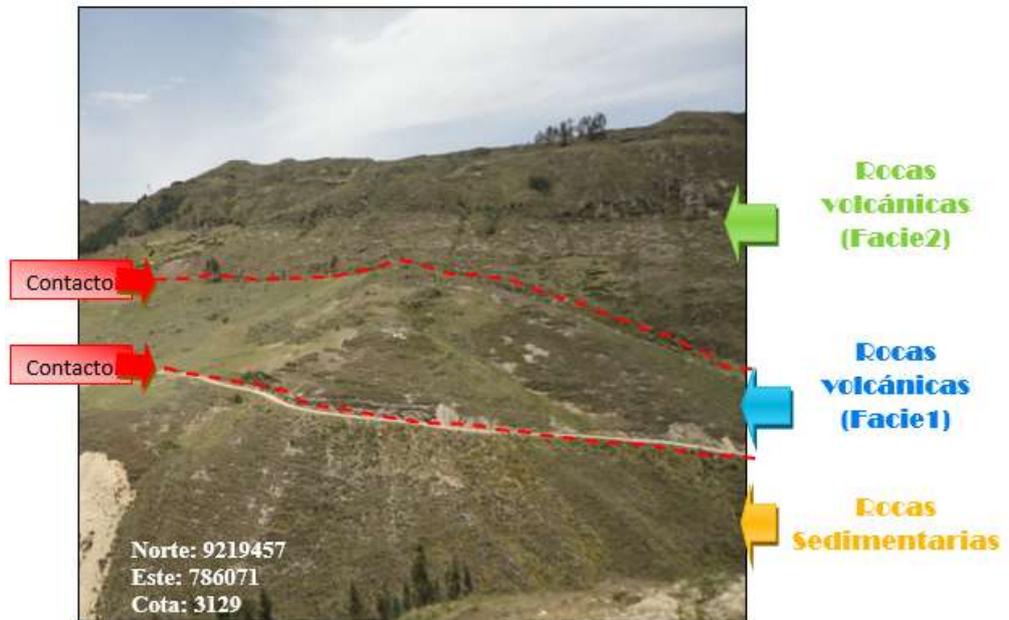
Formación Quilquiñan.



Nota, vista panorámica de la Formación Quilquiñan, contacto discordante entre los depósitos cuaternarios aluviales y la formación Quilquiñan.

Figura 4

Contacto dentro de los tipos de rocas.



Nota, contacto entre la formación Quilquiñan y la facie 2 del volcánico Huambos, contacto que pudo ser inferido por el cambio de topografía.

3.1.3. Formación Cajamarca:

Eontema	:	Fanerozoico
Eratema	:	Mesozoico
Sistema	:	Cretáceo
Serie	:	Superior
Piso	:	Turoniano
Grosor	:	600 m a 700 m.
Correlación	:	
Zona centro	:	Familia Jumasha (superior)
Zona sur	:	Gpo. Chitopampa (inferior)

Estudiado : Benavides (1956)

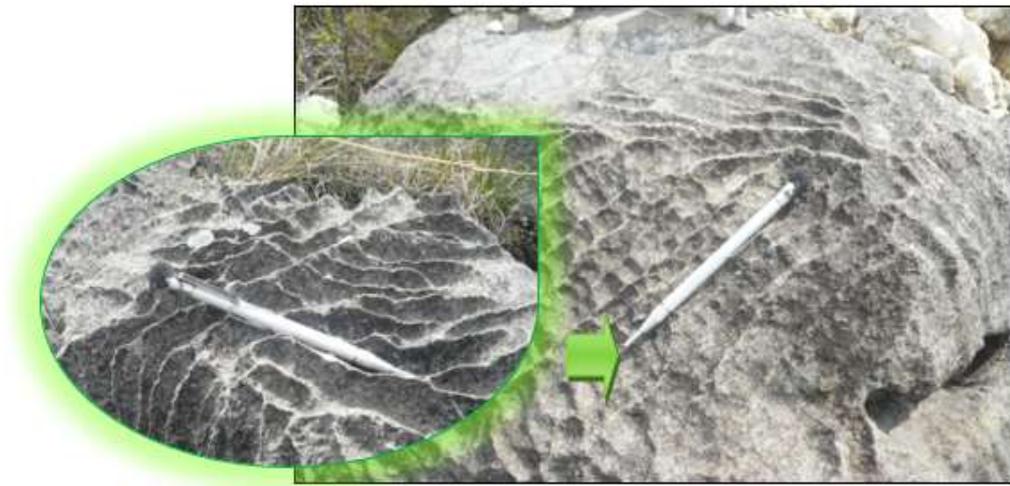
Litología :

Una de las secuencias calcáreas del cretáceo superior que más destacan topográficamente, por su homogeneidad litológica y ocurrencia en bancos gruesos y duros, y cuyos afloramientos exhiben una topografía cárstica con fuertes pendientes y en muchos casos barrancos de paredes inaccesibles.

Generalmente consiste en calizas gris oscuras o azuladas y macizas, con delgados lechos de lutitas y margas de los mismos colores. Esta unidad yace concordantemente sobre el Formación Quilquiñan – Mujarrun y, con la misma relación subyace a la Formación Celendín.

Figura 5

Contacto y facie 2.



Nota, contacto entre la formación Quilquiñan y la facie 2 del volcánico Huambos, contacto que pudo ser inferido por el cambio de topografía.

Figura 6

Calizas.



Nota, calizas de la formación Cajamarca con venillas rellenas de calcita y Limolita.

Figura 7

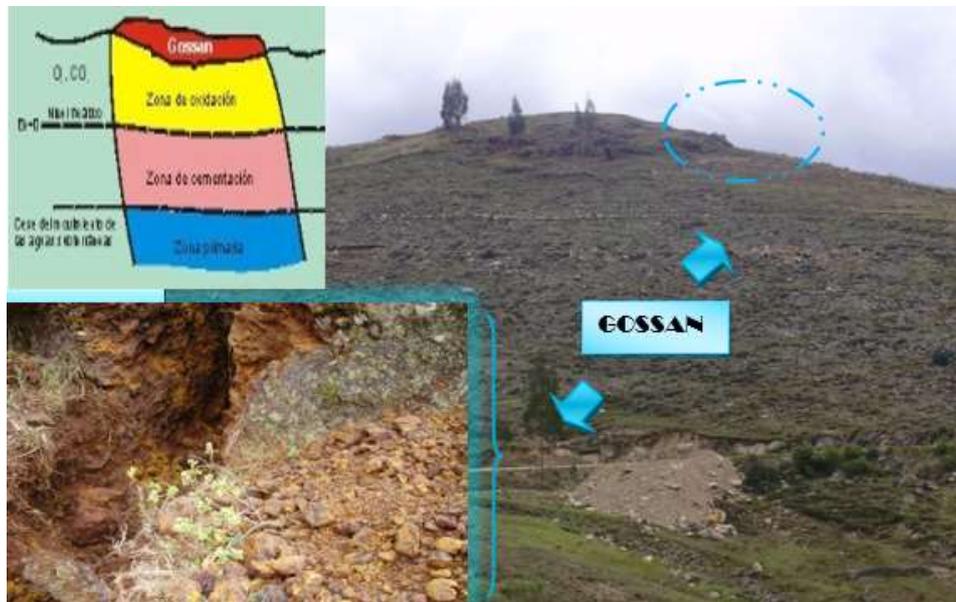
Estructura lenticular de manganeso.



Nota, estructura lenticular de manganeso singenético emplazado en la formación Cajamarca, esta estructura fue formada por precipitación química.

Figura 8

Gossan.



Nota, vista panorámica del Gossan ubicado en la parte superior del cerro, hay una concentración de depósitos de gran relevancia a gran escala, que probablemente asociado a un pórfido de cuarzo-monsoónico hospedado en calizas.

3.1.4. Formación Celendín:

Eontema	:	Fanerozoico
Eratema	:	Mesozoico
Sistema	:	Cretáceo
Serie	:	Superior
Piso	:	Senoniano – Santoniano
Grosor	:	200 m.
Correlación	:	
Zona centro	:	Fm. Celendín
Zona sur	:	Gpo. Chitopampa (superior)

Estudiado : Tafur (1950) Y Benavides (1956)

Litología :

Suprayace concordantemente a la formación Cajamarca e infrayace a los depósitos continentales de la formación Chota. Consiste en una intercalación de lutitas, margas y calizas delgadas de color claro, amarillento o crema por intemperismo; es bastante fosilífera.

3.2. Resultado de estudio físico químico de las rocas calizas presentes en el área de estudio para zonificar las posibles áreas de interés de la minera no metálica de Cajamarca.

En esta parte del capítulo se conocen los datos obtenidos de los análisis físicos y químicos de las muestras que fueron tomadas en campo. Posteriormente se realizó un mapeo donde se recolectaron 10 muestras, por lo que 5 de ellos se fueron elegidos para su respectivo análisis. Los criterios de selección del muestreo fueron encargados los encargados de laboratorio con su debida autorización para este proceso.

Dentro de la zona de estudio fueron tomadas las muestras; en diferentes puntos de la calera por lo que se especifica en la siguiente tabla.

Tabla 3

Ubicaciones de las muestras tomadas.

MUESTRAS	ESTE	NORTE	DISTRITO	PROVINCIA	FORMACIONES
M1	787000.00	9215500.00	Encañada	Cajamarca	Yumagual
M2	787500.00	9216000.00	Encañada	Cajamarca	Quilquiñán
M3	787000.00	9216500.00	Encañada	Cajamarca	Cajamarca
M4	787500.00	9216500.00	Encañada	Cajamarca	Cajamarca
M5	787500.00	9217000.00	Encañada	Cajamarca	Celendín

Tabla 4

Características físicas de las calizas.

MUESTRAS DE CALIZA	FORMACIONES
<p>1). Muestra 01 (M1) E: 787000.00 N: 9215500.00</p> 	<p>Formación Yumagual</p> <p>Presenta un color gris parduscas en bancos más o menos uniformes. Se visualizan modulaciones calcáreas.</p>
<p>2). Muestra 02 (M2) E: 787500.00 N: 9216000.00</p> 	<p>Formación Quilquiñan</p> <p>Presenta un color pardo-amarillentas con lechozas lechos de calizas nodulares, con una intercalación de margas.</p>
<p>3). Muestra 03 (M3) E: 787000.00 N: 9216500.00</p> 	<p>Formación Cajamarca</p> <p>Presenta un color gris oscuras o azuladas con finos lechos de lutitas y margas.</p>
<p>4). Muestra 04 (M4) E: 787500.00 N: 9216500.00</p> 	<p>Formación Cajamarca</p> <p>Presenta un color azul oscuro, venillas de calcita y calcita y limolita.</p>

5). Muestra 05 (M5)

E: **787500.00**

N: **9217000.00**

Presentan un color claro, amarillento o crema.



Índice de carga puntual de las muestras obtenidas por formaciones

Muestras pertenecientes a la formación Yumagual

Tabla 5

Índice de resistencia a la carga puntual de las calizas de la formación Yumagual.

Muestras	Índice de resistencia a la carga puntual (Mpa)
Muestra 1	3.32
Promedio	1.66
Desv est	2.35
Coef var	0.41

Tabla 6

Índice de resistencia a la carga puntual de las calizas de la formación Quilquiñan.

Muestras pertenecientes a la formación Quilquiñan

Muestras	Índice de resistencia a la carga puntual (Mpa)
Muestra 2	2.31
Promedio	1.16
Desv est	1.16
Coef var	1.41

Muestras pertenecientes a la formación Cajamarca

Tabla 7

Índice de resistencia a la carga puntual de las calizas de la formación Cajamarca.

Muestras	Índice de resistencia a la carga puntual (Mpa)
Muestra 3	2.53
Muestra 4	2.31
Promedio	2.42
Desv est	0.16
Coef var	0.06

Muestras pertenecientes a la formación Celendín

Tabla 8

Índice de resistencia a la carga puntual de las calizas de la formación Celendín.

Muestras	Índice de resistencia a la carga puntual (Mpa)
Muestra 5	1.44
Promedio	0.70
Desv est	0.99
Coef var	1.41

Tabla 9

Índice de resistencia a la carga puntual de las muestras.

Muestras	Índice de resistencia a la carga puntual	Formaciones
Muestra 1	3.32 Mpa	Formación Yumagual
Muestra 2	2.31 Mpa	Formación Quilquiñan
Muestra 3	2.53 Mpa	Formación Cajamarca
Muestra 4	2.31 Mpa	Formación Cajamarca
Muestra 5	1.44 Mpa	Formación Celendín

Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.

Se calcula contando el número de golpes propinados con picota de geólogo y compararlo a la figura siguiente:

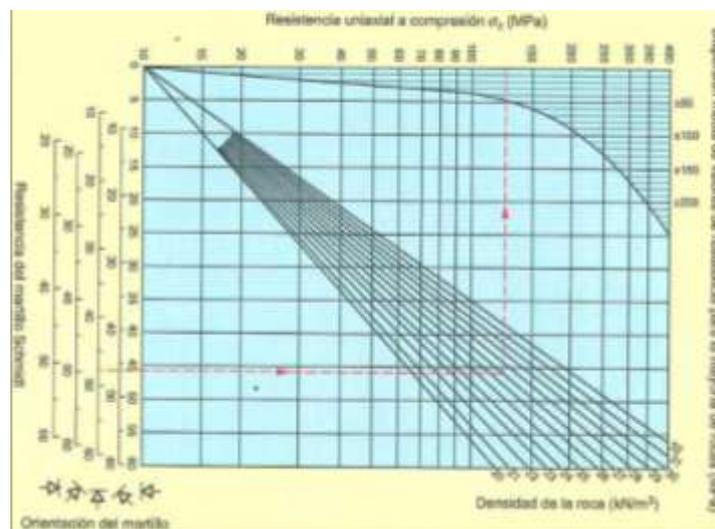
Figura 9

Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de suelos y rocas a partir de índices de campo.

Clase	Descripción	Identificación de campo	Aproximación al rango de resistencia a compresión simple (MPa)
S_1	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm.	< 0,025
S_2	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0,025-0,05
S_3	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo.	0,05-0,1
S_4	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo.	0,1-0,25
S_5	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña.	0,25-0,5
S_6	Arcilla dura	Se marca con dificultad al presionar con la uña.	> 0,5
R_0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0,25-1,0
R_1	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo. Con una navaja se talla fácilmente.	1,0-5,0
R_2	Roca blanda	Se talla con dificultad con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas.	5,0-25
R_3	Roca moderadamente dura	No puede tallarse con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo.	25-50
R_4	Roca dura	Se requiere más de un golpe con el martillo para fracturarla.	50-100
R_5	Roca muy dura	Se requieren muchos golpes con el martillo para fracturarla.	100-250
R_6	Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo sólo saltan esquirlas.	> 250

Figura 10

Figura para encontrar la resistencia a la compresión uniaxial a partir del martillo Schmidt.



Determinación de la resistencia

Figura 11

Determinación de resistencia.

CLASE	RESISTENCIA	RESISTENCIA UNIAXIAL MPa	INDICE DE CRGA PUNTUAL MPa	ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA EN EL CAMPO	EJEMPLOS
R6	Extremadamente Resistente	>250	>10	Solo se pueden romper esquirlas de la roca con el martillo de geólogo.	Basalto, Diabasa, Gneiss, Granito, curacita, Chert.
R5	Muy resistente	100-250	4-10	Se necesitan muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra.	Anfibolita, Arenisca, Gneiss, Gabro, Gronodiorita, Basalto.
R4	Resistente	50-100	2-4	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra.	Caliza, Mármol Esquisto, arenisca.
R3	Moderadamente Resistente	25-50	1-2	No se puede rayar o desconchar con una navaja, las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo	Concreto, Esquisto, Carbón, Siltstone.
R2	Débil	5.0-25	**	Puede desconcharse con dificultad con una navaja, se pueden hacer marcas poca profundas	Creta, Marga, Yeso, Esquisto, Shale.

			golpeando fuertemente la roca con la punta del martillo.
R1	Muy débil	1.0-5.0	Deleznable bajo golpes fuertes con la punta del martillo de geólogo puede desconcharse con una navaja.
R0	Extremadamente débil	0.25-1	Rayado por la uña del dedo pulgar. Falla delgada rígida.

Reglas para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades

Figura 12

Clasificación según las condiciones de las discontinuidades.

Parámetros	Valoración				
Longitud de las discontinuidades (persistencia)	< 1 m 6	1 - 3 m 4	3 – 10 m 2	10 – 20 m 1	> 20 m 0
Separación (apertura)	Ninguno 6	< 0.1 mm 5	0.1 – 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	>5 mm 0
Rugosidad	Muy rugoso 6	Rugosidad 5	Ligeramente Rugoso 3	Liso 1	Espejo de falla 0
Relleno de (panizo)	Ninguno 6	Relleno duro		Relleno Blando	
		<5mm 4	>5 mm 2	<5 mm 2	>5 mm 0
Meteorización	No meteorizado 6	Ligeramente meteorizado 5	Moderadamente Meteorizados 3	Muy meteorizado 1	Descompuesto 0

Nota, sobre aguas subterráneas las condiciones son seco, obtienen un puntaje de 12.

Figura 13

Orientación del rumbo y buzamiento.

Orientación del buzamiento de discontinuidades	rumbo y las	Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Valorización	Túneles y minas	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones		-2	-7	-15	-25
	Taludes		-5	-25	-50	-60

CLASIFICACIÓN SEGÚN LA CLASE Y CALIDAD

Tabla 11

Clasificación según la clase y calidad.

CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy Mala
PUNTUACIÓN	100_ 81	80_ 61	60_ 41	40_ 21	20_ 0

Índice RQD en función de la calidad de la roca

Tabla 12

Índice de la calidad de RQD (%).

Índice de calidad RQD (%)	Calidad
0-25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Regular
75-90	Buena
90-100	Excelente

3.2.1. Estudio físico

Tabla 13

Análisis físico de las calizas de la formación Yumagual.

MUESTRAS	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO			
	Color	Granulometría	Aspecto Físico	Cal viva
M (1)	Amarillento – Gris parduscas.	200 mm a 75 μ m	Regular – Bueno	Granel

Tabla 14

Análisis físico de las calizas de la formación Quilquiñan.

MUESTRAS	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO			
	Color	Granulometría	Aspecto Físico	Cal viva
M (2)	Pardo- amarillentas	200 mm a 75 μ m	Regular – Bueno	Granel

Tabla 15

Análisis físico de las calizas de la formación Cajamarca.

MUESTRAS	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO			
	Color	Granulometría	Aspecto Físico	Cal viva
M (3)	Gris oscuro- azuladas	200 mm a 75 μ m	Bueno	Granel
M (4)	Gris oscuro- azuladas	200 mm a 75 μ m	Bueno	Granel

Tabla 16

Análisis físico de las calizas de la formación Celendín.

MUESTRAS	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO			
	Color	Granulometría	Aspecto Físico	Cal viva
M (5)	Claro, amarillento o crema	200 mm a 75 μ m	Regular	Granel

3.2.2. Estudio químico

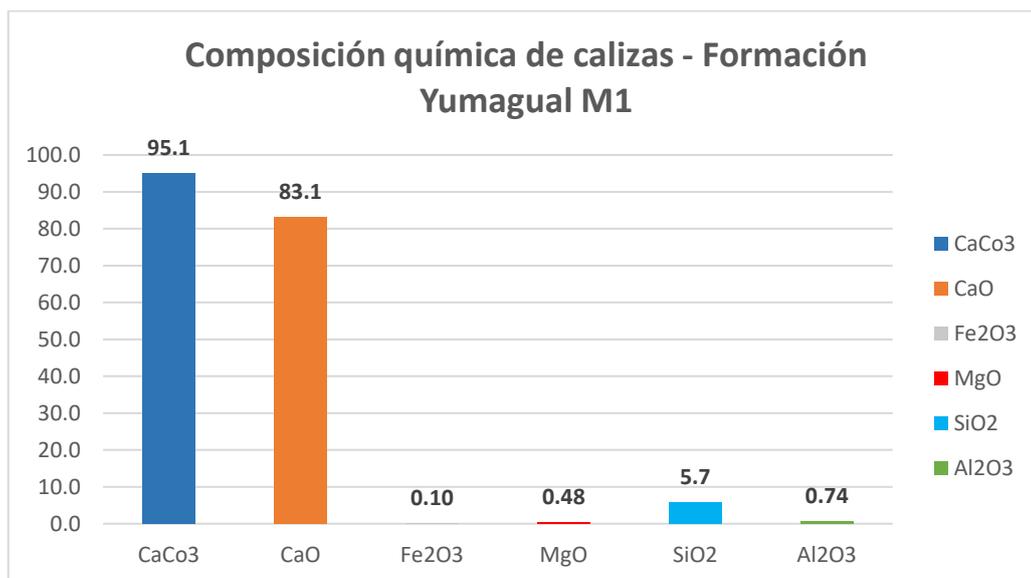
Tabla 17

Composición química de las calizas de la formación Yumagual.

MUESTRAS	RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO (%)					
	CaCO ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃
M (1)	95.1	83.1	0.10	0.48	5.7	0.74
Promedio	47.6	41.6	0.05	0.24	0.83	0.37
Desv est	67.2	58.8	0.07	0.34	1.17	0.52
Coef var	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41

Figura 14

Composición química de calizas – Formación Yumagual M1.



Nota, la composición química de calizas de la Formación Yumagual de la muestra 1, nos indica que el CaCO₃ (95.1) y CaO (83.1), tiene más porcentaje respecto a Fe₂O₃, MgO, SiO₂ y Al₂O₃.

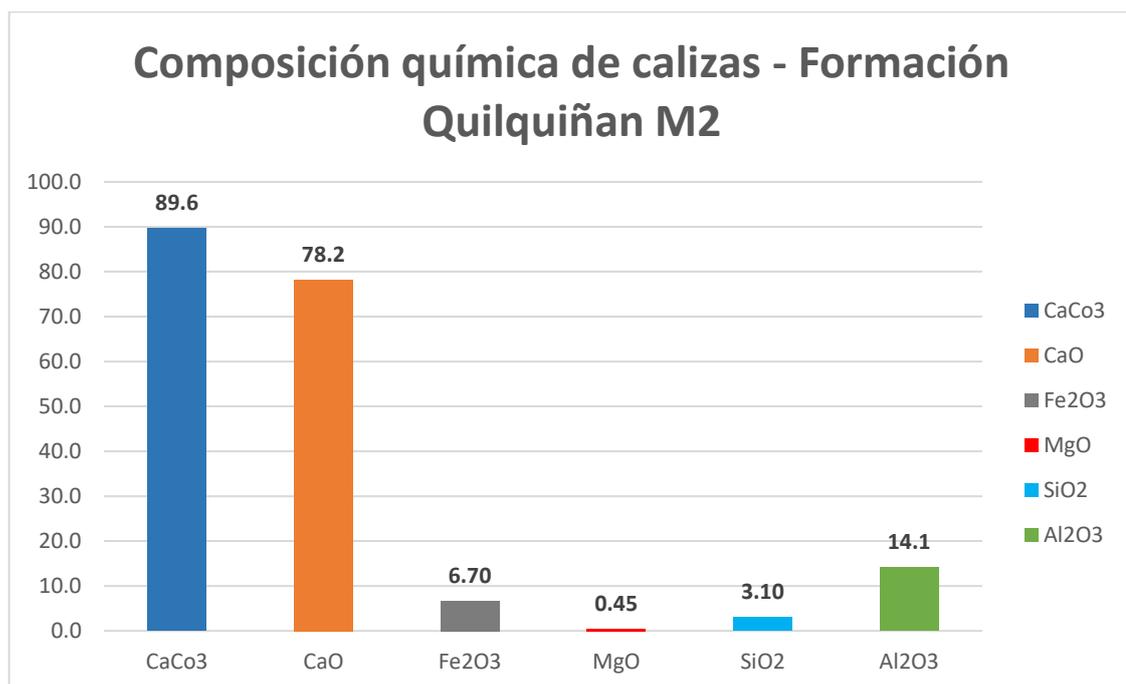
Tabla 18

Composición química de las calizas de la formación Quilquiñan.

MUESTRAS	RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO (%)					
	CaCO ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃
M (2)	89.6	78.2	6.70	0.45	3.10	14.1
Promedio	44.8	39.1	3.35	0.23	1.55	7.05
Desv est	63.4	55.3	4.74	0.32	2.19	9.97
Coef var	1.4	1.4	1.41	1.41	1.41	1.41

Figura 15

Composición química de calizas – Formación Quilquiñan M2.



Nota, la composición química de calizas de la Formación Quilquiñan de la muestra 2, nos indica que el CaCO₃ (89.6) y CaO (78.2), tiene más porcentaje respecto a Fe₂O₃, MgO, SiO₂ y Al₂O₃.

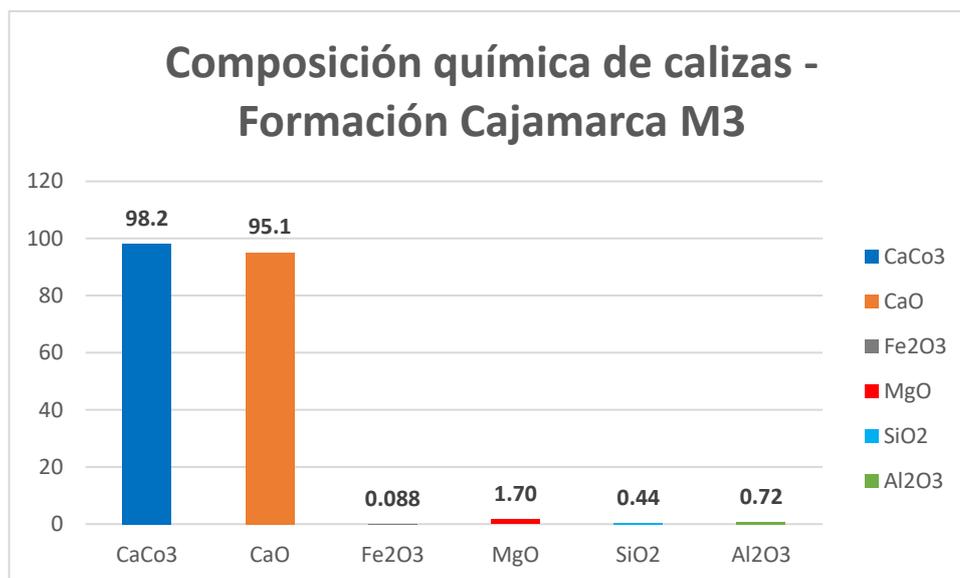
Tabla 19

Composición química de las calizas de la formación Cajamarca.

MUESTRAS	RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO (%)					
	CaCO ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃
M (3)	98.2	95.1	0.088	1.70	0.44	0.72
M (4)	97.5	95.9	0.085	1.60	0.42	0.71
Promedio	97.85	95.5	0.09	1.65	0.43	0.72
Desv est	0.49	0.57	0.00	0.07	0.01	0.01
Coef var	0.01	0.01	0.02	0.04	0.03	0.01

Figura 16

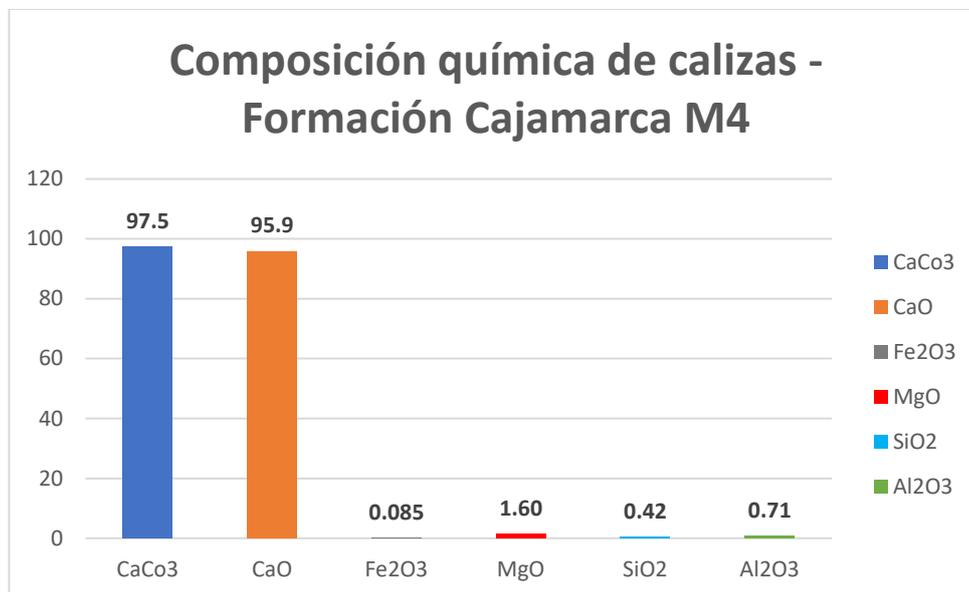
Composición química de calizas – Formación Cajamarca M3.



Nota, la composición química de calizas de la Formación Cajamarca de la muestra 3, nos indica que el CaCO₃ (98.2) y CaO (95.1), tiene más porcentaje respecto a Fe₂O₃, MgO, SiO₂ y Al₂O₃.

Figura 17

Composición química de calizas – Formación Cajamarca M4.



Nota, la composición química de calizas de la Formación Cajamarca de la muestra 4, nos indica que el CaCO₃ (97.5) y CaO (95.9), tiene más porcentaje respecto a Fe₂O₃, MgO, SiO₂ y Al₂O₃.

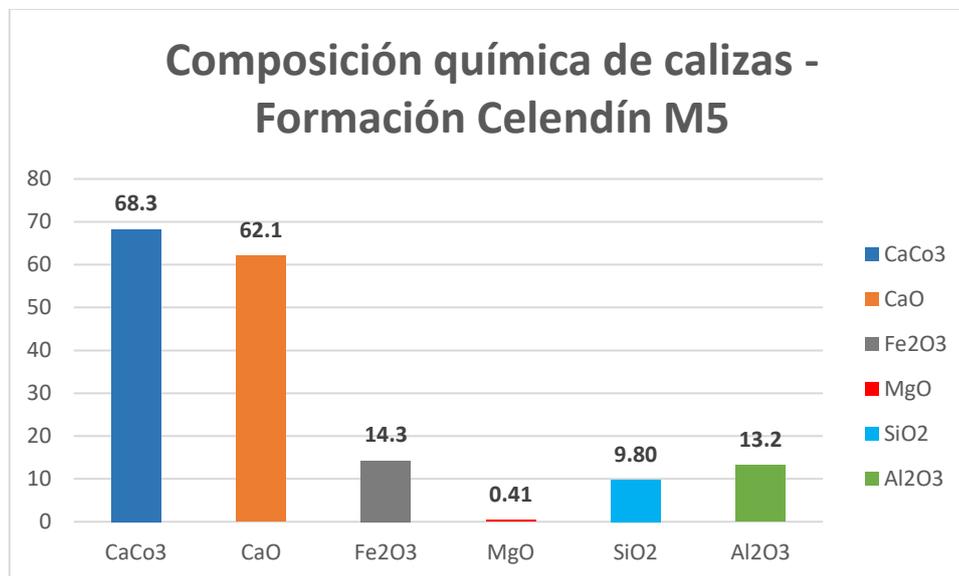
Tabla 20

Composición química de las calizas de la formación Celendín.

MUESTRAS	RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO (%)					
	CaCO ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃
M (5)	68.3	62.1	14.3	0.41	9.80	13.2
Promedio	34.15	31.05	7.15	0.21	4.90	6.6
Desv est	48.30	43.91	10.11	0.29	6.93	9.33
Coef var	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41

Figura 18

Composición química de calizas – Formación Celendín M5.



Nota, la composición química de calizas de la Formación Yumagual de la muestra 5, nos indica que el CaCo₃ (68.3) y CaO (62.1), tiene más porcentaje respecto a Fe₂O₃, MgO, SiO₂ y Al₂O₃.

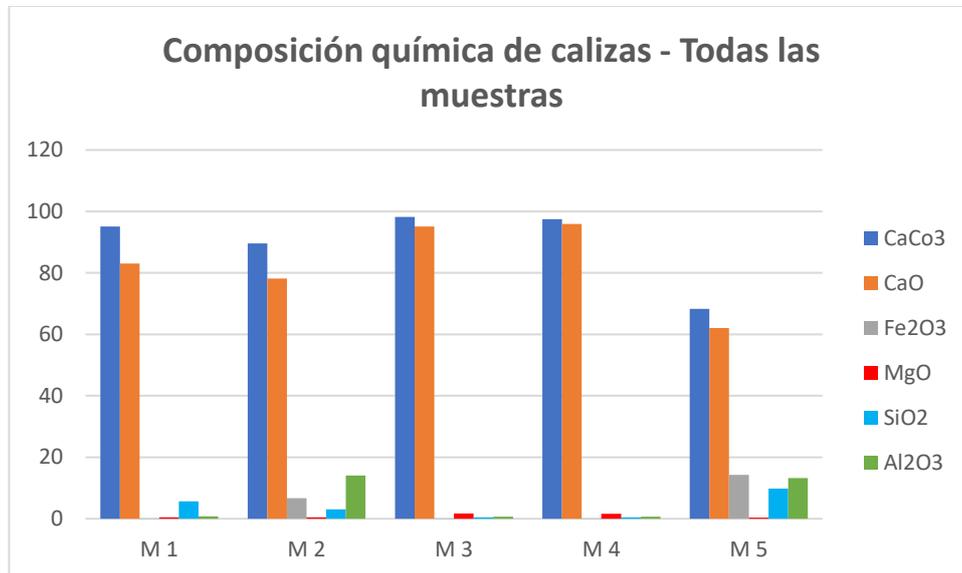
Tabla 21

Análisis de todas las muestras.

Muestras	RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO (%)					
	CaCo ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃
M 1	95.1	83.1	0.097	0.48	1.65	0.74
M 2	89.6	78.2	6.7	0.45	3.1	14.1
M 3	98.2	95.1	0.088	1.7	0.44	0.72
M 4	97.5	95.9	0.085	1.6	0.42	0.71
M 5	68.3	62.1	14.3	0.41	9.8	13.2

Figura 19

Composición química de calizas – Todas las muestras.



Nota, en esta figura, se muestra los resultados de todas las muestras del análisis químico, diferenciando claramente el CaCO₃ y CaO, con un porcentaje muy elevado en diferencia a los otros componentes.

3.3. Análisis estructural para plantear el diseño de método de explotación en la minera no metálica en la ciudad de Cajamarca.

Uno de los acápites más importantes en el presente trabajo, es lo concerniente a la geología estructural de la zona. En nuestra zona de estudio se evidencia una fuerte deformación, obteniendo resultados de los movimientos del ciclo andino, dicho esfuerzo es de compresión con una dirección NE – SW.

A continuación, se describen las principales estructuras encontradas.

3.3.1. PLIEGUES:

Figura 20

Pliegue encontrado en la Fm Cajamarca.



Nota, se pudieron encontrar diversos estratos plegados de gran importancia para interpretación de las formaciones subyacentes y adyacentes a ésta.

3.3.2. FRACTURAS:

Figura 21

Volcánico Huambos con alto fracturamiento.

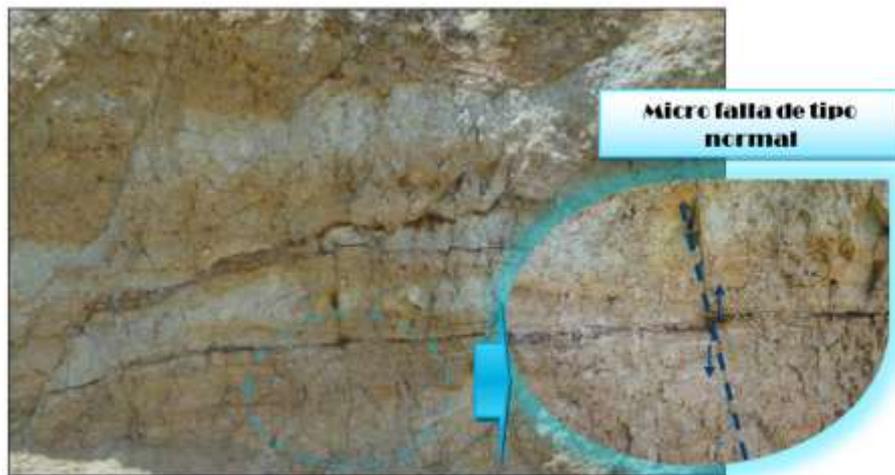


Nota, se encontraron fracturas mayormente en la zona volcánica y en menor proporción en la zona sedimentaria, cuyas fracturas se produjeron por los esfuerzos tectónicos presentando direcciones definidas a las cuales se denomina sistemas de Diaclasas.

3.3.3.FALLAS

Figura 22

Microfalla hallada cerca a la falla normal anterior.



Nota, en la figura se observa claramente una microfalla de tipo normal.

3.4. Diseño de método de explotación de la roca caliza en la minera no metálica en la ciudad de Cajamarca.

Para poder realizar el diseño de explotación se ha considerado la clasificación geomecánica con el fin de mantener la estabilidad del macizo rocoso en la explotación; en el área de estudio se encontraron distintas formaciones de roca caliza de las cuales solo la Formación Cajamarca arroja porcentajes aceptables en carbonato de calcio y óxido de calcio por eso en este ítem solo estamos considerando a esta formación para el método de diseño de explotación.

A. Altura de banco.

Este parámetro generalmente en operaciones a pequeña escala tiene que ver con la caracterización de la masa a explotar, las dimensiones de los equipos de carguío y acarreo, y también acorde con las exigencias de selectividad de la explotación. El condicionante clave para establecer la altura de banco es el equipo de carguío y la altura máxima de corte, así como también la profundidad que puede alcanzar el cucharón; se suma a ello el equipo de perforación de acuerdo a la profundidad que puedan alcanzar los barrenos. Este criterio permite utilizar la pala, excavadora o cargadores frontales para sanear cualquier punto del frente de trabajo y mantener las condiciones de seguridad aceptables. Por los trabajos realizados en las diferentes canteras, de manera sistemática y efectiva se tienen estándares de alturas de banco comprendidas entre los 10 y 20 metros (Herrera J, 2007). En el caso de la cantera es una labor de baja escala con equipos de perforación de rápido acoplamiento y baja profundidad, así como también de un equipo mixto (carguío y acarreo a la vez). Lo que se tiene planteado para la explotación se describe en los siguientes ítems.

- Perforación.

Perforadora **AirROC D40**, equipo compacto que se puede desplazar eficazmente por pendientes y terrenos accidentados.

Tabla 22

Especificaciones técnicas del equipo de perforación.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Díámetro de perforación	85 - 115 mm
Profundidad	6 m
Sistema de perforación	DTH
Ancho entre ejes laterales	1.88 m

- **Transporte de material – carguío.**

Cargador frontal mixto **CAT 938H WL** ya que las voladuras serán de pequeña escala y también bajo el volumen a transportar.

Tabla 23

Especificaciones técnicas del equipo.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Altura máxima de carguío	3.85 - 4 m
Capacidad de cucharón	3 - 2.3 m ³
Ancho eje a eje lateral	3.023 m

Nota, posteriormente se analizarán las condiciones operaciones para definir la correcta altura de banco de la cantera.

La profundidad máxima de perforación de (**AirROC D40**) para bancos normales de 10 metros no es apropiada, pero, las dimensiones del equipo de carguío (en especial la pluma) permite alcanzar un máximo 4 metros de altura para realizar el levantamiento de carga en el talud perforado, es por ello que es necesario optimizar la longitud de perforación (bancos hasta 6 metros), con el diámetro antes mencionado. Sin embargo, la maquinaria en general cuenta con una predisposición que, al ser expuesta a cualquier trabajo va teniendo un rendimiento de acuerdo a la eficiencia de trabajo y de acuerdo a su disponibilidad física (contextos sociales, personal, ambientales, etc) y disponibilidad mecánica (daños en las maquinarias). En la cantera se trabajará con un solo equipo disponibles de tal manera que si ocurren eventualidades no deseadas no se podrá obtener la producción deseada.

Tabla 24

Disponibilidad física y mecánica de la perforadora.

D. FÍSICA	D. MECÁNICA	TOTAL	PROMEDIO
92%	85%	177%	89%

Se tendrá entonces:

$$H_{banco} = 6 * 0.89 = 5.31m = 5m$$

La altura de banco será de 5m.

- **Ancho de banco**

La mínima medida que un banco puede tener es la suma de los espacios necesarios para el movimiento de la maquinaria que trabaja en ellos simultáneamente. De tal manera que sea suficientemente amplia para permitir que los cien pies y equipos mixtos (en caso existiera), además de los equipos de carguío puedan realizar sus maniobras con seguridad y facilidad.

En la zona de las labores, el equipo de carguío realiza las labores mixtas (carguío y acarreo por razones antes mencionadas). La anchura del equipo más grande será tomada en cuenta para realizar el cálculo del ancho de banco, ya que de esta manera los equipos más pequeños podrán realizar sus maniobras y labores de manera segura. Un máximo de 1.88 metros consta el quipo perforador, y 3.03 metros el equipo mixto. Evidentemente para un buen ciclo de operación se sumarán las longitudes entre ejes laterales del equipo mayor en el trabajo.

$$Anchura_{banco} = \sum Longitud\ anchura\ total\ de\ cargador\ frontal$$

$$Anchura_{banco} = 3.03m + 3.03m = 6.06m$$

- **Ángulo de talud.**

Se han revisado bibliografías de acuerdo al macizo rocoso para poder determinar el ángulo a escala de banco para la extracción del material. Este implica la clasificación geomecánica de las cuatro estaciones mapeadas obteniendo una calidad de roca muy buena, para este tipo de roca normalmente se trabaja con ángulos del orden de **70° y 80°** para este tipo de litologías, pero como la altura del talud es muy pronunciada se tendrá que bajar el ángulo hasta unos **65°** manteniendo una estabilidad y factor de seguridad apropiados.

La altura o separación entre bermas está en función del talud de cara de banco y de las dimensiones de los equipos existentes. Si el citado ángulo es inferior a 45° y los materiales que lo configuran son de tipo lajoso, su caída tendrá lugar por deslizamiento, recomendándose dejar una berma cada tres o cuatro bancos (a escala normal, es decir mínimamente deberían tener 10 m). Pero como el material presente es de buena calidad y los bancos son de pequeña escala, no existirá la necesidad de realizar bermas entre bancos ya que se presentará una correcta estabilidad.

Tabla 25

Parámetros para el tajo de explotación.

DESCRIPCIÓN	UNIDADES
Altura de bancos	5m
Ancho de bermas	6.06 m
Altura final del tajo	36 m
Largo final del tajo	80 m
Numero de bancos	7
Ángulo de los bancos	75°

Nota, finalmente, se ha diseñado el tajo de explotación no metálica, optimizando labores y teniendo en cuenta factores muy importantes para el cuidado tanto del personal como del medio ambiente.

El diseño permitirá tanto a los operadores como a los equipos realizar las labores de explotación de manera adecuada, sin riesgos de inducir a las eventualidades no deseadas (accidentes). Existe un espacio apropiado para el ciclo de labores del equipo mixto (carguío, acarreo y descarga), espacio más que adecuado para la perforadora que tiene 3 veces menos del tamaño total. Además, se estarán aprovechando de mejor manera las reservas que van al fondo del modelo geológico ya que cuentan con mejor calidad y se contribuye a la estabilidad del macizo rocoso.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Durante la historia de la minería la planificación ha sido la herramienta indispensable para el desarrollo de las empresas, conocer sus recursos, calidad y cantidad es fundamental para planificar las actividades a corto mediano y largo plazo, esto en base al tiempo de vida del proyecto. En la investigación nos basamos en conocer el recurso, calidad en óxido de calcio y carbonato de calcio, calidad de macizo rocoso para poder delimitar las zonas de interés y plantear el método de explotación.

De la investigación se logró determinar que las formación que presenta mayor concentración de óxido de calcio es la formación Cajamarca con un 95.5 % de óxido de calcio 1.7 óxido de magnesio e impurezas menores al 1%, como son el óxido de fierro, óxido de silicio y óxido de aluminio, además la formación Yumagual también cumple con un porcentaje alto en Óxido de calcio, llegando a un 83.1%, esta formación tiene un porcentaje mayor a 5% de óxido de silicio, pero aun es considerada de buena calidad, de acuerdo a lo mencionado por Koerber, et al en el año 2003, donde menciona que las rocas calizas de buena calidad tienen una ley de 83% de óxido de calcio.

La formación Cajamarca y la formación Yumagual, presentan paquetes de rocas potentes de coloraciones gris – azulada y gris – verdosa, el fracturamiento de las estas formaciones es leve a diferencia de las formaciones Quilquiñan y Celendín, que debido a su mayor contenido de arcilla y estar expuestos a intemperismo y es fuerza que hacen que está presente un mayor fracturamiento. De los ensayos de resistencia se tiene que las rocas más resistentes son la formación Yumagual con 3.32 Mpa y la formación Cajamarca con 2.53 Mpa.

De los resultados descritos se logra a concluir que la calidad física como química influyen en el diseño del método de explotación, conocer la calidad físico química de la roca caliza ayuda a tomar decisiones y zonificar las principales fuentes a ser exploradas, mientras que conocer la calidad del macizo rocoso permite diseñar como se explotara el recurso, planteando la inclinación de los bancos, altura de bancos y el ancho necesario entre estos para que pueda desplazar la maquinaria necesaria para la explotación, por tanto se prueba la hipótesis que se planteó en un comienzo de la investigación.

Las limitaciones que se presentaron es poder analizar más muestras ya que el muestreo se realizó sin una metodología estadística y pueda que los resultados varíen ya que se logró evidenciar en el estudio geológico cuerpos ígneos que pueden estar metaforizando el lugar, además aún no hay operaciones en lugar donde se estudió por lo que aún no se tiene antecedente de riesgos por la propuesta de taludes semi verticales que se plantean, por lo que en caso inicie una explotación se deberá ir evaluando el macizo rocoso por zonas mucho más pequeñas.

4.2. Conclusiones

- Se reconoció en el lugar de estudio la formación Yumagual, caracterizada por calizas gris parduscas en bancos poco uniformes intercalado con lutitas y margas de color amarillento, esta formación presenta estas características ya que pertenece al miembro intermedio de esta formación caracterizándose por ser altamente fosilífero; formación Quilquiñan – Mujarrum, se evidencia calizas nodulares intercaladas con capas delgadas de margas y lutitas arenosas de color amarillento con presencia de fósiles; Formación Cajamarca, calizas gris oscuras macizas con delgados lechos de lutitas y margas del mismo color presenta una estructura lenticular de manganeso; Formación Celendín, presenta intercalación de lutitas, margas y calizas delgadas de color amarillento, crema por intemperismo con gran cantidad de fósiles. Además, se evidencia contactos volcánicos Huambos, evidenciando zonas de Gossan y alteraciones en las rocas calcáreas.
- De los estudios físico químicos se obtuvo que la formación favorable para extracción de óxido de calcio es la Formación Cajamarca, con un 95.5% de óxido de calcio promedio en las dos muestras analizadas, la otra formación favorable es la Formación Yumagual, con un 83% de óxido de calcio, pero con un contenido de óxido de silicio de 5.7% lo que hace que no se dé mucho interés económico para extracción de óxido de calcio.
- De la clasificación geomecánica se obtuvo que la roca de la formación Cajamarca es buena, para el diseño del método de explotación se consideró en base al equipo de transporte y perforación que van a actuar en el lugar de explotación considerándose una perforadora Air Roc D40, para el carguío y acarreo un Cargador mixto CAT 938 H WL, por lo que la altura del banco será de cinco metros de altura por un ancho de

final del tajo 80 metros.

REFERENCIAS

- Arteaga, N. (2017). Análisis Geológico - Geotécnico en los Taludes de la Carretera Choropampa - Magdalena. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Castillo Rudas, V., G. & Chunque Cerquín, J., C. (2016). Evaluación de calidad de las calizas con fines industriales en la concesión minera Tres Pirámides, Distrito de Magdalena – Cajamarca 2016. Cajamarca: Universidad Privada del Norte. Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10678>
- Cuenca Maya, E., J. (2015). Diseño de explotación de las calizas existentes en el yacimiento “Isimanchi”. Quito: Universidad Central del Ecuador. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6593/1/T-UCE-0012-371.pdf>
- Culqui Romero, M., A. (2017). Influencia de la calidad de las calizas para la producción de cal viva en la calera la conga del caserío de Sogorón Alto distrito de La Encañada, Cajamarca 2017. Cajamarca: Universidad Privada del Norte. Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/11358/Culqui%20Romero%20Marco%20Antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gutiérrez Arroyo, K., G. (2019). Análisis y evaluación entre los métodos de explotación convencional y plataformas aplicados en la cantera de caliza de la empresa UNACEM S.A.A. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Recuperado de: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/view/15615/14584>
- Koerber, D., J. & Rookes, M. (2003). Exploración de caliza para uso industrial en la zona centro sur de Chile. Chile: Universidad de Concepción. Recuperado de: https://biblioserver.sernageomin.cl/opac/DataFiles/KoerberD_y_RookesM_ojo.pdf
- Llovera Alcántara, J., P. & Vásquez Delgado, S., M. (2020). Propuesta de plan de minado en la concesión no metálica monte alto caserío de Shiguas, distrito de Bambamarca, provincia de Hualgayoc, Cajamarca 2020. Cajamarca: Universidad Privada del Norte. Recuperado de:

- Santana Suárez, E., A. (2019). Diseño de explotación de la Cantera G.M. de materiales de construcción de la concesión minera G.M 2 (130950003) del cantón Montecristi, provincia de Manabí. Ecuador: Universidad Central del Ecuador. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18726/1/T-UCE-0012-FIG-109.pdf>
- Guerrero Villoslada, K., A. (2019). Plan de minado para la explotación en la cantera Tuna Blanca Santa Cruz Cajamarca 2018. Chiclayo: Universidad César Vallejo. Recuperado de: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/51408/Guerrero_VK_A-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cuenca, E. (2015). Diseño de explotación de las calizas existentes en el yacimiento "Isimanchi". Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6593>
- Longa, C., & Chávez, L. (2019). Influencia del diseño de bancos múltiples descendentes en la explotación de caliza en la mina Resurrección, Bambamarca 2018. Perú. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14754>
- Rivadeneira, J. (2015). Explotación de caliza a cielo abierto de la concesión minera "Gretha Piedad". Ecuador. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4906>
- Tocasca, E. (2020). Plan de minado para mejorar la producción en la concesión minera Huáscar tercera de empresa travertinos Leyva sac, distrito de Yanacancha, Junín - 2020. Huancayo, Perú. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/6040>
- Lhoist. (2019). Calidad de la piedra caliza, Minerales y productor de Cal. Bélgica.
- Valdiviezo, A., & Ramírez, J. (2009). Rocas Cálizas, Compendio de Rocas y Minerales Industriales en el Perú. Perú: Ingemmet.

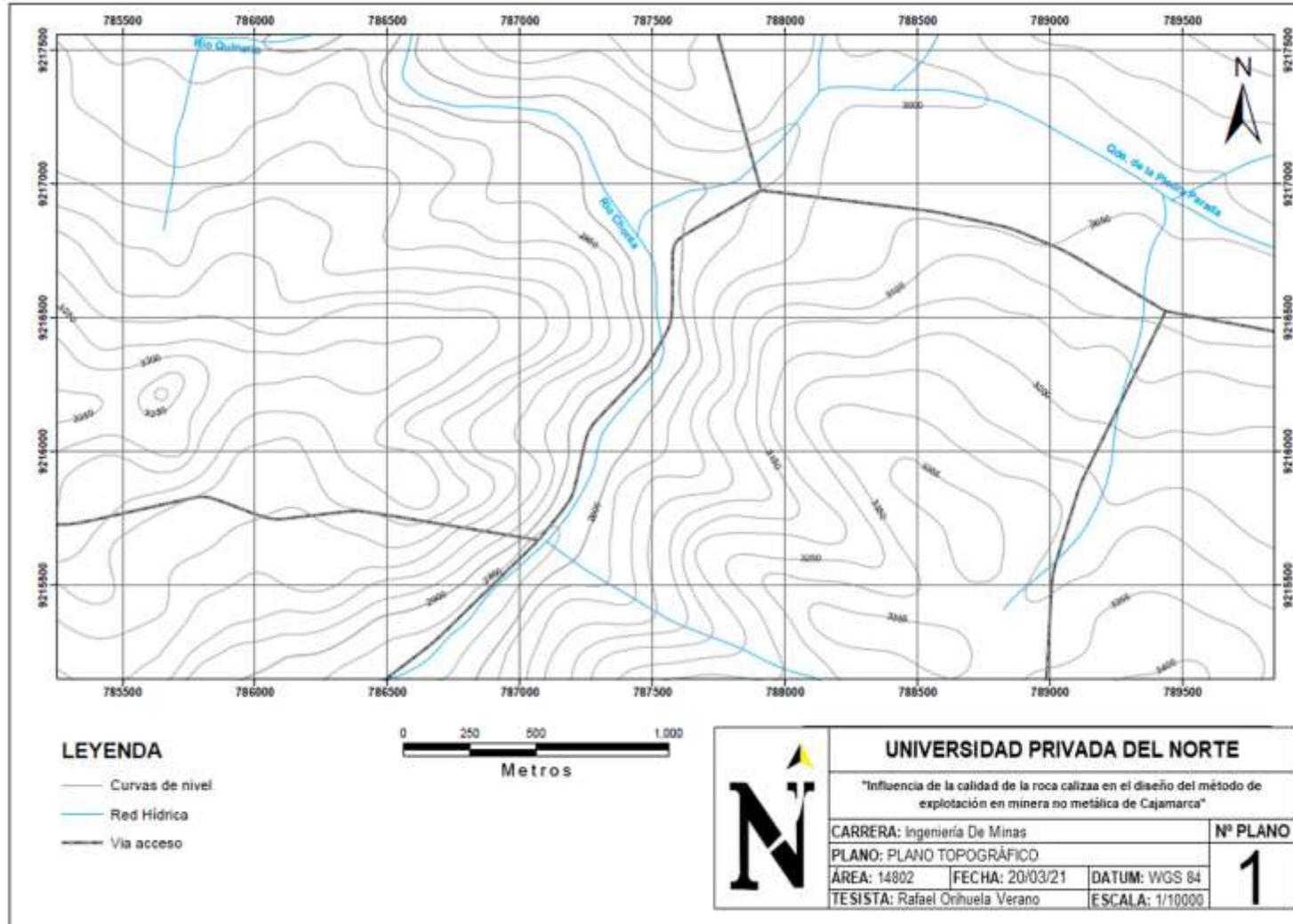
Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación*.
México. McGraw-HILL.

ANEXOS

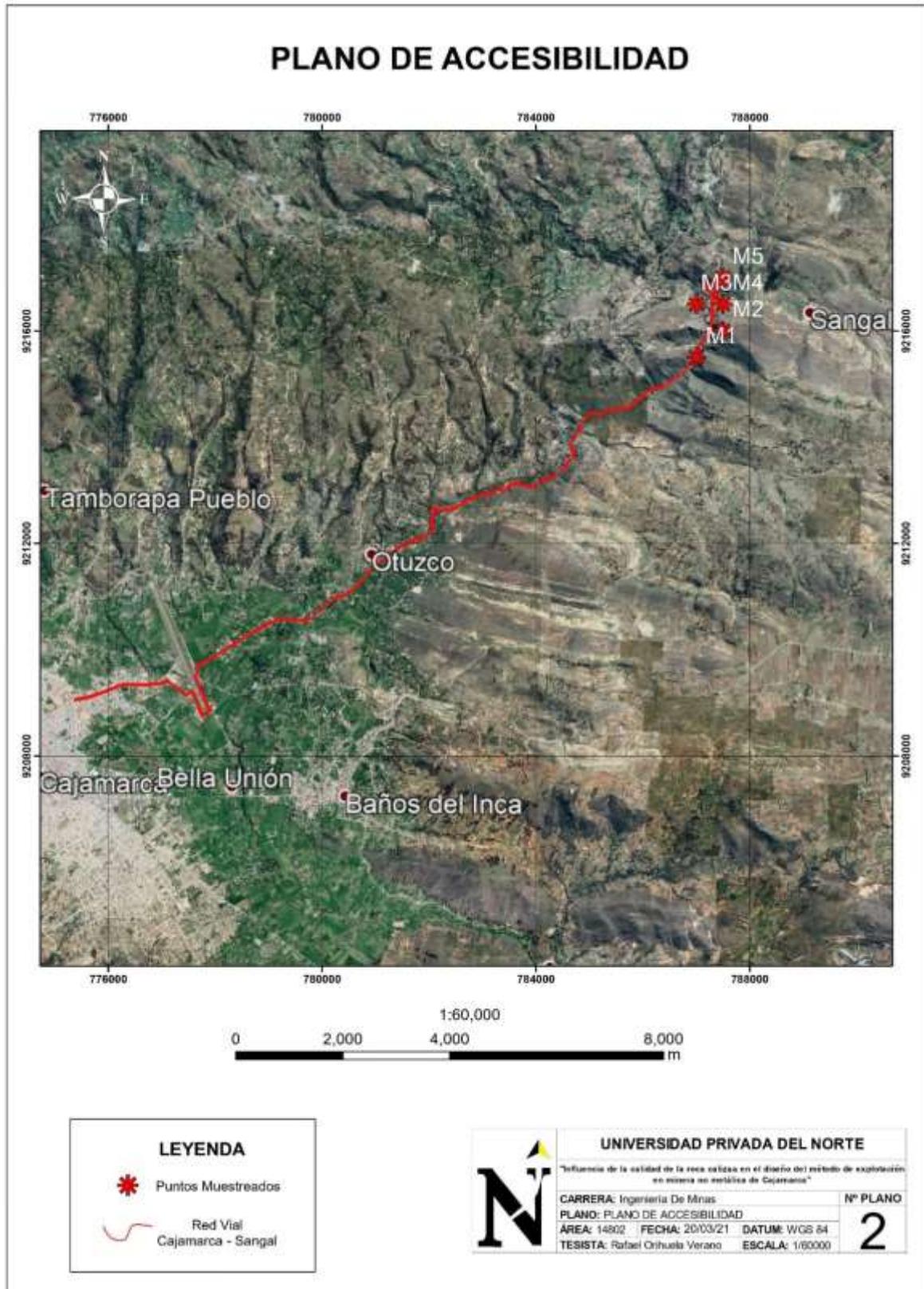
Anexo 01: Columna estratigráfica.

EONTEMA	ERATEMA	SISTEMA	PISO	LITOLOGIA	POTENCIA	UNIDAD LITOSTRATIGRAFICA		DESCRIPCION	
						VOLCANICOS	FACIE		
FANEROZOICO	CENOZOICO	NEOGENO	PLIOGENO		190	VOLCANICOS	II	Toba traquítica, de composición piroclástica: fenocristales, pomes y escaso fragmento lítico. abundante contenido de flogopita.	
			MIOGENO		140		I	Toba traquítica, de composición piroclástica: fragmento líticos polimícticos de bloques y ceniza. Tamaño de fragmentos mayor a 10 cm.	
	MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR		200		FORMACION CELENDIN	Calizas con abundante fosiles	
					600		FORMACION CAJAMARCA	Calizas masivas potentes de sedimentación directa en el piso e inversa en el techo. Posee una topografía carstica .	
					500		FORMACION QUILQUINAN. MUJARRUN	Estratificación inversa , depositación directa, presencia de fosiles gasterodopos .	
					700		FORMACION YUMAGUAL	Compuesta por margas y exogiras, turritelas estos fosiles fueron reemplazados por carbonato de calcio.	
			Inf.						

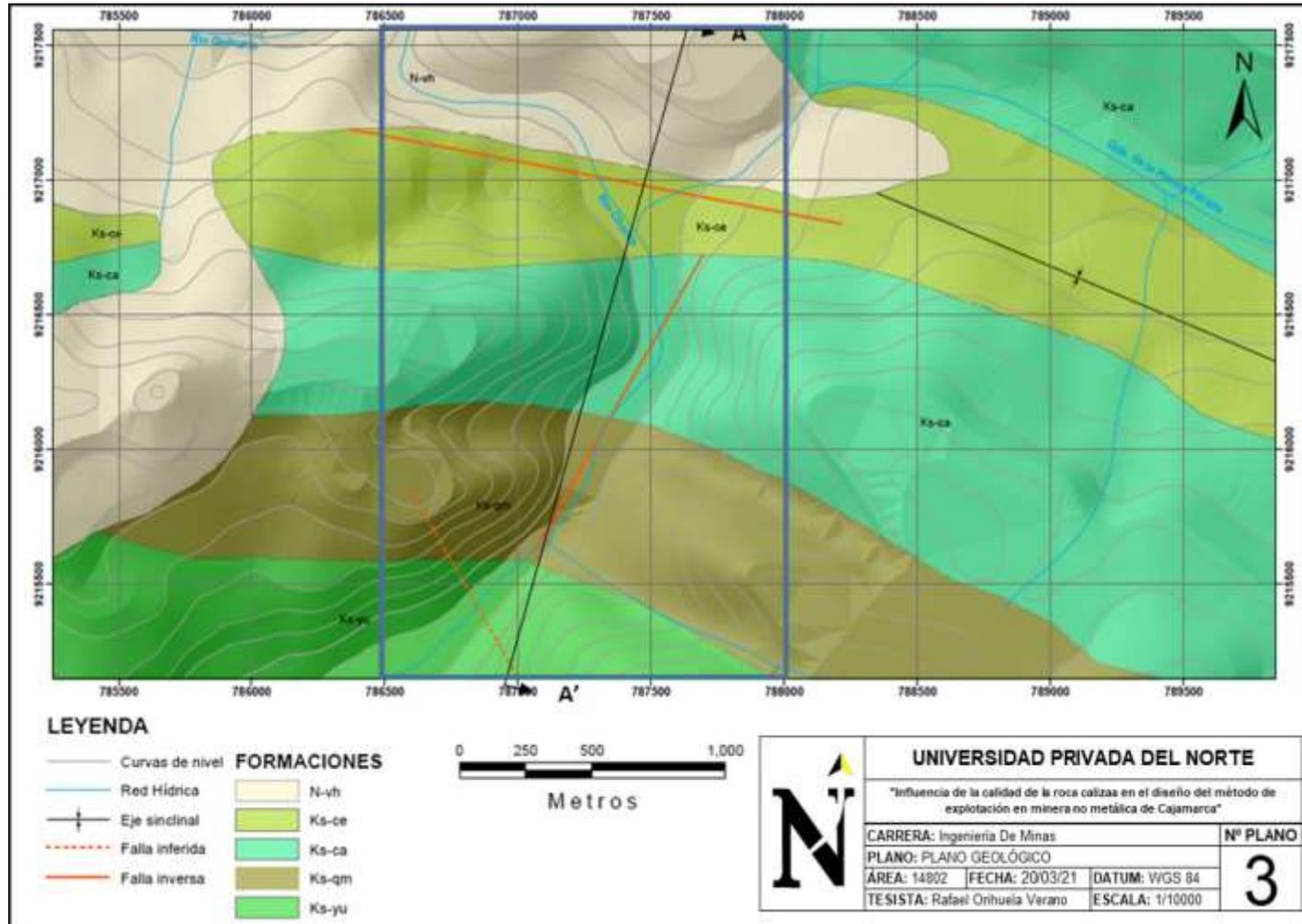
Anexo 02: Plano de topográfico



Anexo 03: Plano de accesibilidad



Anexo 04: Plano geológico



Anexo 05: Plano de ubicación

