



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

**“DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN PARA
MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD MINERA DE ARCILLAS
TIPO CAOLINITA DE LA CONCESIÓN RUMICUCHO I,
CENTRO POBLADO HUAYRAPONGO, DISTRITO DE
LLACANORA, CAJAMARCA, 2017”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS

Presentado por el Bachiller:
VÁSQUEZ CABRERA, LIZARDO

Cajamarca - Perú

2018

DEDICATORIA

Éste trabajo de investigación dedico, en primer lugar, a Dios, por haberme dado la fortaleza espiritual para concluir este trabajo, y en segundo lugar a mis padres: Santos Vásquez Mejía y Felícita Cabrera Burga, por haberme dado el apoyo durante todo el tiempo de mis estudios y particularmente en esta etapa final.

Lizardo

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento incondicional a:

A Dios por haberme cuidado hasta ahora.

A mis padres Santos Vásquez Mejía y Felícita Cabrera Burga.

A mis hermanos gracias, que de una u otra manera me apoyaron.

A todos los docentes de esta prestigiosa universidad por sus consejos y enseñanzas para la superación de cumplir con mis deseos.

Lizardo

RECONOCIMIENTO

A la prestigiosa Universidad Alas Peruanas por la oportunidad para la superación y optar el grado de ingeniero de minas.

A mis docentes que desarrollaron mi capacidad de entendimiento.

A la ayuda del director o asesor de tesis por sus orientaciones y guías.

Lizardo

ÍNDICE

| | Pág. |
|--|-------------|
| CARATULA | ii |
| DEDICATORIA | ii |
| AGRADECIMIENTO | iii |
| RECONOCIMIENTO | iv |
| ÍNDICE | v |
| ÍNDICE DE TABLAS | ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS | x |
| RESUMEN | xi |
| ABSTRAC | xii |
| INTRODUCCIÓN | xiii |
| CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO | 14 |
| 1.1. Descripción de la Realidad Problemática..... | 14 |
| 1.2. Delimitación de la Investigación..... | 15 |
| 1.2.1. Delimitación Espacial | 15 |
| 1.2.2. Delimitación Social | 15 |
| 1.2.3. Delimitación Temporal..... | 15 |
| 1.2.4. Delimitación Conceptual..... | 16 |
| 1.3. Problemas de Investigación | 16 |
| 1.3.1. Problema Principal | 16 |
| 1.3.2. Problemas Secundarios | 16 |
| 1.4. Objetivos de la Investigación | 17 |
| 1.4.1. Objetivo General..... | 17 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos | 17 |
| 1.5. Hipótesis y Variables de la Investigación | 18 |
| 1.5.1. Hipótesis General..... | 18 |

| | Pág. |
|--|-----------|
| 1.5.2. Hipótesis Secundarias..... | 18 |
| 1.5.3. Variables | 19 |
| 1.6. Metodología de la Investigación..... | 20 |
| 1.6.1. Tipo y Nivel de Investigación..... | 20 |
| 1.6.2. Método y Diseño de la Investigación | 21 |
| 1.6.3. Población y Muestra de la Investigación | 22 |
| 1.6.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos..... | 22 |
| 1.6.5. Justificación, Importancia y Limitaciones de la Investigación | 23 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 25 |
| 2.1. Antecedentes del Problema..... | 25 |
| 2.2. Bases Teóricas | 32 |
| 2.2.1. Métodos de Explotación | 32 |
| 2.2.2. Productividad Minera..... | 35 |
| 2.2.3. Usos de las Arcillas | 37 |
| 2.2.4. Génesis de los Yacimientos Caolinífticos..... | 38 |
| 2.2.5. Proceso de Extracción:..... | 40 |
| 2.2.6. Minería A Cielo Abierto..... | 41 |
| 2.2.7. Planificación de Explotaciones A Cielo Abierto | 42 |
| 2.2.8. Ciclo de Operaciones | 43 |
| 2.3. Definición de Términos Básicos..... | 46 |
| CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 48 |
| 3.1. Análisis de tablas y gráficos | 48 |
| 3.1.1. Ubicación de la zona de estudios:..... | 49 |
| 3.1.2. Grupo Goyllarisquizga: | 53 |
| 3.1.3. Depósitos cuaternarios:..... | 55 |

| | | |
|--------|--|-----------|
| 3.1.4. | Génesis de los Depósitos de Arcillas en la Zona de Estudio:..... | 57 |
| 3.2. | Análisis de Reservas Mineras..... | 58 |
| 3.2.1. | Obtención de Reservas mediante Landsat 7:..... | 58 |
| 3.2.2. | Reservas Probables | 62 |
| 3.3. | Cálculo de ley | 67 |
| 3.4. | Tonelaje de caolinoita..... | 71 |
| 3.5. | Estudio geotécnico..... | 76 |
| 3.6. | Diseño del método de explotación | 76 |
| 3.6.1. | Alternativas..... | 76 |
| 3.6.2. | Elección de alternativa. | 78 |
| 3.6.3. | Diseño Geométrico..... | 79 |
| 3.7. | Cálculo de la Estabilidad..... | 80 |
| 3.8. | Sistema de Secuencia y Arranque | 83 |
| 3.8.1. | Descripción de labores a realizar: | 84 |
| 3.8.2. | Aspectos Ambientales | 85 |
| 3.8.3. | Manejo de Estéril y Capa Vegetal | 85 |
| 3.8.4. | Evaluación de los Impactos Ambientales | 86 |
| 3.9. | Evaluación Económica..... | 87 |
| 3.9.1. | Flujo de Caja (CASH FLOW)..... | 88 |
| | CONCLUSIONES | 90 |
| | RECOMENDACIONES | 91 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 92 |
| | ANEXOS | 96 |
| 1. | Matriz de consistencia..... | 97 |
| 2. | Fotografías | 98 |
| 3. | Instrumentos de Validación | 100 |

| | |
|---------------------|------------|
| PLANOS | 103 |
|---------------------|------------|

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1: Operacionalización de las variables. | 19 |
| Tabla 2: Accesibilidad a la zona de estudio..... | 50 |
| Tabla 3: Climatología a nivel provincial. | 52 |
| Tabla 4: Volumen de los depósitos de Arcillas. | 64 |
| Tabla 5: Densidad de los depósitos de Arcillas. | 66 |
| Tabla 6: Tonelaje de los depósitos de Arcillas..... | 67 |
| Tabla 7: Parámetros de resistencia mediante el ensayo de corte directo | 72 |
| Tabla 8: Resultados de corte directo determinados en el estudio | 73 |
| Tabla 9: Resumen de propiedades geotécnicas de las Arcillas en la zona. | 75 |
| Tabla 10: Factores de seguridad por medio del software Slide..... | 81 |
| Tabla 11: Clasificación de los impactos ambientales. | 87 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1: Tramos de accesibilidad. | 51 |
| Figura 2: Afloramiento de la Formación Carhuaz. | 53 |
| Figura 3: Afloramiento de la Formación Farrat. | 54 |
| Figura 4: Formación Farrat aflorante en la zona de estudio. | 55 |
| Figura 5: Depósitos lacustres de la zona de estudio. | 56 |
| Figura 6: Depósitos fluviales. | 57 |
| Figura 7: Depósito de arcilla. | 58 |
| Figura 8: Comparación de firmas espectrales Caolinita/Esmectita. | 59 |
| Figura 9: Imagen mostrando la abundancia de Caolinita/Esmectita. | 60 |
| Figura 10: mapeo espectral. | 61 |
| Figura 11: Modelamiento superficial de las tres zonas de interés en la zona .. | 62 |
| Figura 12: Análisis de la muestra de la zona 1. | 68 |
| Figura 13: Análisis de la muestra de la zona 2 | 69 |
| Figura 14: Análisis de la muestra de la zona 3. | 70 |
| Figura 15: Alternativa de bancos en la zona 1. | 77 |
| Figura 16: Modelo de banco | 78 |
| Figura 17: Abaco No. 2, terreno parcialmente saturado | 80 |
| Figura 18: Perfil de estructura. | 82 |
| Figura 19: Cobertura a remover. | 84 |
| Figura 20: Banco de explotación 1. | 98 |
| Figura 21: Muestra de arcillas. | 99 |

RESUMEN

Ésta tesis surge por la problemática en la concesión minera no metálica Rumicucho I, ya que se explota arcilla tipo caolinita sin ningún criterio técnico, por tanto, se determinó y diseñó el método de explotación minera.

El objetivo principal fue establecer el método de explotación para mejorar la productividad minera en la extracción de arcillas tipo caolinita en la concesión minera no metálica Rumicucho I, distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017.

Se concluye que en la concesión Rumicucho I, afloran dos tipos de arcillas principalmente la caolinita y la smectita, se encuentran dispersas en 3 zonas en forma de vetas. Las Formaciones Geológicas representativas son la Formación Carhuaz, Farrat e Inca, pero además de ello hay abundancia de depósitos cuaternarios lacustres y fluviales definidos por el río Cajamarquino. Finalmente se obtuvo un tonelaje total de 401,327.554 TM. de arcillas caoliníticas .

La concesión Rumicucho I, se propuso 2 alternativas de extracción, por un solo banco y por varios bancos ascendentes.

La explotación representa un flujo de entrada de 14 046 464.39 soles considerando que las reservas probables son 401,327.554 TM a 35 soles cada tonelada. El flujo saliente son el pago a los trabajadores, gastos legales, entre otros que suman 1 523 584 soles generando Cash Flow de 12 522 880.39 soles.

Palabras claves: Arcillas tipo caolinitas, problemática, método de explotación, producción, soles generados.

ABSTRAC

This thesis arises from the problem in the non-metallic mining concession Rumicucho I, since kaolinite-type clay is exploited without any technical criteria, therefore, it was determined and designed the method of mining exploitation.

The main objective was to establish the exploitation method to improve mining productivity in the extraction of kaolinite clays in the nonmetallic mining concession Rumicucho I, Llacanora district, Cajamarca, 2017.

It is concluded that in the concession Rumicucho I, two types of clays appear mainly the kaolinite and the smectite, they are dispersed in 3 zones in the form of veins. The representative Geological Formations are the Carhuaz Formation, Farrat and Inca, but in addition there is abundance of lacustrine and fluvial quaternary deposits defined by the Cajamarquino River. Finally, a total tonnage of 401,327,554 MT was obtained. Of kaolinite clays.

For the exploitation of concession Rumicucho I, two alternatives extraction were proposed by a single bank and several upward banks.

The exploitation through banks represents an income of 14 046 464.39 soles considering that the probable reserves are 401,327,554 MT to 35 soles per ton. The expenses are the payment to the workers, legal expenses, among others that is 1 523 584 soles generating Cash Flow of 12 522 880.39 soles.

Clue words: Clay caolinitas types, problems, exploitation method, production, soles generados.

INTRODUCCIÓN

La tesis se desarrolló en la Región Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Llacanora, Centro Poblado de Huayrapongo, específicamente en la concesión no metálica de arcillas tipo caolinita Rumicucho I.

Los minerales de arcillas se utilizan en una amplia variedad de industrias, incluida la cerámica, perforación de petróleo, minería, pintura, revestimientos, absorbentes, así como la industria del papel y el metal. Éstas industrias se enfrentan a una serie de problemas relacionados con la arcilla. Las arcillas pueden ser difíciles de caracterizar debido a su pequeño tamaño, composición estructural variable y cinética relativa lenta de formulación y alteración. SGS cuenta con los mejores conocimientos del sector en mineralogía de alta definición para proporcionar interpretación e identificación de arcillas.

La tesis consistió en realizar el diseño para la explotación de arcillas, específicamente caolinita. Se determinó las reservas probables para la evaluación de la viabilidad económica y técnica.

Actualmente existen muchas concesiones mineras no metálicas que trabajan en completa informalidad, sin estudios básicos, como por ejemplo el diseño de explotación, cálculo de reservas, evaluación económica, estudio ambiental, etc. razón por la cual no tienen un adecuado planeamiento de mina.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

La creciente demanda de minerales no metálicos, ha provocado que los yacimientos cerca la superficie sea cada vez más escasos, conduciéndonos a explotar yacimientos con estructuras más profundas, que nos conduce a un tipo específico de explotación.

Las empresas dedicadas a esta actividad deben tener una planificación ingenieril, que contemple el análisis de los problemas mineros en su aspecto técnico, económico, ambiental y social, así como la aplicación eficiente de la correspondiente norma que resuelva los problemas (Estupiñán, 2013).

Una de las fallas que con más frecuencia se cometen al iniciar la explotación de una cantera nueva o durante su curso de explotación, es la de no cerciorarse con la suficiente cantidad y calidad de las primeras muestras, lo cual se logra mediante los estudios de exploración (Camejo, 2013).

Actualmente en Cajamarca el denuncio de concesiones mineras ha aumentado notoriamente, pero es necesario recalcar que la mayoría de las empresas trabajan en completa informalidad, sin estudios básicos,

como por ejemplo el diseño apropiado del modelo de explotación, cálculo de reservas, evaluación económica, estudio ambiental, etc.

Una de las concesiones mineras que explota sin ningún criterio técnico es la concesión Rumicucho, por tanto, se debe iniciar determinando los depósitos de Arcillas tipo caolinita y sus zonas de mayor incidencia, para luego determinar el tipo y método de explotación; para mejorar la productividad de esta mina.

1.2. Delimitación de la Investigación

1.2.1. Delimitación Espacial

La tesis se llevó a cabo en la concesión Rumicucho I de la empresa Rumicucho SRL, se encuentra ubicada en el centro poblado Huayrapongo, distrito de Llacanora, provincia y región Cajamarca la Región Cajamarca.

1.2.2. Delimitación Social

En la investigación se trabajó con:

- Los 3 tres socios de la empresa Rumicucho S.R.L.
- Los pobladores del Centro poblado Huayrapongo.

1.2.3. Delimitación Temporal

El presente trabajo de investigación se realizó desde el 1 de Marzo del 2017 al 15 de Julio del 2017.

1.2.4. Delimitación Conceptual

Los conceptos mencionados a continuación, son todos aquellos que tenemos que tener presente a lo largo del desarrollo de esta tesis:

- Método de Explotación
- Arcilla Tipo Caolinita
- Concesión Minera No Metálica
- Productividad Minera

1.3. Problemas de Investigación

1.3.1. Problema Principal

- ¿Cuál es el método de explotación apropiado para mejorar la productividad minera en la extracción de arcillas tipo caolinita presentes en la concesión minera Rumicucho I, distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017?

1.3.2. Problemas Secundarios

- ¿Cuál es la estructura geológica de las arcillas tipo caolinita para determinar el método de explotación y mejorar la productividad minera, en la concesión minera no metálica Rumicucho I, distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017?
- ¿Cuál es la mejor alternativa como método de explotación para mejorar la productividad minera en la concesión minera no metálica Rumicucho I, distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017?
- ¿Por qué demostrar que la alternativa del método de explotación de arcillas tipo caolinita es viable para mejorar la

productividad minera, en la concesión Rumicucho I, distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017?

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

- Establecer el método de explotación para mejorar la productividad minera en la extracción de arcillas tipo caolinita en la concesión minera no metálica Rumicucho I, distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la estructura geológica y las reservas de arcilla tipo caolinita en la concesión minera no metálica Rumicucho I para definir su método de explotación y mejorar su productividad minera, distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017.
- Presentar una alternativa de método de explotación que se llevaría a cabo en la concesión Rumicucho I, para mejorar la productividad minera, distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017.
- Demostrar que la alternativa del método de explotación de arcillas tipo caolinita es viable para mejorar la productividad minera, en la concesión Rumicucho I, distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017.

1.5. Hipótesis y Variables de la Investigación

1.5.1. Hipótesis General

- Con el diseño del método de explotación se ayudará a mejorar la productividad minera de la concesión Rumicucho I, en el centro poblado Huayrapongo, del distrito Llacanora, Cajamarca, 2017.

1.5.2. Hipótesis Secundarias

- La evaluación de la estructura geológica de las arcillas tipo caolinita, ayudará a la empresa Rumicucho S.R.L. a definir el de explotación a emplearse, en la concesión minera no metálica Rumicucho I, del centro poblado Huayrapongo, del distrito Llacanora, Cajamarca, 2017.
- Al tener una alternativa de método de explotación se definirá su beneficio en la productividad minera de la concesión Rumicucho I, del centro poblado Huayrapongo, del distrito Llacanora, Cajamarca, 2017.
- Demostrando que la alternativa del método de explotación de arcillas tipo caolinita en la concesión Rumicucho I es viable ayudará a definir su mejora en la productividad minera, de la concesión Rumicucho I, del centro poblado Huayrapongo, del distrito Llacanora, Cajamarca, 2017.

1.5.3. Variables

a) Variable Independiente

Método de explotación.

b) Variable Dependiente

Productividad minera.

1.5.4. Operacionalización de las Variables

Tabla 1

Operacionalización de las variables.

| VARIABLE | TIPO DE VARIABLE | DIMENSIONES | INDICADOR |
|-----------------------------|--------------------|--|---|
| Productividad minera | Dependiente | Técnica | Incremento de la producción de arcillas |
| | | Económica | Ganancias monetarias |
| | | Social | % de aceptación del proyecto |
| | | Ambiental | Reducción de Impactos negativos |
| Método de explotación | Independiente | Características espaciales | Tamaño |
| | | | Forma |
| | | | Profundidad |
| | | | Disposición |
| | | Condiciones geológicas e hidrogeológicas | Petrología |
| | | | Mineralogía |
| | | | Estructuras |
| | | | Geoquímica |
| | | Consideraciones económicas | Alteraciones |
| | | | Agua subterránea |
| Reservas | | | |
| Consideraciones geotécnicas | Tasa de producción | | |
| | Vida de la mina | | |
| | | Productividad | |
| | | Propiedades elásticas | |
| | | Comportamiento plástico | |

| | |
|---------------------------|-----------------------|
| | Estado de esfuerzos |
| | Consolidación |
| | Propiedades físicas |
| | Seguridad minera |
| Factores medioambientales | Efectos en superficie |
| | Control atmosférico |
| | Capacitaciones |
| | |

Fuente: Elaboración propia. (2017).

1.6. Metodología de la Investigación

1.6.1. Tipo y Nivel de Investigación

a. Tipo de Investigación

Según Rincón (2000) en esta investigación se empleará la investigación cuantitativa ya que para definir el método de explotación se aplicará una serie de técnicas específicas con el objeto de recoger, procesar y analizar características técnicas de los depósitos de arcillas tipo caolinita de la concesión Rumicucho I durante el año 2017.

b. Nivel de Investigación

Según Rincón (2000) en esta tesis se empleará los siguientes niveles de investigación:

- La investigación es exploratoria: ya que el tema del diseño del método de explotación para la extracción de arcillas tipo caolinita en la concesión Rumicucho I, no ha sido abordado o no ha sido suficientemente estudiado y las condiciones técnicas existentes no son aún determinantes.

- La investigación es descriptiva: porque se desea describir, en todos los factores mineros presentes actualmente que ayuden a determinar el diseño de método de explotación de arcillas tipo Caolinita en la Concesión Rumicucho I.
- La investigación es correlacional: porque se va a medir el grado de relación existente entre el diseño del método de explotación y la mejora de la productividad minera en la extracción de arcillas tipo Caolinita en la concesión Rumicucho I.

1.6.2. Método y Diseño de la Investigación

a. Método de Investigación

Según Gutiérrez y Sánchez (1990), en esta investigación se complementarán dos métodos de investigación:

- Método analítico: que consistirá en revisar toda la información bibliográfica necesaria para la investigación sobre el diseño de método de explotación de arcillas tipo Caolinita en la concesión Rumicucho I.
- Método sintético: En esta investigación se analizará y sintetizará la información recopilada sobre el diseño de método de explotación de arcillas tipo Caolinita en la concesión Rumicucho I.

b. Diseño de Investigación

Según Sabino (2000), para esta investigación se aplicará los siguientes diseños de investigación:

- Diseño Documental

Ya que se va a estudiar problemas concernientes a la determinación del método de explotación con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de este tema, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos.

- **Diseño de Campo**

En este diseño, los datos se obtendrán directamente del área de la concesión minera Rumicucho I, a través de la acción del tesista.

1.6.3. Población y Muestra de la Investigación

a. Población

Concesión Minera no Metálica Rumicucho I, del centro poblado Huayrapongo, del distrito Llacanora, en el departamento de Cajamarca, 2017.

b. Muestra

Se utilizarán 5 hectáreas de la concesión Rumicucho I, donde afloran las capas de arcilla tipo caolinita.

1.6.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

a. Técnicas

- **Observación directa**

Se recolectan los datos tomados en campo con respecto a forma del depósito, propiedades físicas, topografía, entre otras.

- Entrevista
Aplicada a los socios de la empresa Rumicucho S.R.L. para obtener los estudios realizados anteriormente.

- Análisis documental
Se recolectan datos de fuentes secundarias. Libros, boletines, revistas, folletos, y periódicos se utilizan como fuentes para recolectar datos sobre las variables de interés.

b. Instrumentos

Los instrumentos a emplearse para la elaboración del presente trabajo de investigación serán:

- Ficha de clasificación de recursos minerales.
- Ficha de clasificación mineralógica.
- Modelo de ficha topográfica.
- Ficha de clasificación del RMR.

1.6.5. Justificación, Importancia y Limitaciones de la Investigación

a. Justificación

En la concesión minera no metálica Rumicucho I se explota arcilla tipo caolinita sin ningún criterio técnico, por tanto, esta investigación es necesario porque determinará y diseñará el método de explotación minera con la finalidad de iniciar la explotación minera optimizando los factores técnicos operativos.

Los aportes de la presente investigación servirán para que la empresa Rumicucho S.R.L. inicie sus operaciones mineras enfocándose a la productividad, además servirá de guía para otras personas interesadas en el tema de diseñar un método

de explotación para extraer arcilla tipo caolinita, así como también para universidades, institutos, empresas que se enfoquen en diseñar un método de explotación para concesiones no metálicas.

b. Importancia

Esta investigación es importante para que la empresa Rumicucho S.R.L., aplique el diseño del método de explotación estudiado para mejorar la productividad en la extracción de arcillas tipo caolinita de la concesión minera no metálica Rumicucho I.

c. Limitaciones

- En superficie solo afloran dos vetas de arcilla tipo caolinita, por tanto, no se puede tener un espesor exacto de dicha veta, es necesario tener un talud libre.

- La empresa Rumicucho S.R.L. no cuenta con estudio de pre factibilidad, es por ello que para la elaboración de la tesis se realizará una breve descripción con datos básicos, mas no se evaluará con un contraste económico.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema

Ortega (2012), en su Tesis titulada “*Diseño para la Explotación de la Cantera de Arcilla, Barrio Cera- Cantón Loja*” presentada a la Universidad Técnica Particular de Loja, presenta como objetivo general, realizar el diseño de explotación del yacimiento de arcilla del barrio Cera y calcular las reservas para su explotación para lo cual divide su metodología en etapa de campo y etapa de oficina. Para el cálculo de reservas se determinaron los métodos de: Media Aritmética y el de Secciones o perfiles. Se consideraron como válidos los valores del método de secciones debido que en el de la media aritmética se utilizó una profundidad media de 2,24 m, y el diseño de explotación permite profundizarse en valores inferiores al señalado. El depósito de arcilla cuenta con 6.155,72 toneladas de reservas probadas y 13.853,61 toneladas probables, de acuerdo a las características del depósito, situación geográfica del terreno y a las obras civiles emplazadas en el sector se determinó que el sistema de explotación idóneo para éste depósito es el Método de Cantera (bancos descendentes). Los bancos de la cantera tendrán los siguientes parámetros: Altura del banco: 2,22 m; Ancho de la

Berma: 2,00 m; Ángulo del talud: 17°; y Ángulo general de la cantera: 14°.

Rodríguez (2014), en su Tesis titulada "*Evaluación del Comportamiento Geomecánico de Arcillas en el Sector de Campoalegre – Ciudad de Barranquilla*" presentada a la Universidad Nacional de Colombia, presenta como objetivo general, realizar el diseño de explotación del yacimiento de arcilla del barrio Cera y calcular las reservas para su explotación para lo cual divide su metodología en etapa de campo y etapa de oficina. Se ha desarrollado un programa experimental orientado a caracterizar sus propiedades físicas y microestructurales mediante análisis mineralógicos con técnicas de Difracción de Rayos X (DRX), Espectroscopia de Infrarrojo (FTIR), ensayos geotécnicos convencionales y microscopía óptica y electrónica. Se concluyó que el potencial de expansión en el perfil litológico no sigue un comportamiento lineal con la profundidad, las mediciones realizadas tanto de Presión de expansión P_e como de Expansión libre E (%), son mayores para los Niveles litológicos A y C. Estos resultados son acordes con los obtenidos en la fase de caracterización fisicoquímica. Un comportamiento encontrado en mayor o menor proporción en todo el perfil litológico, es el de la recuperación de las deformaciones en el proceso de descarga debido al reacomodo de las partículas y la disminución de la macroporosidad inducidos por aumentos en el esfuerzo vertical (en condición saturada). A mayores cargas verticales todos los poros (incluidos los microporos) tienden a llenarse de agua que entra en contacto con las superficies de los minerales expansivos y la deformación volumétrica en descarga aumenta. Este aspecto es quizá más importante que el mismo potencial de expansión en procesos de humedecimiento para los Niveles A y B ya que induce la generación de grandes deformaciones

volumétricas; debe ser considerado en la práctica ingenieril al momento de intervenir el terreno en procesos de carga – descarga en condición saturada. Para el Nivel C la deformación por potencial de expansión es más importante que la variación de los esfuerzos verticales y por lo tanto los procesos de humedecimiento y saturación deben ser considerados.

Sánchez (2015), en su Tesis titulada *“Impactos causados por la Industria de Extracción de Arcilla del municipio de Puerto Salgar Cundinamarca”* presentada a la Universidad de Cundinamarca - Bogotá, el desarrollo de esta investigación fue la identificación y descripción de impactos, en la operación de los chircales o fábricas de ladrillos de arcillas se encuentra localizado en el casco urbano del municipio de Puerto Salgar (Cundinamarca). El autor concluye que es claro que la permanente actividad de producción de derivados de la arcilla y la combustión de elementos convencionales empleados como el carbón mineral, la cascarilla de café, leña entre otros, generan la emisión de gases con elementos contaminantes deteriorando la calidad del aire del área circundante a las ladrilleras, además la actividad de cocción aumenta la temperatura del ambiente aledaño, estos impactos al ambiente contribuyen a aumentar el calentamiento global. Además, la deficiente organización asociativa, empresarial y tecnificación de la explotación, plantas de transformación y hornos de calcinación actuales, han llevado a los chircaleros a una depresión económica y social que ha afectado el medio ambiente regional. Por carencia de un planeamiento minero ambiental, hay deterioro en las zonas puesto que no se aplica un plan de manejo, que incluya optimización de escombreras, ubicación y reutilización de la capa vegetal, recuperación de las cuencas hídricas, disminución de la contaminación de los recursos suelo, agua, aire y sobretodo que minimice

convenientemente el alto impacto ambiental producido por los hornos de fuego dormido que actualmente se utilizan.

López (2014), en su Tesis titulada "*Estudio de Materiales Compuestos Obtenidos a partir de Lodos Celulósicos de la Industria Papelera, Cemento y Arcilla*" presentada a la Pontificia Universidad Católica del Perú, el objetivo de la presente tesis fue el estudio de las propiedades de mezclas de lodos de papel, cemento y arcilla del tipo bentonita sódica, en la perspectiva de obtener un material compuesto de propiedades adecuadas para la fabricación de materiales de construcción de bajo costo en el Perú. La metodología para el este estudio incluye la elaboración de muestras con distintas composiciones de mezcla de lodos de papel, pasta de cemento y pasta de bentonita sódica, de acuerdo al diseño experimental. El autor concluye que la mejor combinación de propiedades mecánicas corresponde al material compuesto de 45% de cemento, 55% lodos de papel y 15% de bentonita sódica, ya que presenta el valor más alto de resistencia a la flexión (10,9 MPa); buen momento de rotura (100,2 mmN/mm), buena manipulabilidad (34,3 mmN/mm), una densidad de 1447,7 kg/m³ correspondiente al tipo de concreto estructural y una absorción de agua de 13.62% en equilibrio con el medio ambiente; estos valores logran superar los valores mínimos establecidos por la norma ASTM C1225-08 ; resultando en un material compuesto de buena resistencia y rigidez específicas suficientes para algunas aplicaciones como revestimiento para techos (tejas, lozas, paneles y cubiertas para techos). Además, se ha demostrado que la bentonita sódica puede ser usada como aditivo en el material compuesto ya que permitió: aumentar la resistencia a la flexión del material compuesto desde 9,55 MPa hasta 10,85 MPa, obtener una resistencia a la

compresión de 30,9 MPa y disminuir la absorción de agua del material a partir del 15% de bentonita sódica.

Bullón (2014), en su Tesis titulada "*Estudio Comparativo de la Mineralogía y los Coloides Arcillosos en Suelos de Trópicos Húmedos*" presentada a la Universidad Continental, utilizó el método analítico descriptivo y correlacional. El autor concluye que las arcillas presentes en los Oxisoles son kaolinitas, en menor proporción goetitas y gibsitas, óxidos de fierro libre y de aluminio. En los Ultisoles las arcillas son Illitas, un poco de cuarzo, esmectíticas y kaolínicas. El pH en KCl es inferior al pH en agua. En los suelos estudiados, por lo cual se puede calcular la carga negativa del coloide suelo. Además, la regresión y correlación lineal de la acidez cambiante en función del pH muestra una diferencia neta entre la acidez cambiante de los Ultisoles y de los Oxisoles. En los Oxisoles la correlación lineal simple de la Acidez Cambiante BaCl₂, TEA y el Aluminio Cambiante KCl fue negativa y no significativa, mientras que en los Ultisoles fue positiva y estadísticamente significativa.

Soto (2015), en su Tesis titulada "Caracterización de la Actividad Minera Artesanal No Metálica en la Zona de la Carretera Iquitos-Nauta" presentada a la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. El objetivo del presente trabajo fue realizar el diagnóstico de caracterización a la minería artesanal no metálica, para la obtención de datos que permita la planificación sostenida del recurso. El autor concluye que dentro del material de extracción considerado en mayor proporción esta arena, el cual se destina para las construcciones en la ciudad de Iquitos. Las arcillas se destinan para la fabricación de ladrillos en forma artesanal en poca cantidad y no es constante. La arena se extrae en forma mecanizada utilizando tractores de oruga y cargadores

frontales (21,05%) y manualmente utilizando palas y carretillas en cuadrillas de 15 hombres para llenar los camiones que generalmente cargan de 16 a 17 m³ de arena por volquete. El promedio de arena extraída en volumen es de 2 094 m³ al día, y al mes de 50 268 m³.

García (2015), en su Tesis titulada "*Resistencia de la Subrasante Incorporando Cal Estructural en el Suelo Arcilloso del Sector 14 Mollepampa de Cajamarca*" presentada a la Universidad Privada del Norte – Sede Cajamarca, el objetivo fue investigar si al incorporar cal al suelo natural en los porcentajes de 2%, 4%, 6% y 8%, éste aumenta su resistencia y disminuye su plasticidad. Para el desarrollo de este proyecto de investigación primero se procedió a la obtención de muestras por medio de 02 calicatas de 1.50m de profundidad donde el estrato a analizar se obtuvo a 40 cm aproximadamente de excavación, después se analizó el suelo en el laboratorio obteniendo por medio de los ensayos granulométrico y límites de Atterberg, un suelo limo arcilloso según la clasificación SUCS y AASHTO. El autor concluye que la resistencia de la subrasante limo arcillosa al incorporar cal estructural por medio del ensayo CBR, teniendo así el CBR al 0.1": con un suelo natural un CBR de 5.20%, incorporando 2% de cal un CBR de 5.30%.

Alarcón y Salazar (2016), en su Tesis titulada "*Evaluación Económica para Explotación de Arcillas tipo Caolinita en la Concesión Minera Rumicucho, Centro Poblado Huayrapongo, Distrito Llacanora*" presentada a la Universidad Privada del Norte, se determinó las reservas probables mediante el método de triangulación e inversa a la distancia y la estimación económica mediante un diagrama de CASH FLOW con código NIIF. Se concluye que el proyecto minero RUMICUCHO es

viable para la explotación de arcillas tipo caolinitas. Las arcillas se encuentran emplazadas estratigráficamente en la formación geológica Carhuaz. Las reservas mineras calculadas mediante métodos geoestadísticos clásicos fueron 61448.96 TM. La evaluación mediante Flujo de fondos (Cash Flow) da un tiempo de vida de 6.36 y una recuperación de inversión (Pay Back) de 0.64 por tanto el proyecto es viable.

Soto y Chávez (2016), en su Tesis titulada *“Estudio de Factibilidad Técnica de Explotación de Arcillas, para Optimizar la Rentabilidad Económica en la Concesión Minera Cantera Vásquez, Cajamarca 2016”* presentada a la Universidad Privada del Norte, comprende estudios de geología local y estructural, detalla el método de explotación, sistema de minado, la tecnología a emplear, determina los costos de transporte, así como de una propuesta alternativa para la extracción de mayor calidad. Los puntos principales de la propuesta son: la realización de un cálculo preliminar de reservas y de un análisis económico enfocado en obtener la mayor productividad y rentabilidad de explotación. El autor concluye que:

- Las características geológicas de la Cantera Vásquez, determinado a través de las observaciones oculares, identificación del recurso y características en cuanto a color y volumen, determinan en definitiva la rentabilidad del proyecto.
- Los costos de transporte de mineral se considera una variable relevante ya que constituye uno de los factores que determina la factibilidad de explotación de arcilla, debido a la distancia, tipo de carretera, la variación del

precio de combustible y la distancia total hasta el lugar de transformación e industrialización.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Métodos de Explotación

a. Definición

Métodos de explotación es el conjunto de todas las normas, reglas y actividades mineras, siguiendo tecnologías adecuadas para lograr el máximo aprovechamiento de las reservas de mineral, desde el punto de vista técnico y económico. El método de explotación depende de la geometría del yacimiento y de la geoforma con respecto a las rocas y la topografía que lo contienen. Con respecto a la geometría se incluye el diseño de la forma normalizada de las labores de acceso, preparación y explotación de cada sector de explotación de mineral útil, en cuanto a su forma geoespacial se refiere a las tecnologías aplicadas en el arranque del mineral, cargue, transporte y control de huecos. La selección del método de explotación en minería a cielo abierto que más se ajuste a la geometría del yacimiento, estará orientado por las características del mismo depósito de minerales (Beltrán, 2012).

b. Clasificación de los métodos de explotación

La clasificación de los métodos de explotación se ha realizado con base en la forma de los depósitos, tipos de rocas, geometría del yacimiento y nivel tecnológico utilizado. En este sentido los métodos de explotación más usados son (Beltrán, 2012):

- Canteras: Calizas, Hierro, Materiales de construcción.
- Cortas: Minerales Metálicos de origen intrusivo.
- Transferencia: Carbón.
- Aluviones: Arenas, Aluviones auríferos.

La explotación por minería a Cielo Abierto se ha venido generalizando por la presencia de depósitos de mineral que son abundantes en tonelaje y estar cerca de la superficie, aunque a veces con bajo contenido de mineral útil. Igualmente se ha generalizado el perfeccionamiento de la maquinaria pesada utilizada en estas explotaciones y la creciente demanda de minerales que difícilmente se pueden lograr con minería subterránea (Beltrán, 2012).

c. Condiciones Geológicas, Sociales, Ambientales y Económicas

Los métodos como en toda explotación minera están íntimamente ligados a las condiciones geológicas, sociales, ambientales y económicas del propio depósito de mineral y de la ubicación del yacimiento donde se pretenda explotar. Es evidente la influencia de las condiciones físicas del yacimiento en sus posibilidades de explotación, pues todas ellas deben conocerse perfectamente para establecer la posibilidad de ser explotado con facilidad; estas condiciones son forma, profundidad, potencia, buzamiento, rocas encajantes, contenido de mineral útil, tectónica imperante, contaminantes, gases y ambiente imperante en el área de influencia de la posible explotación. Por su parte las condiciones sociales influyen en primer lugar por el

cumplimiento de todas las normas de seguridad e higiene, por la posibilidad de vincular personal, conocer bien las normas legales del país y relacionarse con las autoridades que tienen a su cargo la reglamentación minera, posibilidades de adquirir terrenos, disponer de mapas de la región e indemnizaciones que deben realizarse. Igualmente, se debe tener en cuenta los riesgos potenciales que se tienen de deteriorar el medio ambiente, para establecer la posibilidad de lograr el menor deterioro posible y velar por la conservación de la fauna, la flora, las aguas y el aire, dentro de la zona de incidencia de la explotación. Finalmente, las condiciones económicas son de dos clases: las particulares de la empresa explotadora y la de interés común: en relación con las primeras debe lograrse un costo unitario adecuado y obtener las proyecciones en los plazos con la producción prevista para amortizar los capitales invertidos y obtener un margen de rentabilidad adecuado. En cuanto al interés común, debe evitarse el mal aprovechamiento de las reservas de mineral útil, por abandono de zonas menos rentables. Los límites económicos y naturales que determinan la elección de un método subterráneo o superficial son en resumen el costo de la explotación y la calidad del mineral útil; la relación entre el estéril y el mineral es un coeficiente determinante de la elección. Los límites antes indicados se refieren a la profundidad que puede alcanzarse con una labor a cielo abierto, en la que el costo de la tonelada de mineral, sea igual a la obtenida por laboreo subterráneo. Si llamamos A al costo de extracción de un metro cúbico de mineral a cielo abierto, B al de un metro cubico de estéril, X a la relación entre estériles y mineral,

y C a costo de extracción por mina subterránea por un metro cúbico de mineral, tendremos (Beltrán, 2012):

$$A + BX = C \text{ y en consecuencia } X = (C - A)/B$$

Al valor de X se le llama coeficiente de explotabilidad o límite económico, que quiere decir la máxima cantidad de material estéril que puede ser removido, sin que se pierda la rentabilidad esperada en el proyecto. En este caso debe tenerse en cuenta que el verdadero límite se encuentra en el nivel en que el costo de extracción de un metro cubico de mineral es el mismo en explotación bajo tierra y a cielo abierto y no el del promedio de la explotación a cielo abierto. Para aplicar la fórmula anterior en la práctica se procede con el ingeniero de minas y el geólogo a realizar los cálculos técnicos y económicos para establecer su viabilidad a cielo abierto o bajo tierra (Beltrán, 2012).

2.2.2. Productividad Minera

La productividad es la relación existente entre el producto y los recursos, la misma que debe ser incrementada conforme avanza la curva de aprendizaje, la experiencia, la creatividad en la operación y la innovación necesaria para lograr su mayor incremento generando como consecuencia un aumento inmediato de la competitividad personal, profesional y empresarial con beneficios para toda la industria (Camejo, 2013).

La productividad minera se expresa en forma de producto generado sea por toneladas extraídas de mina (TM/hombre-guardia), por metros de avance en las exploraciones y desarrollos (m de avance/hombre-guardia), por producción de finos

(onzas/kW-h-turno) o en general productos (toneladas de concentrado, onzas finas, etc.) vs recursos (agua, energía, materiales, reactivos, recursos humanos, capital, tiempo, etc.) debiendo buscar cual es la métrica apropiada de productividad para cada operación minera en particular para sus actuales condiciones de operación y calcular la productividad total cuando se depende de múltiples factores en forma simultánea (Camejo, 2013).

Existen múltiples factores que afectan la productividad y la gran mayoría son factores gestionables por la gerencia de operaciones desde el campo incluyendo la aplicación de los métodos de minado, la plataforma de suministro logístico, la manera de organizar y liderar los equipos, la adecuación de los perfiles de los equipos, la articulación con los proveedores y fabricantes a los cuales los proveedores representan, el grado de automatización y mecanización de la operación y la gestión de la información que se requiere para desarrollar el ciclo en forma continuada, productiva y segura. Estos factores son parte de la ecuación de gestión diaria del ingeniero de minas a cargo de la operación y constituyen una responsabilidad de la gerencia de operaciones de toda compañía minera (Camejo, 2013).

En este contexto multifactorial la productividad minera puede alcanzarse rápidamente en la medida que logremos reducir el tiempo del ciclo de las operaciones del proceso minero, logrando extraer mayores cantidades de mineral con los mismos recursos humanos, tecnológicos, operacionales y financieros. De igual forma la mecanización se ha convertido en uno de los motores del incremento de la productividad en las operaciones mineras logrando mayores producciones en menores tiempos de ciclo con mayor seguridad para los colaboradores. La única restricción hasta hoy no superada para determinadas actividades de

mecanización son las condiciones geotécnicas del macizo rocoso que no permite mecanizaciones a gran escala en algunos casos muy particulares (Camejo, 2013).

El ciclo de extracción de mina se compone principalmente de la secuencia de procesos en bombeo, perforación, voladura, ventilación, relleno, carguío y transporte cuyos componentes pueden ser secuenciados para generar un tiempo de ciclo de producción apropiado a la naturaleza y escala de la operación minera de manera que pueda lograrse la mayor productividad posible. Recordemos que el tiempo de ciclo se compone de tiempos de espera, tiempos en tránsito, tiempos de procesamiento y tiempos fuera de cola para la entrega del material, producto o servicio al proceso siguiente. De estos tiempos, el único tiempo que agrega realmente valor es el tiempo efectivo de procesamiento que es el que debemos procurar tenga los recursos apropiados para un desarrollo seguro y efectivo. El resto de tiempos, lamentablemente no agrega valor y por lo tanto requieren ser reducidos a su mínima expresión técnica viable bajo la responsabilidad operativa de los ingenieros de minas de manera que podamos lograr una operación efectiva y segura en el marco de una industria minera altamente competitiva (Camejo, 2013).

2.2.3. Usos de las Arcillas

La arcilla tiene propiedades plásticas, lo que significa que al humedecerla puede ser modelada fácilmente. Al secarse se torna firme y cuando se somete a altas temperaturas aparecen reacciones químicas que, entre otros cambios, causan que la arcilla se convierta en un material permanentemente rígido, denominado cerámica (Bullón, 2014).

Por estas propiedades la arcilla es utilizada para hacer objetos de alfarería, de uso cotidiano o decorativo. Los diferentes tipos de arcilla, cuando se mezclan con diferentes minerales y en diversas condiciones, son utilizados para producir loza, gres y porcelana. Dependiendo del contenido mineral de la tierra, la arcilla, puede aparecer en varios colores, desde un pálido gris a un oscuro rojo anaranjado. Un horno diseñado específicamente para cocer arcilla es llamado horno de alfarero (Rodríguez, 2014).

La humanidad descubrió las útiles propiedades de la arcilla en tiempos prehistóricos, y los recipientes más antiguos descubiertos son las vasijas elaboradas con arcilla. También se utilizó, desde la prehistoria, para construir edificaciones de tapial, adobe y posteriormente ladrillo, elemento de construcción cuyo uso aún perdura y es el más utilizado para hacer muros y paredes en el mundo moderno. La arcilla fue utilizada en la antigüedad también como soporte de escritura. Miles de años antes de Cristo, por cuenta de los sumerios en la región mesopotámica, la escritura cuneiforme fue inscrita en tablillas de arcilla (Estupiñán, 2013).

2.2.4. Génesis de los Yacimientos Caoliníticos

Genéticamente se originan de estas maneras:

- Yacimientos primarios

Caolines residuales

Formados en la superficie terrestre por intensa meteorización química en climas tropicales y subtropicales, húmedos y cálidos, hacia la profundidad la transición continua a la roca de origen.

La profundidad de la meteorización depende de la porosidad, disyunción y fallas, se presenta con frecuencia minerales inalterados de la roca de origen (Bullón, 2014).

Caolines hidrotermales

Formados por la transformación hidrotermal de la roca de origen, mayormente rocas magmáticas, acidas e intrusivas.

El agua meteórica esta siempre involucrada.

Están frecuentemente asociados a filones, frentes hidrotermales, etc; por eso forman cuerpos filonianos o tubulares con extensiones laterales menores por más profundas (Bullón, 2014).

- Yacimientos secundarios

Los caolines residuales son los que han sido redepositados sobre distancias cortas; la caolinita es relativamente pura y esta enriquecida a menudo (Rodríguez, 2014).

Las arcillas caoliníticas son el producto erosivo de la meteorización de cortezas caoliníticas.

Deposición en ambientes ilimnicos, salobres y fluviales, con frecuencia bajo condiciones reductoras (lagos pantanosos, deltas y lagunas) (Rodríguez, 2014).

Deposición en cuencas, frecuentemente relacionado a fallas.

A menudo con alternancia con arena y limo.

A menudo incorporan minerales de hierro y materia orgánica.

Características físicas de la caolinita:

- Es blanda y no abrasiva
- Es de color blanco o casi blanco
- Es químicamente inerte

- Tiene poder cubridor bueno
- Tiene menor tamaño de grana
- Es plástica y refractaria
- Se deja activar por tratamientos con ácidos

2.2.5. Proceso de Extracción:

Como ya se mencionó anteriormente, consiste en extraer de las entrañas de la tierra, usando los medios más variados, los minerales que se explotan. En el proceso de beneficio se retira la mayor parte de material estéril sin valor económico, produciendo como resultado concentrados (Gutarra, 2014).

Para obtener los resultados que se mencionan, deben analizarse dos aspectos principales: la exploración y posteriormente la explotación (Gutarra, 2014).

La exploración comprende todos aquellos trabajos y estudios necesarios para localizar un yacimiento y comprobar si la cantidad y calidad de minerales existentes pueden permitir una operación rentable, de manera que, una vez terminada en forma favorable esta fase de la actividad, se cuenta con un yacimiento viable técnica y económicamente para su explotación (Gutarra, 2014).

Debe tenerse presente que para que llegue a constituirse un negocio rentable de este tipo deben existir minerales en cantidad y calidad suficientes para pagar la inversión de exploración, la preparación del yacimiento y financiamiento de la inversión en instalaciones y equipo, el importe de los costos de explotación y tratamiento, y, además, que aún deje un margen suficiente de utilidades probables sobre la inversión hecha y el esfuerzo desarrollado. Han de hacerse estudios y perforaciones tentativas, con análisis constantes de los minerales que se extraen, para ir determinando el potencial del lugar, y cuando los especialistas en la materia hayan podido precisar la existencia de minerales en

distintos puntos explorados, mediante cálculos se determina el volumen del propio yacimiento, con lo cual se estima el número de metros cúbicos o de toneladas de mineral existentes. A través de muestras que se van tomando; se está en condiciones de determinar, mediante el ensayo correspondiente, las leyes o contenidos de mineral existente por tonelada (Gutarra, 2014).

Los datos anteriores son ya suficientes para hacer el primer estudio económico sobre las posibilidades del negocio. Por una parte, teniendo la cubicación que se relaciona con las leyes y contenido de aquellos minerales, es posible establecer la potencialidad total del yacimiento, para que a los precios ordinarios de venta de los metales se pueda estimar el ingreso bruto a que se podrá aspirar en aquella explotación (Gutarra, 2014).

De esta manera se podrá determinar las perspectivas de rendimiento de la empresa y, en consecuencia, decidir si se inician los trabajos formales de explotación o, en última instancia, si se abandona la perspectiva por incosteable. Una vez que se consideren terminados los trabajos preparatorios de exploración y suponiendo que los primeros estudios económicos permitan esperar un negocio rentable, han de iniciarse los trabajos de explotación (Gutarra, 2014).

2.2.6. Minería a Cielo Abierto

Después de haberse explorado un yacimiento detalladamente, se procede a su explotación como ya se ha hecho mención anteriormente. Si el yacimiento se halla a poca profundidad, se le explota a cielo abierto, y si se encuentra a gran profundidad, se practica la explotación subterránea. El conjunto de excavaciones a cielo abierto para explotar un yacimiento, se denomina tajo

abierto. Al ser explotado un yacimiento a cielo abierto, se le divide en capas horizontales. Puesto que se explotan varias capas simultáneamente, el tajo o corte adquiere en el proceso de explotación una forma escalonada. Uno de esos escalones, es decir, la parte de la capa que tiene forma escalonada, se llama grada o banco (Camejo, 2013).

La explanada del banco en donde se ubica el equipo de extracción, se llama nivel. En una mina a cielo abierto, a la par con el mineral, se extrae necesariamente gran cantidad de rocas no aprovechables o material estéril que encierran el cuerpo mineralizado. El proceso de obtención del mineral recibe el nombre de trabajos de extracción, llamándose descapote o desmonte la eliminación de material estéril” (Camejo, 2013).

2.2.7. Planificación de Explotaciones a Cielo Abierto

Son muchos los factores que intervienen en el diseño y planificación de las explotaciones mineras, lo que hace de ésta, una formidable y complicada tarea, tal vez sólo superada, por la propia operación minera. La geología, la extensión y morfología del yacimiento, la distribución espacial de la calidad y cantidad de los diferentes materiales, la climatología, la hidrogeología e hidrología, las características geomecánicas de los materiales, la topografía y su relación con el depósito, los taludes finales de la excavación, los límites de la concesión minera; las leyes de corte, las leyes medias y los ratios, los ritmos de producción en mina y en planta, las horas anuales de trabajo, las productividades, los factores de eficiencia, la flexibilidad de la operación, el número de frentes de trabajo, su longitud, la separación entre ellos, el grado de selectividad requerida, la dilución, las necesidades de mezclado; los posibles métodos y sistemas, el tipo, el tamaño y el número de equipos a emplear, sus necesidades operativas: altura

de los bancos, necesidades de espacio en los frentes de trabajo, pendientes y dimensiones de las pistas; las infraestructuras necesarias, las inversiones y los costes, las recuperaciones, las limitaciones económicas y financieras de la empresa, los mercados, los precios, las incertidumbres; y por si esto fuera poco, debemos tener en cuenta las diferentes técnicas con las que modelamos estos factores y sus interrelaciones y, cómo no, el criterio que prevalecerá a la hora de realizar el diseño y tomar la decisión final: maximizar el beneficio global, o el valor actualizado neto, o las reservas, o la vida de la explotación, o minimizar el riesgo de la inversión, etc (Sánchez, 2015).

2.2.8. Ciclo de Operaciones

Vamos a examinar por separado la producción y operaciones auxiliares, ciclos de descapote y minado (Soto & Chávez, 2016).

a. Descapote

Se aplica para remover la capa superior estéril del depósito mineral y remover ganga dentro de los límites del tajo. La naturaleza del capote o estéril, determinan el ciclo de operación: si es material no consolidado (suelo o roca quebrada) el rompimiento no es requerido; si es consolidado (roca in situ), se requiere rompimiento (Soto & Chávez, 2016).

Entonces el equipo de manejo de materiales es seleccionado para satisfacer las condiciones de operación, asumiendo que el tepetate debe ser transportado a cierta distancia para su vaciado y no puede tirarse en el tajo o en un banco adyacente de roca estéril. El ciclo de operaciones de descapote y el equipo

comúnmente utilizado consiste en lo siguiente (Soto & Chávez, 2016):

- Barrenación: perforadora (roca débil), sistema rotativo (roca promedio), sistema percusivo (roca muy dura).
- Voladura: anfo o emulsión (alternativa: rasgado-ripeado, si es suelo o roca débil), cargado con máquina (cierto volumen) y a mano (bolsas); encendido eléctrico o cordón detonante.
- Excavación: pala mecánica, cargador frontal, dozer, escrepa (suelo), draga, cucharón (suelo).
- Acarreo: camión, banda transportadora, dozer, escrepa (suelo).

b. Minado de Mineral

En una mina a cielo abierto, el descapote, minado y el ciclo de operaciones pueden tener con frecuencia cierto parecido, esto lo determina la diferencia o similitud del mineral y el tepetate (Alarcón & Salazar, 2016).

Si estos métodos tienen semejanza, entonces el operador de mina tiene ventaja para emplear el mismo equipo y el mismo ciclo. La razón de esto, es que el equipo puede ser intercambiado cuando surjan desarreglos o demanda inesperada de producción. El ciclo de operaciones de minado y equipo, usualmente consiste en lo siguiente (Alarcón & Salazar, 2016):

- Perforación: sistema rotativo (roca promedio), sistema percusivo (roca dura), jet piercing (roca dura silicosa).
- Voladura: anfo o emulsión (alternativa: ripeado; si es carbón o roca débil); el cargado y encendido son similares al descapote.
- Excavación: pala, cargador frontal, draga, escrepa (arcilla).
- Acarreo: camión, banda transportadora, riel.
- Extracción (tajos muy inclinados): banda transportadora de alta inclinación, extracción por botes de manteo, transportador hidráulico.

c. Operaciones Auxiliares

Las operaciones aquí son muy similares, sea el descapote del manto o el minado del mineral; durante la etapa de explotación usualmente consisten en lo siguiente (Harond, 2012):

- Seguridad y salud: control de polvo (bancos de producción, caminos de acarreo, vaciaderos), disminución de ruidos, prevención de combustión espontánea (sí es carbón sub-bituminoso o lignito) (Harond, 2012).
- Control ambiental: protección del aire y agua, manejo de desperdicios sólidos (Harond, 2012).
- Control del suelo: estabilidad del talud (suelo o roca), control de la erosión (suelo) (Harond, 2012).
- Abastecimiento y distribución de energía: subestación eléctrica (Harond, 2012).
- Control de agua e inundación: bombeo y drenaje.
- Disposición de desechos: almacenaje y vaciado.

- Abastecimiento de material: almacenaje, entrega de abastos (Harond, 2012).
- Mantenimiento y reparación: surtido de herramientas (Harond, 2012).
- Iluminación: reflectores portátiles (para operación nocturna) (Harond, 2012).
- Comunicación: radio, teléfono (asistido por computadora) (Harond, 2012).
- Construcción: caminos de acarreo (Harond, 2012).
- Transporte de personal: camiones, autobuses (Harond, 2012).

2.3. Definición de Términos Básicos

Arcilla:

Es una roca sedimentaria constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura (Custodio, 2013).

Altura de banco:

Es la distancia vertical comprendida entre la plataforma superior e inferior.

Banco:

Son los cortes se ven dos caras descubiertas, una cara superior horizontal y una vertical lateral.

Estrato:

Capas en que se presentan divididos los sedimentos, las rocas sedimentarias, las rocas piroclásticas y las rocas metamórficas cuando esas capas se deben al proceso

de sedimentación. La rama de la geología que estudia los estratos recibe el nombre de estratigrafía (Rodríguez, 2014).

Explotación minera:

Es el conjunto de las actividades socioeconómicas que se llevan a cabo para obtener recursos de una mina (un yacimiento de minerales). Los orígenes más remotos de estas explotaciones se remontan al Paleolítico, ya que se hallaron indicios en Suazilandia de que los hombres prehistóricos excavaban para extraer hematita hace unos 43.000 años (Sánchez, 2015).

Mineral:

Sustancia natural, de composición química definida, normalmente sólido e inorgánico, y que tiene una cierta estructura cristalina. Es diferente de una roca, que puede ser un agregado de minerales o no minerales y que no tiene una composición química específica. La definición exacta de un mineral es objeto de debate, especialmente con respecto a la exigencia de ser abiogénico, y en menor medida, a que deba tener una estructura atómica ordenada. El estudio de los minerales se llama mineralogía (López, 2014).

Roca:

Diversos materiales sólidos, formados por cristales o granos de uno o más minerales, de que está hecha la parte sólida de la Tierra y otros cuerpos planetarios. En la Tierra el manto y la corteza están hechos de roca (Camejo, 2013).

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis de Tabla y Gráficos

La presente tesis profesional, se ejecutó en la concesión Rumicucho I, ubicado al sureste de Cajamarca, dicha minera no metálica presenta dos tipos de formaciones más importantes como carhuaz, farrat e Inca las cuales dan un afloramiento a la zona de ejecución, sus depósitos se localizan en cuencas lagunares y a veces en las partes bajas de los valles, formados en la superficie por intensa meteorización química, lo caracteriza por reacciones de hidrolisis de los minerales silicatados color blanco y granos de tamaño menor.

La obtención de las reservas se realizó mediante landsat 7, servidor geológico satelital, posteriormente se recortó una subescena del área de estudio, que se limitó por medio de una máscara poligonal solamente enfocado a la concesión Rumicucho I, se realizó la firma espectral para caolintas, la cual tiene un incremento de la reflectividad hacia la banda 2 (0.55 μm), hacia la banda 4 (0.86 μm), y hacia la banda 5 (1.65 μm), para luego tener un descenso por absorción hacia la banda 7 (2.21 μm), por la presencia del ion hidroxilo, típica respuesta espectral de la caolinita y esmectita.

El trabajo de investigación se elaboró desde el 1 de marzo al 15 de julio de 2017, mediante la exploración y la evaluación de arcillas tipo caolinita se demostró la factibilidad técnica y la viabilidad comercial de la extracción caolinita.

3.1.1. Ubicación de la Zona de Estudio

a. Ubicación política:

Según su ubicación política la zona de estudio se sitúa según las siguientes referencias:

- Continente: América
- País: Perú
- Departamento: Cajamarca
- Provincia: Cajamarca
- Distrito: Llacanora
- Centro Poblado: Huayrapongo

b. Ubicación geográfica:

Geográficamente el área de estudio se encuentra ubicado en la parte Nor – occidental del territorio peruano al sureste de la ciudad de Cajamarca en el distrito de Llacanora. Centrando la investigación principalmente al oeste del distrito de Llacanora, en el cerro Iscoconga el cual posee la mayor cantidad de reservas de arcilla.

c. Accesibilidad

Debido a que el estudio se realiza en el cerro Iscoconga, existen dos vías de acceso que se muestran en los siguientes cuadros:

Tabla 2
Accesibilidad a la zona de estudio.

| Tramo 1 | | | | |
|------------------------------|---------------------|---------------------------|---------------|----------------------|
| Tramo | Tipo de Vía | Longitud Utilizada | Tiempo | Observaciones |
| Cajamarca – Iscoconga | Carretera Asfaltada | 9 Km | 20 min | Servicio público |
| Iscoconga – Zona de estudio | Trocha Carrozable | 1 Km | 6 min | A pie |
| Tramo 2 | | | | |
| Tramo | Tipo de Vía | Longitud Utilizada | Tiempo | Observaciones |
| Cajamarca – Baños del Inca | Carretera Asfaltada | 6 Km | 15 min | Servicio público |
| Baños del Inca – Huayrapongo | Carretera Asfaltada | 3 Km | 5 min | Servicio público |
| – Zona de estudio | Trocha Carrozable | 2 Km | 10 min | A pie |
| Total | | 11 Km | 30 min | |

Fuente: Elaboración propia. (2017).

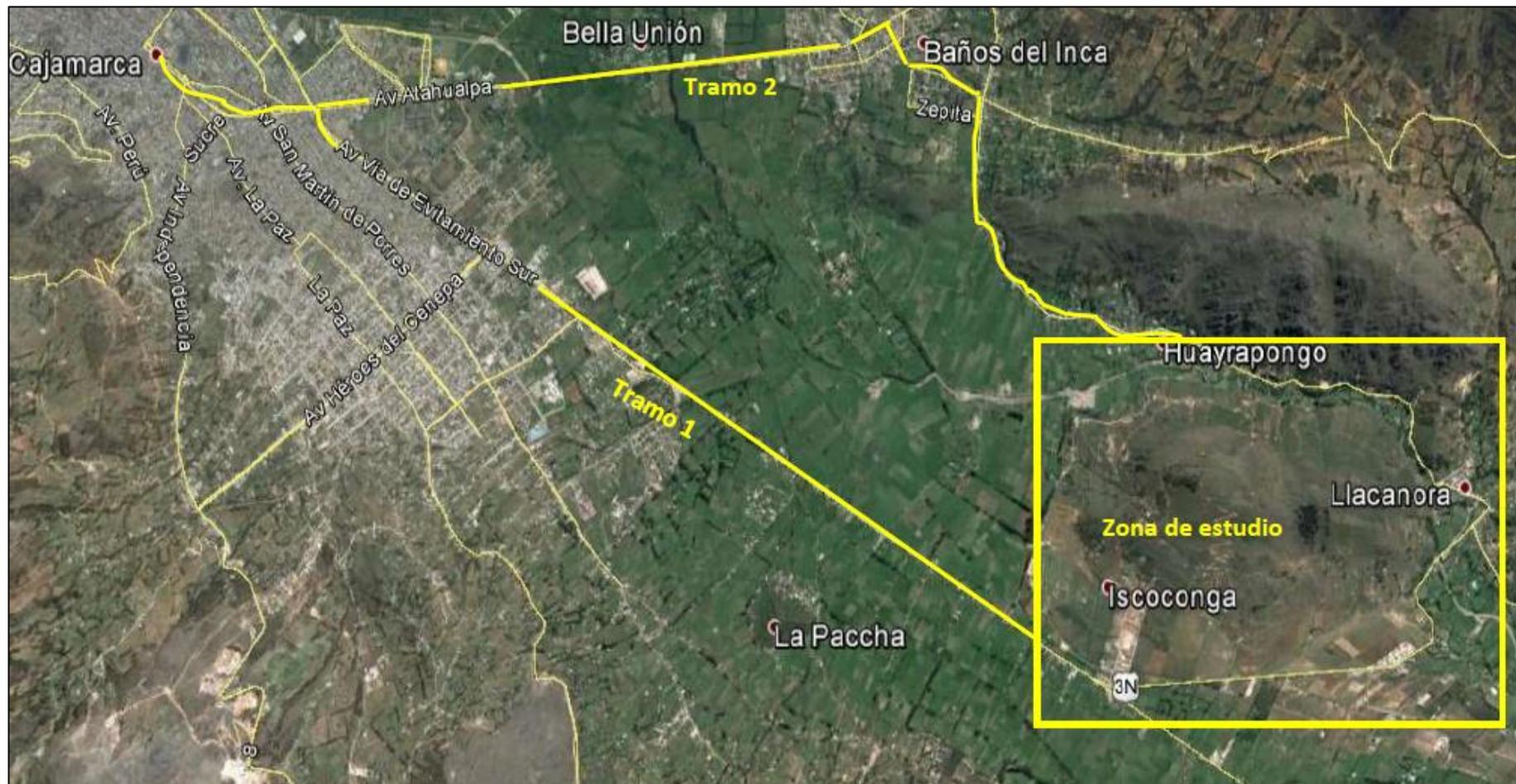


Figura 1: Tramos de accesibilidad.
Fuente: Elaboración propia. (2017).

d. Clima

La zona de estudio se encuentra a unos 2760 m.s.n.m. El clima es generalmente sub húmedo típico de la sierra norte del país; la temperatura promedio anual es de 13.7°C (Temperatura máxima: 21.6°C y temperatura mínima: 5.9°C). Las precipitaciones mínimas se presentan de mayo a setiembre y las máximas entre los meses de enero a marzo, con un promedio anual de 698 mm, el mes más seco es julio con 6 mm. mientras que el mes que tiene las mayores precipitaciones del año es marzo con 117 mm.

Tabla 3
Climatología a nivel provincial.

| Mes | Precipitación (mm) | Temperatura (°C) | Temperatura Min (°C) | Temperatura Max (°C) |
|------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Enero | 86 | 14.9 | 8.1 | 21.8 |
| Febrero | 101 | 14.2 | 7.4 | 21.0 |
| Marzo | 117 | 14.2 | 7.4 | 21.0 |
| Abril | 77 | 14.1 | 7.3 | 20.9 |
| Mayo | 34 | 13.4 | 5.2 | 21.7 |
| Junio | 11 | 12.6 | 3.3 | 21.9 |
| Julio | 6 | 12.6 | 3.4 | 21.8 |
| Agosto | 10 | 12.9 | 4.2 | 21.7 |
| Setiembre | 34 | 13.5 | 5.3 | 21.7 |
| Octubre | 84 | 14.3 | 7.0 | 21.7 |
| Noviembre | 62 | 14.0 | 6.2 | 21.9 |
| Diciembre | 76 | 14.1 | 6.4 | 21.8 |

Fuente: SENAMHI. (2016).

e. Geología local

En la zona de estudio afloran formaciones del Cretácico Inferior, iniciando la secuencia con areniscas de la Formación Carhuaz y Formación Farrat pertenecientes al Grupo Goyllarisquiza, y suprayace a las mismas las areniscas ferruginosas de la Formación Inca.

3.1.2. Grupo Goyllarisquizga:

a. Formación Carhuaz (Ki-ca):

Se presenta infrayaciendo a la Formación Farrat; está conformada por areniscas con tonalidades rojizas intercaladas con lutitas grises y limolitas. En la zona de estudio esta formación se localiza en las laderas del cerro Iscocongá y Callacpuma, presenta depósitos de arcillas.



Figura 2: Afloramiento de la Formación Carhuaz, areniscas con tonalidades rojizas intercaladas con lutitas grises y limolitas.

Fuente: Elaboración propia. (2017).

b. Formación Farrat (Ki-f):

Se presenta suprayaciendo a la Formación Carhuaz e infrayaciendo a la Formación Inca. Está conformada principalmente por areniscas cuarzosas blanquecinas de grano medio a grueso en estratos de gran espesor (Reyes, 1980); constituye una zona positiva, ya que estas rocas son resistentes al proceso erosivo. En la zona de estudio conforma ambos flancos del cerro Iscocongá.



Figura 3: Afloramiento de la Formación Farrat areniscas cuarzosas blanquecinas resistentes a la erosión.

Fuente: Elaboración propia. (2017).

c. Formación Inca (Ki-in):

Infrayace concordantemente a la Formación Chulec y suprayace con la misma relación a la formación Farrat, con un aparente paso transicional. Se caracteriza por presentar calizas arenosas, lutitas y areniscas ferruginosas, además se observa la presencia de depósitos de arcillas; en la zona de estudio está formación se evidencia debido a los depósitos de coloraciones rojizos encontrados en una ladera del cerro Iscocongá cerca a la pecuaria así mismo se encontró estratos con numerosos pelecípodos.



Figura 4: Formación Farrat aflorante en la zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia. (2017).

3.1.3. Depósitos Cuaternarios:

Son sedimentos de cobertura, generalmente no consolidados producto de la intensa actividad fluvial o gravedad y se distribuyen en forma irregular en la zona de estudio; entre ellos tenemos:

a. Depósitos lacustres (Q-la):

Se localizan en cuencas lagunares y a veces en las partes bajas de los valles. Están formados por sedimentos de grano fino, predominando los limos y las arcillas. El contenido de materia orgánica puede ser muy alto, sobre todo en zonas pantanosas. Frecuentemente presentan partes laminadas en niveles muy finos. En la zona de estudio estos depósitos se hallan en las partes bajas del cerro Iscocongá.



Figura 5: Depósitos lacustres de la zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia. (2017).

b. Depósitos fluviales (Q-fl):

Son depósitos formados por materiales depositados y acumulados por los ríos cerca a sus cauces, están compuestas por gravas gruesas y finas, arenas sueltas, depósitos limoarcillosos y de mayor cantidad los cantos rodados, los cuales gradan desde semiangulosos a redondeados. En la zona de estudio estos depósitos están distribuidos a lo largo del cauce del río Cajamarquino, compuestos por cantos rodados, gravas subredondeadas y arenas las cuales son aprovechadas por los pobladores para la extracción de material de construcción, gravera, o para sembríos.



Figura 6: Depósitos fluviales.
Fuente: Elaboración propia. (2017).

3.1.4. Génesis de los Depósitos de Arcillas en la Zona de Estudio:

De acuerdo a la mineralogía hallada además de las condiciones a las que están sometidas nuestros depósitos de arcillas podemos concluir:

| GÉNESIS DE LOS DEPÓSITOS DE ARCILLAS | | | |
|---|---|---|---|
| TIPO | AMBIENTE DE FORMACIÓN | CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS | CARACTERÍSTICAS FÍSICAS |
| YACIMIENTOS PRIMARIOS | Formados en la Superficie por intensa meteorización química en climas húmedos y cálidos. | Reacciones de hidrólisis de los minerales silicatados de la roca madre. Debido a procesos exógenos (bajo condiciones atmosféricas). | - Color blanco o casi blanco. |
| Sub Tipo | | | - Tiene menor tamaño de grano. |
| Caolines Residuales | | | -Plástica y refractaria. - Se deja activar por tratamientos con ácidos. |
| MINERALOGÍA | PRINCIPALES: Caolinita = 80% Cuarzo = 8 % Mica / Illita = 2% Sustancia orgánica = 10% | OTROS: SiO ₂ = 5 – 35 % Al ₂ O ₃ = 65 – 90 % Fe ₂ O ₃ = 0.3 – 0.4 % TiO ₂ = aprox. 1.0 % CaO + MgO = < 1.0 % | ELEMENTOS PESADOS (ppm)*: Sb = 1.00 As = 13.0 Cd = 0.42 Cu = 250.0 Cr = 90.0 |

| | | | |
|--|--|--|------------|
| | | K ₂ O = 0.5 – 4.0 % | Hg = 0.02 |
| | | Na ₂ O = 0.0 – 0.75 % | Ni = 225.0 |
| | | | Pb = 80.0 |
| | | | Zn = 165.0 |
| REACCIÓN QUÍMICA (Formación Caolinita) Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ | CO ₂ + H ₂ O | Hidrólisis de anortita (plagioclasa cálcica): | |
| | Acido Carbónico (Reacciona con los feldespatos induciendo a la formación de las arcillas) | CaAl ₂ Si ₂ O ₈ + 2H ₂ CO ₃ + H ₂ ²⁺ + 2HCO ₃ ⁻ + Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ | |
| | | Hidrólisis de la albita (plagioclasa sódica): | |
| | | 2NaAlSi ₃ O ₈ + 2H ₂ CO ₃ + 9 H ₂ ⁺ + 2HCO ₃ ⁻ + Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ + 4H ₂ SiO ₄ | |
| | | Hidrólisis de la ortoclasa (feldespato potásico): | |
| | | 2KAlSi ₃ O ₈ + 2H ₂ CO ₃ + 9H ₂ ⁺ + 2HCO ₃ ⁻ + Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ + 4H ₂ SiO ₄ | |



Figura 7: Depósito de arcilla.
Fuente: Elaboración propia. (2017).

3.2. Análisis de Reservas Mineras

3.2.1. Obtención de reservas mediante Landsat 7:

Se obtuvo del servidor de la U.S.G.S (Servicio geológico de Estados Unidos), con parámetros de calibración en un archivo de

texto. Posteriormente se recortó una subescena del área de estudio, que se limitó por medio de una máscara poligonal solamente enfocado a la concesión Rumicucho I, el cual presenta un afloramiento considerable de caolinita.

Se realizó la firma espectral para caolinitas, la cual tiene un incremento de la reflectividad hacia la banda 2 (0.55 μm), hacia la banda 4 (0.86 μm), y hacia la banda 5 (1.65 μm), para luego tener un descenso por absorción hacia la banda 7 (2.21 μm), por la presencia del ion hidroxilo, típica respuesta espectral de la caolinita y esmectita.

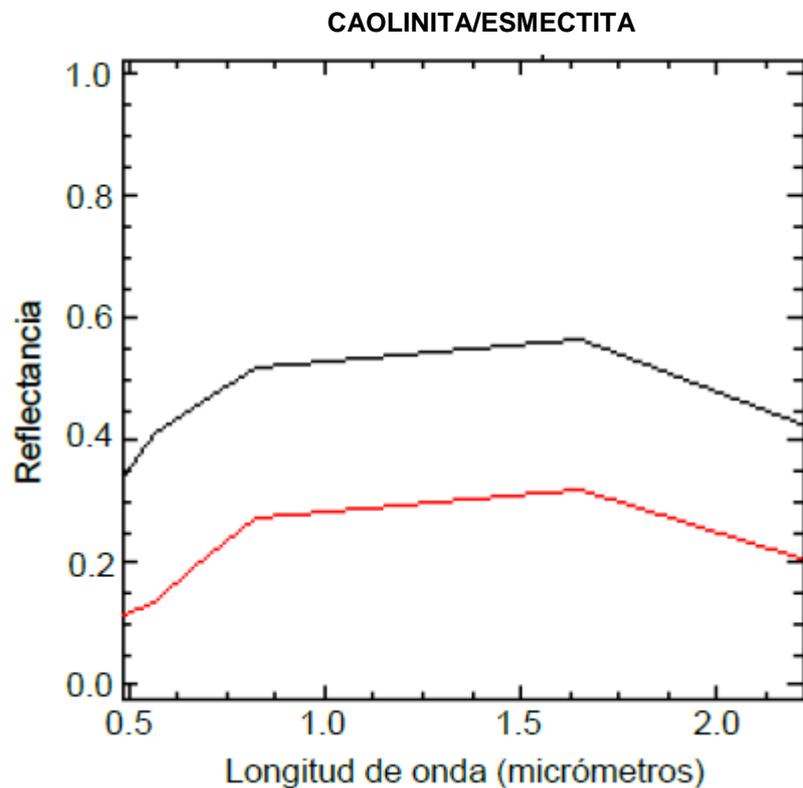


Figura 8: Comparación de firmas espectrales mostrando una alta correspondencia con la Caolinita/Esmectita.

Fuente: Elaboración propia. (2017).

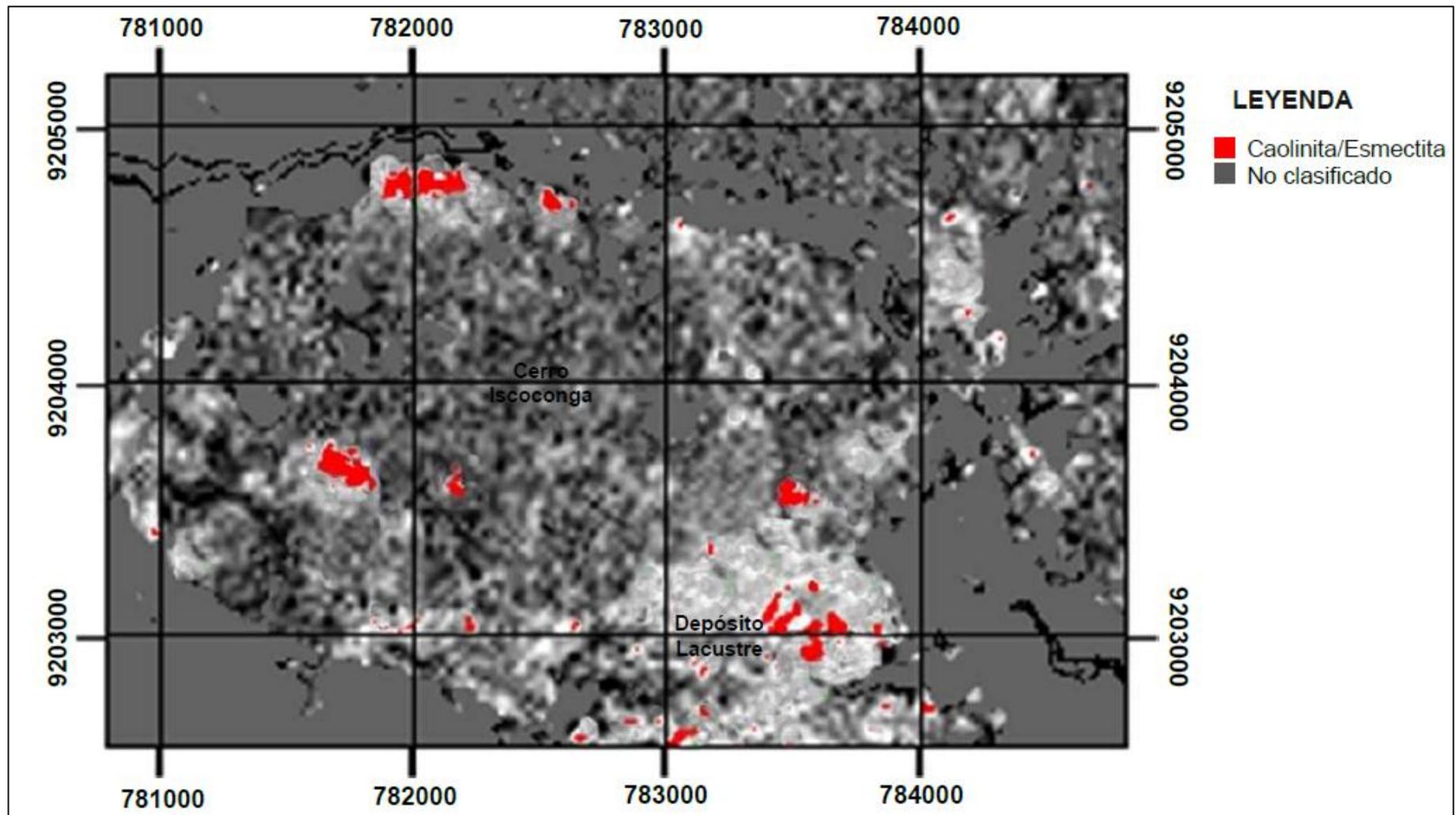


Figura 9: Imagen mostrando de color rojo la abundancia de Caolinita/Esmectita, en la zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia. (2017).

Se usó imágenes satelitales y se las contrastó, para cada clase se asignó un color de acuerdo al mineral identificado por su firma espectral, para lo cual el método de mapeo por máxima probabilidad asigno un color específico (rojo, verde y azul) a cada pixel que tenga la mayor probabilidad de pertenecer a cada clase o pixel puro identificado, como se muestra en la figura 9:

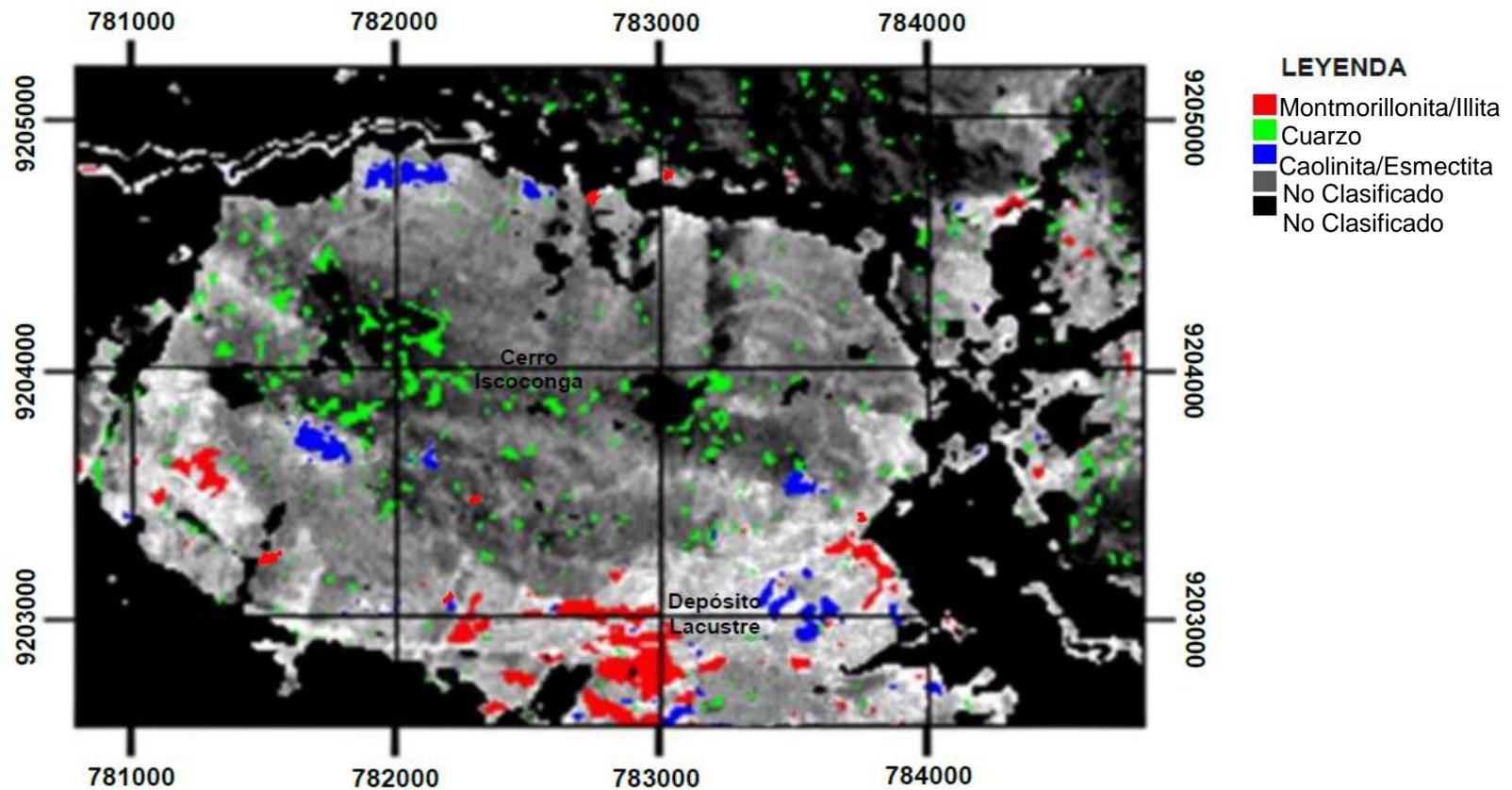


Figura 10: Mapeo espectral.
Fuente: Elaboración propia. (2017).

3.2.2. Reservas Probables

Para el cálculo de reservas se ha utilizado el software Autocad Civil 3D 2017, el cual ha permitido hacer un modelamiento geológico superficial, basado en la interpolación o triangulación de puntos tomados en campo, que contengan una Latitud, Longitud y altura sobre el nivel del mar.

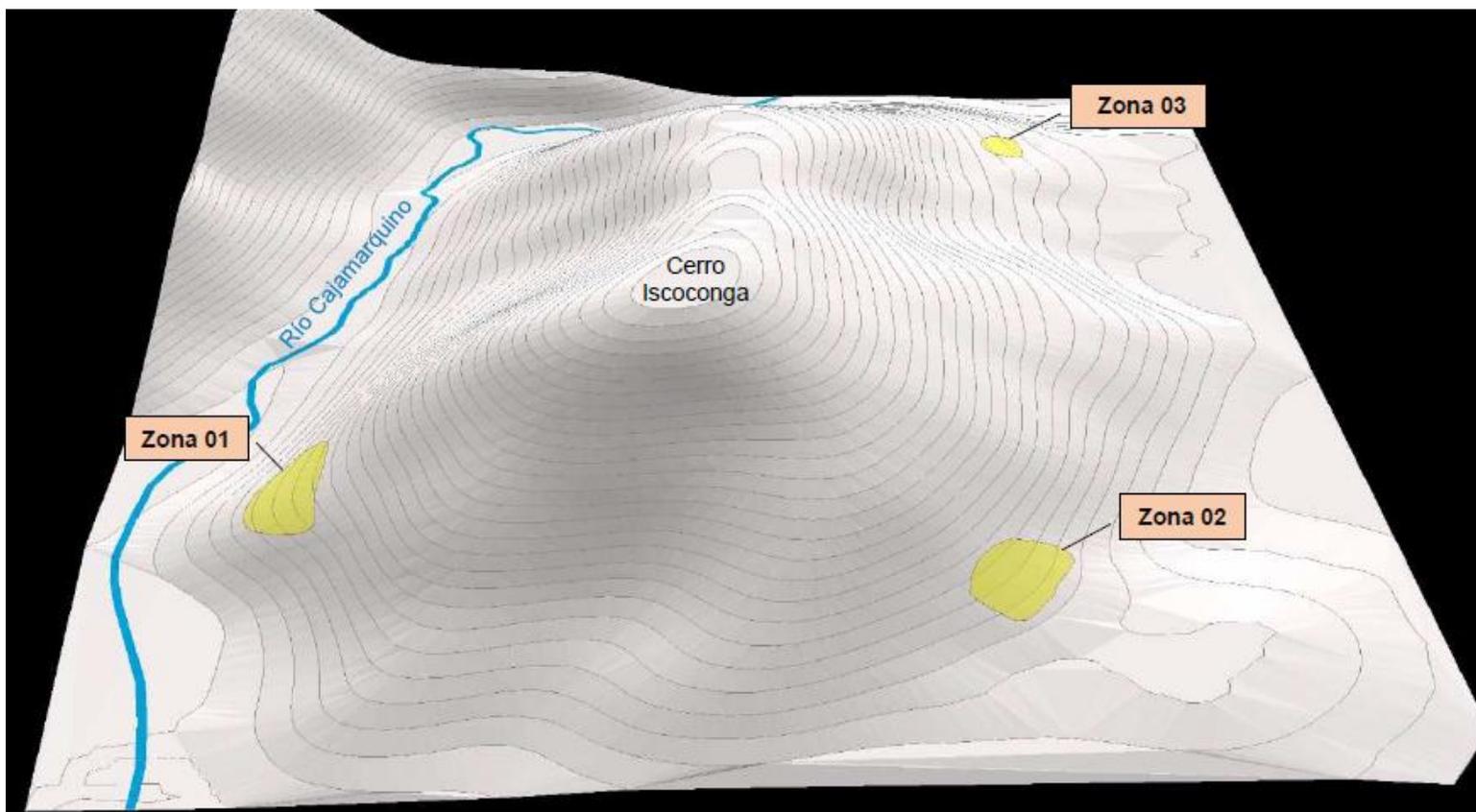


Figura 11: Modelamiento superficial de las tres zonas de interés en la zona de estudio
Fuente: Elaboración propia. (2017).

Después de realizar el modelamiento superficial el software calculó el volumen de las tres zonas de interés identificadas por los análisis de Teledetección y en donde la calidad de los depósitos de arcillas ha sido buena (según los resultados de Difracción de Rayos X), luego se determinó la densidad y después mediante un cálculo matemático se ha determinado el tonelaje de reservas probables de estas arcillas. A continuación, se muestra el método matemático a utilizar:

$$T = (VX\rho)$$

Donde:

T : Toneladas métricas de reservas. (TM)

V : Volumen del depósito. (Cubicación en Autocad Civil 3D). (m³)

ρ : Densidad del mineral (T/m³)

a. Cálculo del volumen:

Mediante el software Autocad Civil 3D 2016, se realizó el cálculo del volumen de las tres zonas de interés (M-1, M-2 y M-3) las cuales fueron favorables en cuanto a una óptima concentración de arcillas (caolinita e illita) y minerales accesorios pero necesarios (cuarzo, calcita). El software mencionado necesitó de coordenadas además de altitudes con respecto al nivel del mar. De acuerdo a ello se tomó distintos puntos en las zonas donde se hizo el muestreo. Estos puntos permitieron saber las altitudes de corte (puntos límites de cada depósito) requeridas para el cálculo del volumen (cubicación).

Tabla 4
Volumen de los depósitos de Arcillas.

| | | Muestra | M-1 | Elev. Máx. | 2695 msnm |
|---------------|-------------|----------------|------------|-------------------|-------------------------|
| ZONA 1 | Coordenadas | N | 9 204 771 | Elev. Mín. | 2686 m.s.n.m |
| | | E | 781 958 | Elev. Cut | 2692 m.s.n.m |
| | Volumen | | | | 74605.02 m ³ |
| | | Muestra | M-2 | Elev. Máx. | 2708 m.s.n.m |
| ZONA 2 | Coordenadas | N | 9 203 688 | Elev. Mín. | 2700 m.s.n.m |
| | | E | 781 719 | Elev. Cut | 2705 m.s.n.m |
| | Volumen | | | | 62639.42 m ³ |
| | | Muestra | M-3 | Elev. Máx. | 2683 m.s.n.m |
| ZONA 3 | Coordenadas | N | 9 203 521 | Elev. Mín. | 2674 m.s.n.m |
| | | E | 783 495 | Elev. Cut | 2680 m.s.n.m |
| | Volumen | | | | 26362.39 m ³ |

Fuente: Elaboración propia. (2017).

b. Cálculo de la densidad:

Se determinó la densidad de tres muestras representativas (M-1, M-2 y M-3) las cuales presentaron un alto porcentaje de arcillas caoliníticas. En el Laboratorio de Química de la Universidad Nacional de Cajamarca, se calculó la densidad de estas arcillas de la siguiente manera:

- Se tomó 45g. de cada muestra de arcilla y se colocó en el horno a una temperatura de 110°C por 5 horas.
- Se dejó enfriar las muestras a temperatura ambiente y luego se pesó cada muestra en una balanza analítica.
 - M1 = 25.474g
 - M2 = 35.215g
 - M3 = 41.899g
- Se llenó cada vaso de precipitación con agua destilada (unos 100ml) y se anotó el volumen. (V1)

Anotamos el volumen el cual va ser el mismo para todas las muestras.

$$- \quad V1 = 100ml \text{ (cm}^3\text{)}$$

- Se agregó las tres muestras de arcilla a cada vaso de precipitación y se anotó el nuevo volumen (V2); luego se observó que el nivel de agua aumenta al agregar estas muestras por lo tanto esa diferencia de niveles será el volumen de las arcillas el cual necesitamos para calcular la densidad. Este método de inmersión se utiliza generalmente para determinar el volumen de objetos con forma irregular.

- **Muestra 01:**

$$V1 = 100ml$$

$$V2 = 110ml$$

$$Vm1 = ?$$

$$Vm1 = V2 - V1$$

$$Vm1 = 110ml - 100ml$$

$$Vm1 = 10ml \text{ (cm}^3\text{)}$$

- **Muestra 02:**

$$V1 = 100ml$$

$$V2 = 115ml$$

$$Vm2 = ?$$

$$Vm2 = V2 - V1$$

$$Vm2 = 115ml - 100ml$$

$$Vm2 = 15 \text{ (cm}^3\text{)}$$

- **Muestra 3:**

$$V1 = 100ml$$

$$V2 = 117ml$$

$$Vm3 = ?$$

$$Vm3 = V2 - V1$$

$$Vm3 = 117ml - 100ml$$

$$Vm3 = 17(cm3)$$

- Finalmente se calculó la densidad de cada muestra de arcilla con la siguiente fórmula:

$$\rho = m/V$$

- **Muestra 1:**

$$m1 = 25.474g$$

$$Vm1 = 10(cm3)$$

$$\rho m1 = ?$$

$$\rho m1 = m1/Vm1$$

$$\rho m1 = 25.474g/10cm3$$

$$\rho m1 = 2.547g/cm3(T/m3)$$

- **Muestra 2:**

$$m2 = 35.215g$$

$$Vm2 = 15(cm3)$$

$$\rho m2 = ?$$

$$\rho m2 = m4/Vm4$$

$$\rho m2 = 35.215g/15cm3$$

$$\rho m2 = 2.348g/cm3(T/m3)$$

- **Muestra 3:**

$$m3 = 41.899g$$

$$Vm3 = 17(cm3)$$

$$\rho m3 = ?$$

$$\rho m3 = m10/Vm10$$

$$\rho m3 = 41.899g/17cm3$$

$$\rho m3 = 2.465g/cm3(T/m3)$$

Tabla 5
Densidad de los depósitos de Arcillas.

| Zona | Muestra | Densidad (T/m ³) |
|--------|-----------|------------------------------|
| Zona 1 | Muestra 1 | 2.547 |
| Zona 2 | Muestra 2 | 2.348 |
| Zona 3 | Muestra 3 | 2.465 |

Fuente: Elaboración propia. (2017).

c. Cálculo del tonelaje:

Se determinó el tonelaje de las tres zonas de interés y se utilizó el siguiente cálculo matemático:

$$T = (VX\rho)$$

Se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 6

Tonelaje de los depósitos de Arcillas.

| Zona | Volumen (m³) | Densidad (T/m³) | Tonelaje (TM) |
|-------------|--------------------------------------|---|----------------------------|
| Zona 1 | 74,605.02 | 2.547 | 190,018.986 |
| Zona 2 | 62,639.42 | 2.348 | 147,077.358 |
| Zona 3 | 26,362.39 | 2.465 | 64,983.291 |
| | Volumen Total (m³) | Densidad Media (T/m³) | Tonelaje Total (TM) |
| | 163,606.83 | 2.453 | 401,327.554 |

Fuente: Elaboración propia. (2017).

Finalmente se obtuvo un tonelaje total de 401,327.554 T.M. de arcillas caoliníticas en nuestra zona de investigación lo que cubriría un alto índice de porcentaje para la producción regional y nacional. Se debe tener en cuenta que este tonelaje se hallado en base a potencias inferidas en el campo. Estas potencias pueden aumentar según se vaya explotando y de esta manera aumentar la producción, pero dependerá de la extracción viable económica.

3.3. Cálculo de ley

Se realizó un análisis de difracción por la empresa Ingeoconsult & Lab S.R.L.

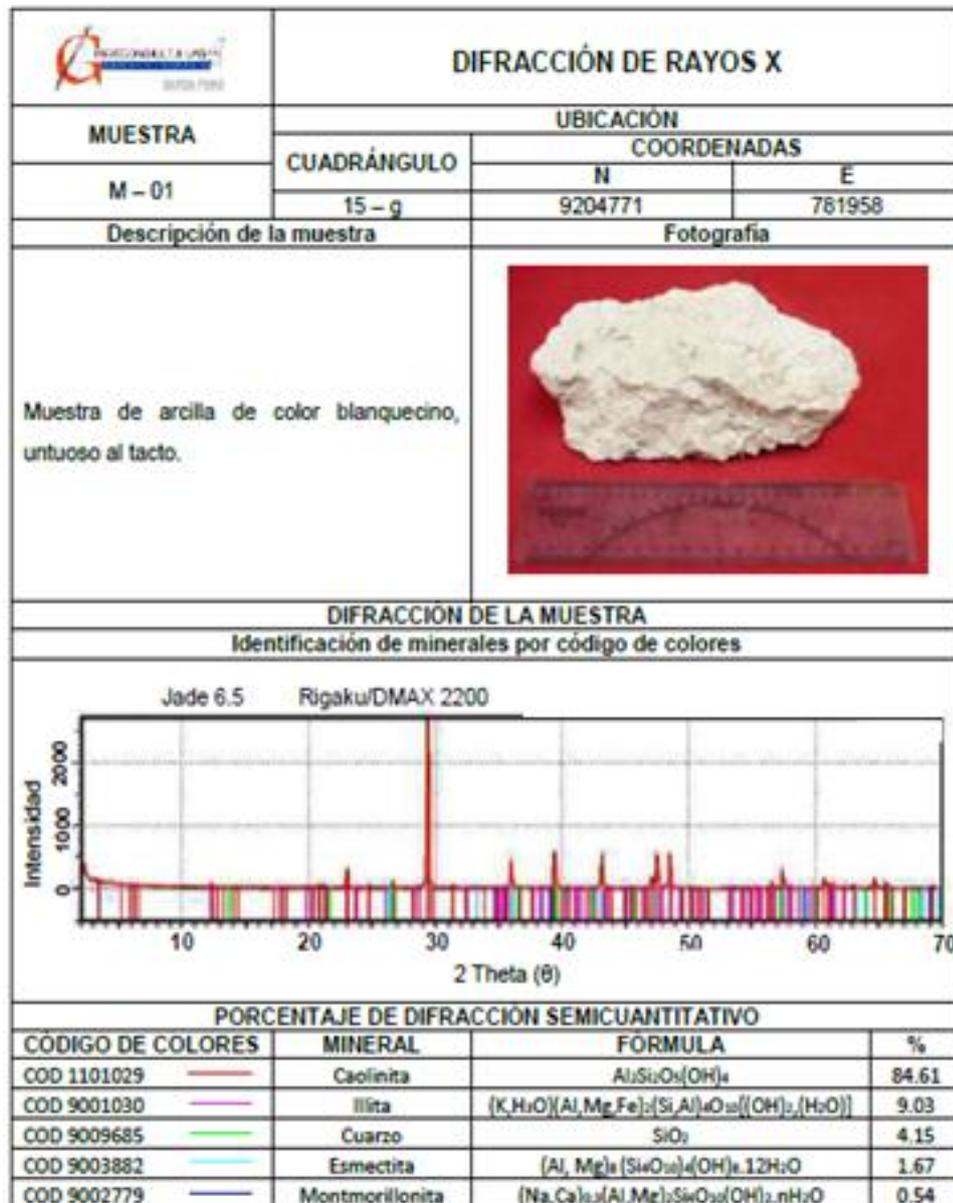


Figura 12: Análisis de la muestra de la zona 1.
Fuente: INGECONSULT & LAB S.R.L, 2017.

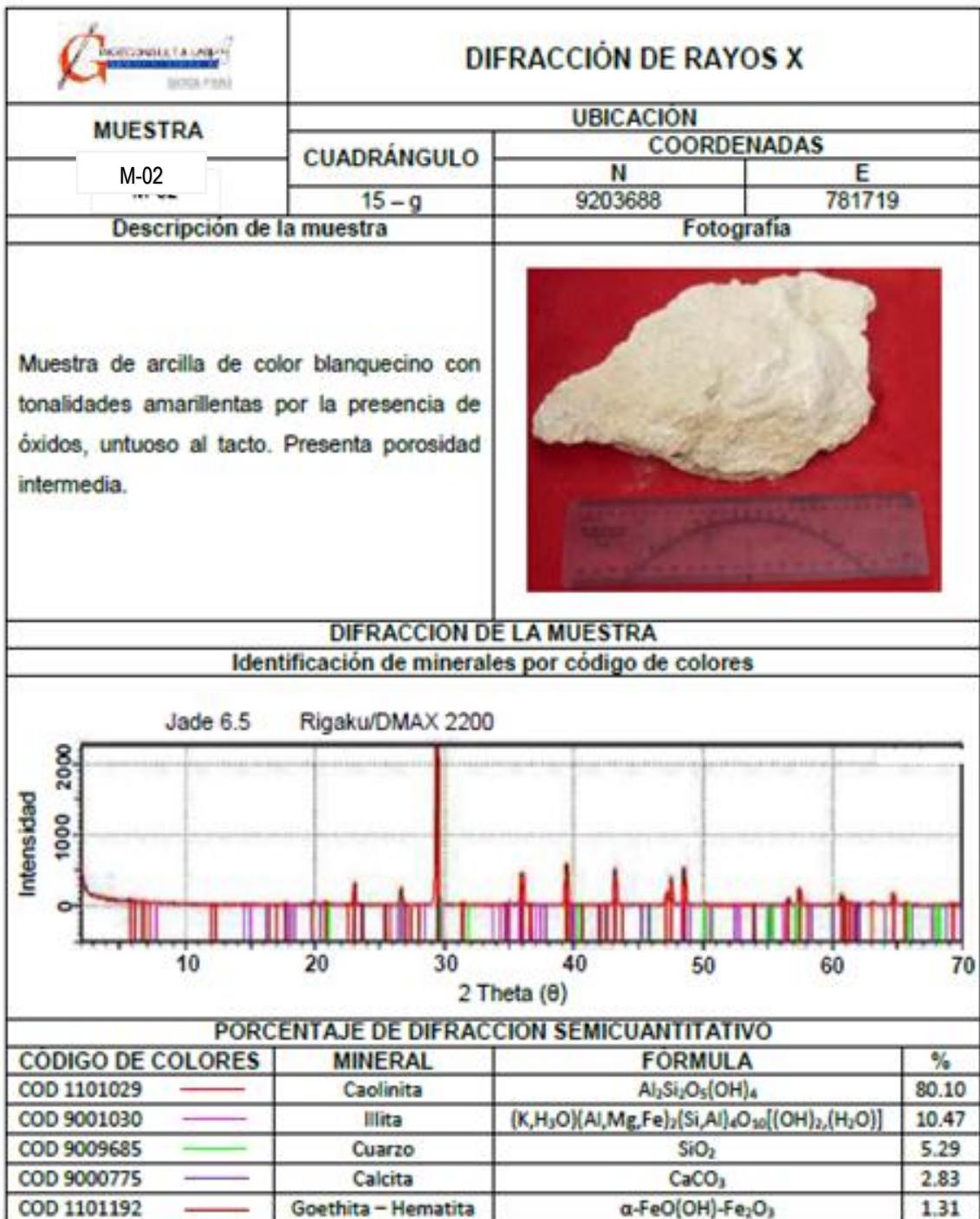


Figura 13: Análisis de la muestra de la zona 2.
Fuente: INGECONSULT & LAB S.R.L., 2017.

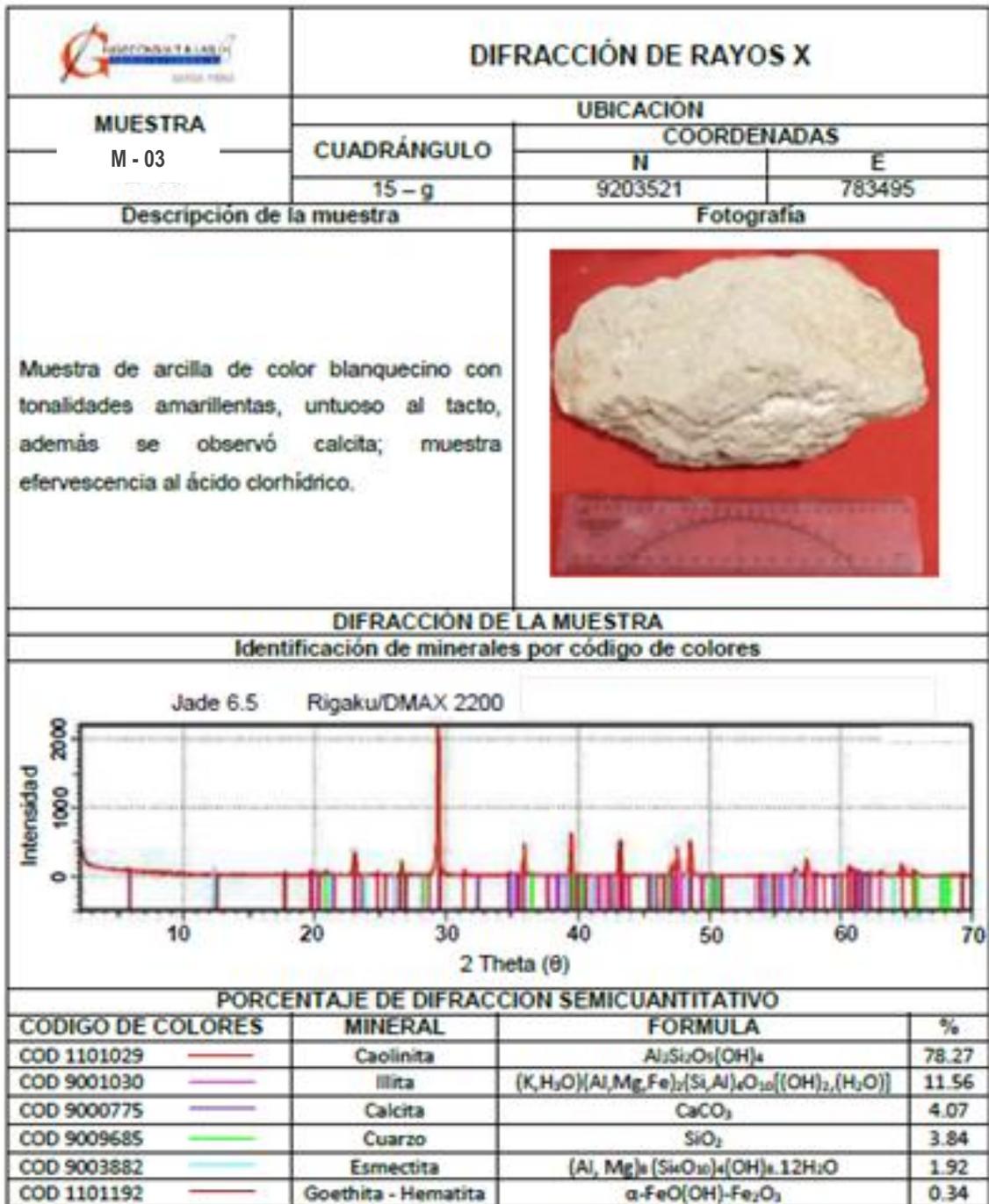


Figura 14: Análisis de la muestra de la zona 3.
Fuente: INGECONSULT & LAB S.R.L, 2017.

En la tabla siguiente se logra determinar la ley en porcentaje de la Caolinita en cada una de las muestras de la zona.

Tabla 7
Ley de caolinita en porcentaje.

| Zona | Mineral Rentable | Ley de Caolinita (%) |
|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| Zona 1 | Caolinita | 84.61 |
| Zona 2 | Caolinita | 80.10 |
| Zona 3 | Caolinita | 78.27 |

Fuente: Elaboración propia. (2017).

3.4. Tonelaje de Caolinita

Tabla 8:
Cálculo del tonelaje de caolinita.

| Zona | Volumen según Autocad Civil 3D (M³) | Densidad (T/M³) | Tonelaje por Zona (TM) | Ley de Caolinita (%) | Tonelaje de Caolinita (TM) |
|--------------|---|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Zona 1 | 74 605.02 | 2.547 | 190 018.986 | 84.61 | 160 775.06 |
| Zona 2 | 62 639.42 | 2.348 | 147 077.358 | 80.10 | 117 808.96 |
| Zona 3 | 26 362.39 | 2.465 | 64 983.291 | 78.27 | 50 862.42 |
| TOTAL | 163 606.83 | | 401 327.554 | | 329 446.44 |

Fuente: Elaboración propia. (2017).

3.5. Estudio Geotécnico

Debido a los problemas de estabilidad de laderas presentados históricamente en las laderas de Huayrapongo, especialmente en la concesión Rumicucho I, este estudio se realiza con fines de estabilización de las laderas y proyección de obras de mitigación. Como complemento a la experimentación adelantada y resultados obtenidos en la presente investigación, a continuación, se presentan los resultados de caracterización geotécnica, los datos presentados hacen énfasis en los resultados de la experimentación que no hacen parte de los alcances de esta investigación, pero que sin embargo contribuyen en parte al cumplimiento de los objetivos propuestos.

Dentro de la experimentación realizada en dicho estudio se incluyeron ensayos de colapso por saturación, en los que se encontró que “en las arcillas tipo Caolinita de la concesión Rumicucho I, el colapso es extraordinariamente fuerte en el momento de saturación con carga. Sin embargo, si se satura sin carga ocurre un fenómeno de ligera

expansión”. Finalmente, a partir de ensayos de corte directo drenado se calcularon los parámetros de resistencia presentados en la Tabla 7.

Tabla 9
Parámetros de resistencia mediante el ensayo de corte directo drenado

| Arcilla | Peso Unitario (KN/m³) | Fricción (o) | Cohesión (KN/m²) |
|----------------|---|---------------------|--|
| Caolinita | 17.0 | 5 | 7 |
| Esmectita | 18.5 | 11.3 | 27.8 |

Fuente: Elaboración propia. (2017).

Dentro de los factores que inciden en la inestabilidad del área se identifican lo siguientes:

- “Alto grado de erosionabilidad de las rocas presentes en la zona escarpada.
- Expansividad alta de las arcillas, particularmente comunes en la ladera.
- Disposición local de las discontinuidades estructurales a favor de la pendiente.
- Precipitación intensa que afecta el área del conjunto”.

El perfil litológico en el estudio de la UIS se compone de un “manto” de arcillas con características expansivas (aproximadamente hasta 10 m de profundidad), “reposando” sobre las arcillitas. En los dos niveles descritos el contenido de partículas tamaño arcilla esta alrededor del 50%. El estrato de material expansivo fue caracterizado mediante ensayos de expansión libre, presión de expansión en consolidómetro y el ensayo de Lambe. La clasificación del potencial expansivo se realizó mediante correlaciones empíricas a partir de ensayos índice. Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Presión de expansión en consolidómetro: Valores entre 1.96 y 5.75 kg/cm² para profundidades entre 7 y 12.5 metros.

- Ensayo de dispersividad: Ninguna de las muestras ensayadas presenta características dispersivas.
- Expansión libre: Entre 11 y 18 % para todo el perfil litológico.
- Presión de expansión de Lambe: Entre 1.96 y 3.99 kg/cm² para muestras entre los 7 y 11.5 metros de profundidad.

“Teniendo en cuenta los distintos criterios de clasificación de suelos expansivos, se considera que los suelos presentes en el subsuelo del conjunto presentan características que lo clasifican como de media a alta expansión, con capacidad de cambios volumétricos altos”. Con base en la caracterización mineralógica por difracción de rayos x, el estudio concluye para el estrato superior que “estos suelos presentan alto contenido de caolinitas y smectitas, lo cual les da una alta capacidad de intercambio catiónico y por lo tanto una alta capacidad de cambios volumétricos”. Finalmente, a partir de ensayos de corte directo se determinaron los parámetros de resistencia presentados en la Tabla 8.

Tabla 10

Resultados de corte directo determinados en el estudio de la UIS (2009).

| Calicata | Profundidad (m) | Muestra | Contenido de agua (%) | Cohesión (Kg/cm ²) | Angulo de Fricción | Cohesión Residual (Kg/cm ²) | Angulo de fricción residual (°) |
|----------|-----------------|---------|-----------------------|--------------------------------|--------------------|---|---------------------------------|
| 1 | 7.5 – 8.0 | 1 | 81 | 0.33 | 16 | 0.3 | 4 |
| 2 | 8.5 – 12.5 | 2 | 64 | 0.83 | 19 | 0.53 | 19 |
| 3 | 7.0 – 9.0 | 3 | 86 | 0.09 | 24 | 0.08 | 22 |
| 4 | 8.5 – 10.5 | 4 | 78 | 0.43 | 24 | 0.44 | 9 |

Fuente: Elaboración propia. (2017).

De acuerdo con los resultados de caracterización geotécnica, al igual que los anteriores estudios se divide el perfil del subsuelo en dos estratos: El estrato 1 corresponde a la capa más superficial cuyo espesor es variable y fluctúa entre 0.1 y 9.0 metros de profundidad. El material aflorante corresponde a una arcilla algo limosa color amarillo claro, o gris habano, con algunas intercalaciones de arena limosa. El estrato 2 corresponde a la capa ubicada a una profundidad que fluctúa entre 9.0 y 15.0 metros. Corresponde a una arcilla gris verdosa muy

fisurada y de consistencia firme. Este material realmente clasifica como una roca blanda. Con respecto al estrato 1 los autores presentan los siguientes resultados:

- “La expansión de este estrato medida en el consolidómetro, presenta variaciones entre 2 y 6 Ton/m². Estos valores nos indican que el potencial de expansión está en el rango bajo a medio.
- Presenta valores de resistencia a la compresión inconfiada entre 1.5 y 2 Ton/m². Estos valores en general son de rango medio a alto, el estrato presenta buenas características a la compresión puesto que está sobreconsolidado, pero las pierde rápidamente con el incremento en el contenido de agua.
- Valores de coeficiente de fricción y cohesión en la condición no drenada. Los parámetros de resistencia fluctúan para la condición pico entre 18 y 20 grados para el ángulo de fricción y 0.1 y 0.4 kg/cm² para la cohesión. En la condición residual la fricción se reduce hasta valores de 10 grados y la cohesión es cero”.

Tabla 11

Resumen de propiedades geotécnicas de las Arcillas en la zona de estudio.

| Condiciones de Terreno | | Rango de Propiedades Geotécnicas | | | | | | | Actividad | |
|------------------------|-----------------|----------------------------------|----------|---------|-------|-------------------|--------|--------|-----------|-------------------|
| Nivel Litológico | Profundidad (m) | ω | γ | e_0 | G_s | %Finos (<0.075mm) | LI (%) | Lp (%) | A | Clasificación |
| A | 3 – 8 | 27- | 1.80- | 0.85 – | 2.78 | 90 – 93 | 66 – | 25 – | 0.75 | Normal – Activa |
| | | 35 | 1.94 | 1.096 | – | | 79 | 39 | 1.37 | |
| B | 8 – 14.5 | 16- | 2.05 – | 0.473 – | 2.83 | 75 – 99 | 41 – | 19 – | 0.49 | Inactiva – Normal |
| | | 23 | 2.2 | 0.73 | – | | 61 | 29 | 0.78 | |
| C | 14.5 – 18 | 18- | 2.02 – | 0.64 – | 2.78 | 98 | 76 – | 43 | 1.38 | Activa |
| | | 20 | 2.12 | 0.76 | – | | 85 | – | 1.54 | |

Fuente: Elaboración propia. (2017).

3.6. Diseño del Método de Explotación

3.6.1. Alternativas

Para el sector de interés de nuestra concesión se tendrán en cuenta dos (2) alternativas, siendo analizadas cada una en sus ventajas y desventajas, condiciones del terreno, la no exagerada variabilidad de la topografía el cual se ve afectada principalmente, condiciones económicas de la Asociación, la dirección de buzamiento del yacimiento y tipo de depósito; las alternativas propuestas son las siguientes:

a. Banco único

- Ventajas

- Mayor rendimiento en el carguío y transporte del material.
- Mayor control del personal que interfiere directamente en la mina

- Desventajas

- Dificultad en el manejo del contorno paisajístico y en la etapa final se presentan grandes inversiones en el acondicionamiento de la capa vegetal.
- Se requiere de maquinaria pesada para la etapa de explotación.
- Se manejan taludes sobredimensionados para este tipo de material poniendo en peligro la infraestructura de la mina.

b. Bancos múltiples ascendentes

- **Ventajas**

- Mejores condiciones de seguridad para el personal y la maquinaria
- Facilidad en la recuperación ambiental ya que se dejan bermas finales para permitir la reforestación del terreno
- Mejores condiciones de trabajo para los equipos de carga y transporte por tener varios frentes de explotación
- Mayor productividad de la mina y selección del material desde la misma etapa de explotación

- **Desventajas**

- Mayor cantidad de equipos de trabajo y personal
- Lluvias y condiciones climáticas desfavorables

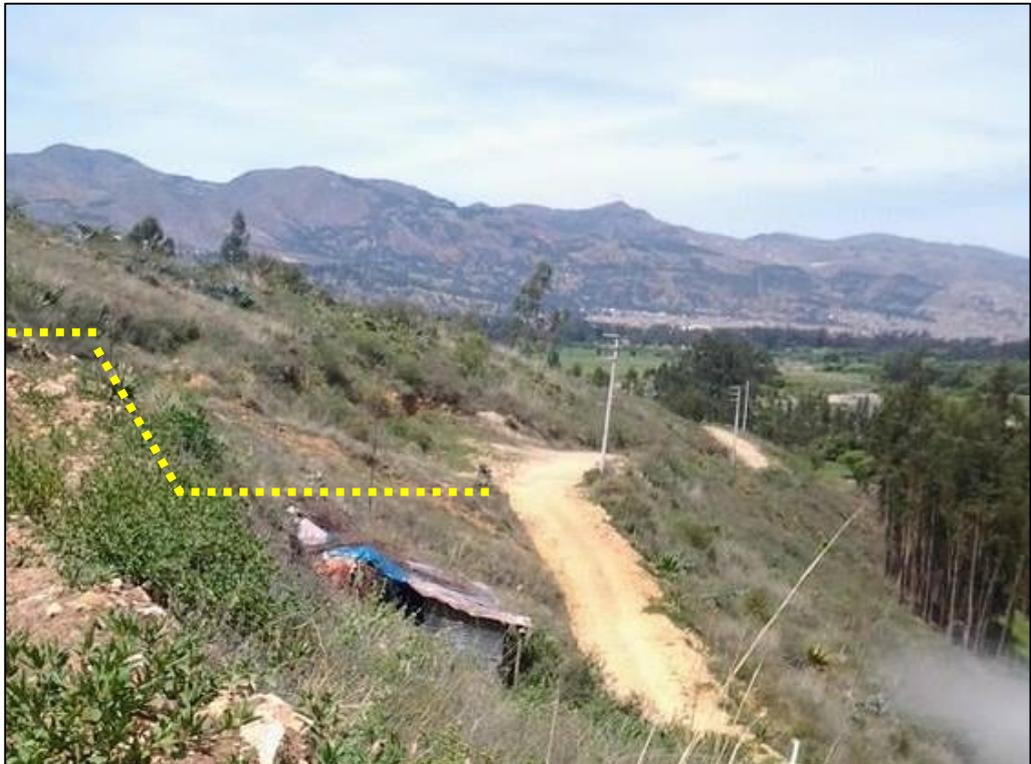


Figura 15: Alternativa de bancos en la zona 1.

Fuente: Elaboración propia. (2017).

3.6.2. Elección de Alternativa.

Para el desarrollo de la explotación en el área, se implementará el método de explotación por Bancos Múltiples Ascendentes, este método presenta mejor adaptabilidad en sus ventajas en cuanto a las condiciones del terreno del sector de interés. Para la aplicabilidad de este método de explotación, el laboreo minero comienza por la adecuación de las vías de acceso existentes en condiciones de transitividad favorable para las volquetas sencillas y de doble tracción; así como la de la maquinaria a emplear en la explotación. La tarea a realizar posteriormente es la remoción de material estéril sobre el sector que ha de iniciarse la explotación de arcilla. Se construyen las vías de acceso a los futuros bancos de explotación. Una vez preparado el sector se procede a explotar el banco de arcilla en franjas ascendentes “bancos” hasta llegar al límite de explotación predeterminado en el diseño.

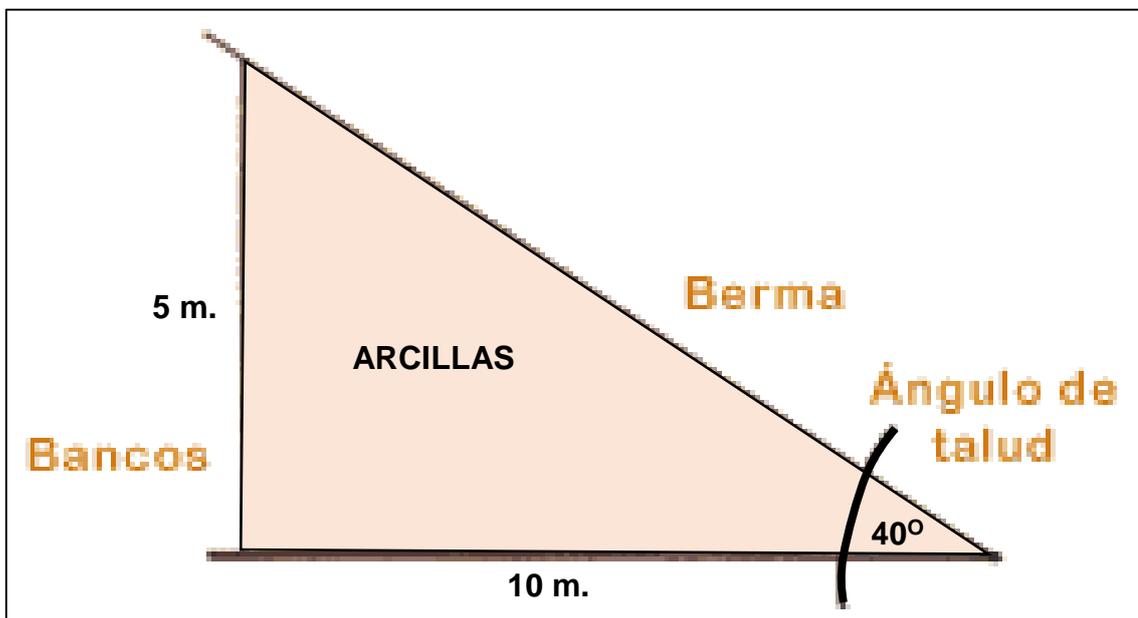


Figura 16: Modelo de banco.
Fuente: Elaboración propia. (2017).

3.6.3. Diseño Geométrico

Para analizar la estabilidad de taludes en el diseño del método de explotación se tendrán en cuenta las siguientes propiedades geomecánicas: Cohesión; Peso específico y el Angulo de fricción interno, denominadas como propiedades intrínsecas del material. Uno de los parámetros de suma importancia es el contenido de humedad del terreno, esta consideración nos permite determinar el tipo de terreno en que se está laborando. Son cinco (5) los tipos de terreno a estudiar en el momento del diseño de un banco de explotación de acuerdo al porcentaje de humedad: Tipo 1: Terreno totalmente seco; tipo 2: Terreno parcialmente saturado (30% -40% de humedad total); tipo 3: Terreno saturado (40-80% de humedad total); tipo 4: Terreno saturado (80%-90% de humedad total); tipo 5: Terreno totalmente saturado (100% de humedad total).

Teniendo en cuenta los ensayos realizados, la humedad critica en el terreno es de 34,88% el cual la presenta las arcillas de color gris oscuro, esto nos da una clasificación de un terreno parcialmente saturado entre un 30% - 40% de humedad total, es decir un terreno de tipo 2.

Según lo anterior para poder determinar la valoración de las variables, emplearemos los ábacos de Hoek and Bray con relación a la estabilidad de taludes en suelos, de los que existe un ábaco para cada tipo de terreno.

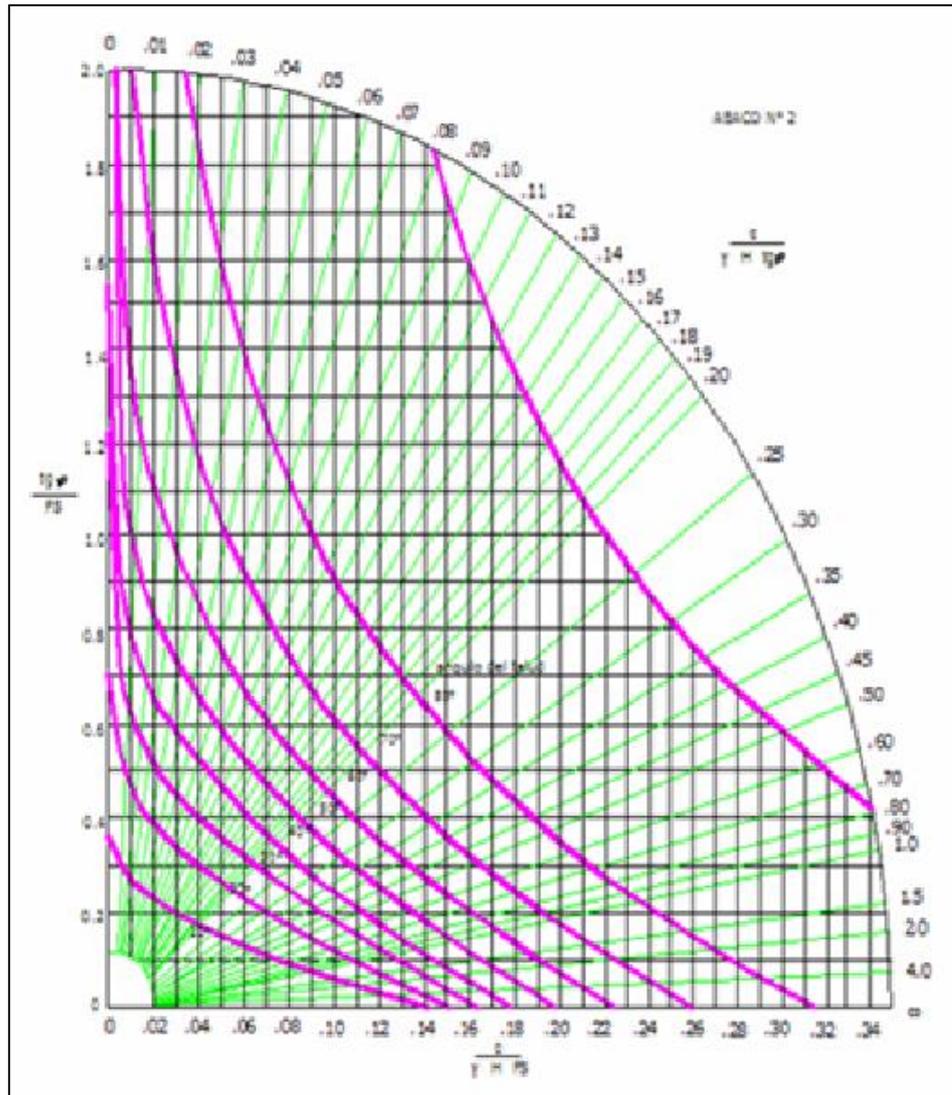


Figura 17: Abaco No. 2, terreno parcialmente saturado (30-40% de humedad).
Fuente: Elaboración propia. (2017).

En la interpretación de estos nomogramas debemos tener en cuenta las propiedades del terreno obtenidas en los ensayos de Corte Directo; estos son:

- Cohesión del material = 2,4870 Ton/m²
- Angulo de fricción interno = 14.5987 ≈ 15°
- Peso específico del material = 1,821 g/cm³

3.7. Cálculo de Estabilidad

El cálculo del factor de seguridad se analizó con el Software Slide de Rockscience para simular cada situación requerida dentro de la

evaluación de estabilidad relacionada con las características físicas y mecánicas de los materiales. Para un análisis detallado de la estabilidad se decidió evaluar tomando tres (3) perfiles geotécnicos que abarcaran una información completa y extensa sobre el sector de explotación basados en los apiques realizados, distancia entre estos, e información de los resultados de los ensayos de laboratorios.

Nivel freático en superficie (Saturación total) sin incremento de esfuerzos. Los métodos utilizados para observar el comportamiento del terreno son el Janbú simplificado y Bishop Simplificado.

Tabla 12
Factores de seguridad calculados por medio del software Slide de Rockscience.

| Perfil | Factor de Seguridad Crítico | |
|--------------------|-----------------------------|---------------------|
| | Janbú Simplificado | Bishop Simplificado |
| B – B ^I | 0.981 | 1.024 |
| C – C ^I | 1.075 | 1.075 |
| E – E ^I | 0.54 | 0.56 |

Fuente: Elaboración propia. (2017).

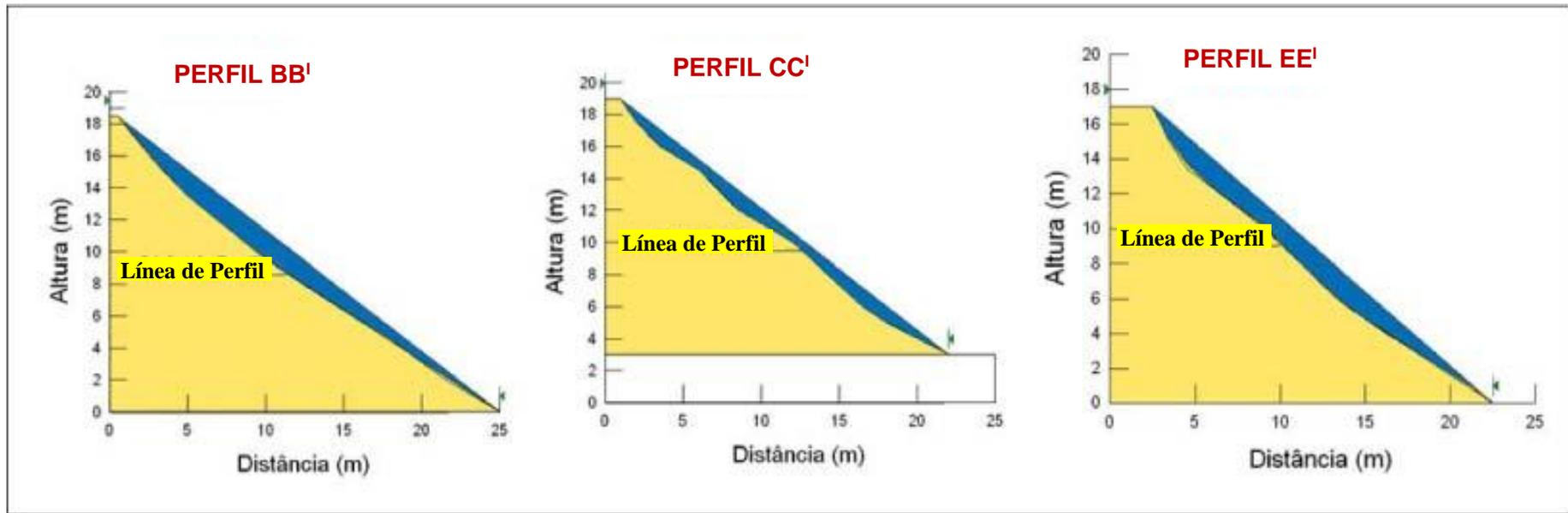


Figura 18: Perfil de estructura.
Fuente: Elaboración propia. (2017).

Se pudo comprobar con el software que para los taludes de los perfiles B-B' y C-C' al aplicarle a cada berma su respectiva carga no ofrece términos de falla aun teniendo el nivel freático en superficie presentando un comportamiento muy similar al evaluado sin incremento de esfuerzos, con una disminución muy mínima del factor de seguridad sin importancia para una minuciosa descripción del fenómeno.

Para el caso del análisis en el perfil E-E' se trabajó con el nivel freático real debido que con el nivel freático en superficie manifestó falla con factores de seguridad muy bajos con no existencia alguna de incremento de esfuerzos. Este análisis presenta falla en la segunda berma en orden ascendente con un factor de seguridad de 0,946 siendo el más crítico aun en condiciones de nivel freático real, más bajo que en superficie que es más crítico; la geometría y la dimensión de la falla es pequeña y muy local; el resto de cargas en cada de las bermas ofrece un comportamiento también similar al estar sin incremento de esfuerzo y nivel freático real.

3.8. Sistema de Secuencia y Arranque

El arranque se hará en forma directa con una retroexcavadora marca Caterpillar 430E que en sus características cumple con la altura del banco diseñado ya que su alcance máximo de corte es de 7,2 mts realizando el desprendimiento de la arcilla de los bancos y el cargue lo hará con el cargador con capacidad de cuchara de 1,0 m³. El arranque debe iniciarse desde el banco inferior para facilitar, el cargue del material y maniobrabilidad de la retroexcavadora en los movimientos hacia las volquetas de transporte, y el diseño final de la explotación.

El avance de la explotación se comenzará con el banco No 1 de forma lateral (N-S) ubicado en la cota 1526 m.s.n.m., siendo el sentido de la explotación en forma ascendente (E-W) hasta el banco No 11, los cuales tienen las reservas necesarias para la ejecución del proyecto a diez (10)

años, es decir se explota totalmente el primer banco en toda su longitud después se pasa al segundo y así sucesivamente.



Figura 19: Cobertura a remover.
Fuente: Elaboración propia. (2017).

3.8.1. Descripción de Labores a Realizar:

- Labores de preparación

Se inicia con la adecuación del patio de mina, de las vías de acceso a los bancos de trabajo y la remoción de la capa vegetal labor que realizará la retroexcavadora con el fin de establecer las vías de trabajo de la maquinaria de cargue y transporte; el primer banco se organiza hasta encontrar una altura de 3 metros según los establecido para este método, con un ángulo de trabajo de 26° y una berma de seguridad de 3 metros. De la misma forma se organizan los siguientes bancos para su posterior explotación.

- Labores de explotación

Comprende los tres ciclos principales arranque, cargue y transporte.

- Arranque y carguío:

Corresponde a la extracción del material in-situ por medio de la retroexcavadora, la cual se encarga en la misma operación de cargar el material a las volquetas.

- Transporte:

Es la labor realizada por medio mecánico (volquetas de 6 m³), las cuales se encargarán de transportar el material desde los frentes de explotación hasta el acopio de almacenamiento.

3.8.2. Aspectos Ambientales

La aplicación de la importancia ambiental, arroja una idea de cómo resultarán intervenidos los diferentes componentes ambientales de estudio y nos muestra cuales son las actividades del proyecto que generan mayor impacto ambiental en el área de estudio.

3.8.3. Manejo de Estéril y Capa Vegetal

La disposición de la capa vegetal se realizará de la siguiente manera: Principalmente la capa vegetal será llevada a una zona pequeña, diseñada para el almacenamiento de esta cerca del patio de acopio. Una vez la explotación lleve un avance de 100 metros, la capa vegetal será llevada nuevamente hasta la zona explotada (cara de los taludes), para así realizar un mejoramiento

edáfico, que consiste en una recuperación ambiental simultánea a la explotación.

3.8.4. Evaluación de los Impactos Ambientales

Después de identificar los impactos ambientales, que se presentan en la zona de estudio y definir los que se pueden presentar con la implementación del sistema de explotación propuesto, se procede a realizar una valoración de estos con el fin de definir cuál es el impacto ambiental más severo y la actividad que lo genera. La valoración se realiza en forma cualitativa por medio de una matriz de identificación de impactos ambientales, la cual relaciona las actividades que encierra el proceso minero con el factor ambiental afectado en los diversos componentes por dichas actividades, dando como resultado el grado de afectación. La cuantificación de los impactos se efectúa a través del método de la matriz de LEOPOLD. Para la valoración de los impactos ambientales, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

a. Magnitud del efecto:

Alta (A): 10

Media (M): 5

Baja (B): 1

b. Desarrollo del impacto:

Lento (L): mayor a 1 año, con un valor de: 0.1

Medio (M): de 0.5 a 1 año, con un valor de: 0.5

Rápido ©: menor a 0.5 años, con un valor de: 1.0

c. Duración del impacto:

Corto plazo (CP): de 0 a 1 año, con un valor de: 1

Mediano plazo (MP): de 1 a 5 años, con un valor de: 5

Largo plazo (LP): mayor a 5 años, con un valor de: 10

d. Probabilidad de ocurrencia:

Cierta ©: 1.0 Probable (P): 0.5

Poco probable (PP): 0.1

Luego se procede a realizar la calificación ecológica, por medio de la siguiente expresión matemática:

$$C = p * [(0.7 * c * M) + 0.3 * D]$$

Donde:

C: calificación del impacto ambiental.

P: probabilidad de ocurrencia.

C: desarrollo del impacto.

M: magnitud del impacto.

D: duración del impacto.

Tabla 13

Clasificación de los impactos ambientales.

| Impacto | Calificación |
|------------------------------|---------------------|
| Significativo no mitigable | >5 |
| Significativamente mitigable | De 2 a 5 |
| No significativo | <2 |

Fuente: Elaboración propia. (2017).

3.9. Evaluación Económica

Se ha evaluado mediante el código NIIF aprobado en 2012. El objetivo de esta NIIF es especificar la información financiera relativa a la exploración y evaluación de recursos minerales.

Para la evaluación de la empresa Rumicucho se consideró desembolsos relacionados con la exploración y explotación que son los gastos incurridos por una empresa Rumicucho S.R.L.

Mediante la exploración y evaluación de arcillas tipo caolinita, se demostrará la factibilidad técnica y la viabilidad comercial de la extracción caolinita.

3.9.1. Flujo de Caja (CASH FLOW)

La minería no metálica cuenta con costos más baratos que la minería metálica.

Teniendo en cuenta que no se usará explosivos, en maquinaria solo se contará con una retroexcavadora y personal obrero.

La empresa minera RUMICUCHO solo explotará el material arcilloso, el transporte correrá por cuenta del comprador.

Por tanto, consideramos:

a. Cálculo de vida útil:

$$\begin{aligned} \text{Vida Util en años} &= \frac{401\,327.554\text{ TM}}{1\,000\text{ TM/mes}} = \frac{401.33\text{ mes}}{12\text{mes/año}} \\ &= 33.44\text{ años} \end{aligned}$$

Por tanto, la cantera RUMICUCHO tiene una vida útil de 33.44 años, produciendo 1000 Tm mensuales de caolinita. El precio de la caolinita por tonelada es de 35 soles en cantera.

b. Flujos entrantes y salientes:

- Si el tonelaje es de 401 327.554 Tm y el precio de la tonelada en cantera es de 35 soles. Implica un ingreso de 14 046 464.39 soles, en los 33.44 años de explotación.
- Los flujos salientes son los gastos que va a realizar la empresa al explotar la caolinita. Se contará con 2 obreros, un operador de excavadora, también se

invertirá en la licencia legal, ambiental y plan de minado requeridos por la Dirección Regional de Minas.

- Cada obrero tiene un sueldo de 800 soles mensuales, por tanto, los tres obreros en 33.44 años costaría 642 048 soles.
- El operador de excavadora gana 1200 soles mensuales, en los 33.44 años costaría 481 536 soles.
- El mantenimiento de concesión entre pagos al estado implica una inversión de 300 000 soles en los 33.44 años.
- Estimamos gastos adicionales de 100 000 soles como emergencias.

Por tanto, mi flujo saliente es de 1 523 584 soles.

Cash Flow = Flujos entrantes – Flujos salientes

CASH FLOW = 14 046 464.39 – 1 523 584

CASH FLOW = 12 522 880.39 Soles

CONCLUSIONES

- En la concesión Rumicucho I, las arcillas caolinitas, se encuentran emplazadas en la formación geológica Carhuaz, en depósitos formados en la superficie por intensa meteorización química en climas húmedos y cálidos. De acuerdo a los estudios realizados se identificó tres zonas de interés (A, B y C). Por tanto, el método de explotación se realizara por bancos múltiples ya que es la mejor opción para extraer mineral.
- Debido a los problemas de estabilidad de laderas presentados históricamente en las laderas de Huayrapongo, especialmente en la concesión Rumicucho I, este estudio se realizó con fines de estabilización de las laderas y proyección de obras de mitigación. Ya que existe alto grado de erosionabilidad, expansividad alta de las arcillas, Precipitación intensa.
- La mejor alternativa para la explotación de arcillas en la concesión Rumicucho I, es mediante bancos ascendentes, el banco debe tener 5 metros de alto, ancho 10 metros y con un ángulo de talud de 40°.
- La alternativa de explotación mediante bancos representa un flujo de entrada de 14 046 464.39 soles considerando que las reservas probables son 401,327.554 TM a 35 soles cada tonelada. El flujo saliente son el pago a los trabajadores, gastos legales, entre otros que suman 1 523 584 soles generando Cash Flow de 12 522 880.39 soles, por tanto, el proyecto de explotación es viable.

RECOMENDACIONES

Realizar un mantenimiento periódico al sistema de drenaje de la mina para garantizar su normal funcionamiento, así como mantener limpio el piso de los bancos y con la pendiente necesaria para el drenaje.

Construir un sistema de sedimentación de los lodos y arenas provenientes de los frentes de explotación y mantenimiento de dichos sedimentadores.

Inspeccionar la ladera por encima de la corona del talud superior, para detectar cualquier falla de tipo geológico; medir el espesor, longitud y forma de las grietas que se estén presentando.

Realizar inspecciones permanentes, advirtiendo posibles deslizamientos de material.

Elaborar un plan de restauración con base a uso futuro de terrenos afectados por la actividad minera, cronograma de ejecución, protección de aguas superficiales, protección de la población con base a ruido y polvo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alarcón, D., & Salazar, C. (2016). Evaluación Económica para Explotación de Arcillas tipo Caolinita en la Concesión Minera Rumicucho, Centro Poblado Huayrapongo, Distrito Llacanora. (*Tesis Profesional*). Cajamarca, Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte. Recuperado de [http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/7558/Salazar%20Brones%20Francisco%](http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/7558/Salazar%20Brones%20Francisco%20)

Álvarez, Á. (2012). Métodos de explotación en la mediana minería del Perú. (*Rev. del Instituto de Investigación*). Lima, Perú: FIGMMG. Recuperado de http://ateneo.unmsm.edu.pe/ateneo/bitstream/123456789/1/rev_inst_investig_fac_minas_metal_cienc_geogr13v15n29_2012.pdf

Beltrán, R. (2012). *Diseño Geotécnico y Estructural de una Cimentación en Arcilla Expansiva*. (Tesis Profesional). México. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132>.

Bullón, J. (2014). *Estudio Comparativo de la Mineralogía y los Coloides Arcillosos en Suelos de Trópicos Húmedos*. (Tesis Profesional) Lima, Perú. Recuperado de <http://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view>.

Camejo, C. (2013). *Modificación de Arcillas Comerciales y Naturales para el Diseño de Nuevos Sistemas Catalíticos*. (Tesis Profesional). Alcalá, España. Recuperado de <http://dspace.uah.es/dspace/handle/10017/20180>

Custodio, J. (2013). *Caracterización de Minerales Arcillosos* (Vol. 1). México: JKL. Recuperado de http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/34.

Estupiñán, T. (2013). *Diseño y Explotación Subterránea del Nivel A de la Mina - Expobonanza - San Gerardo Ubicada en el Cantón Pucara*. (Tesis Profesional). Guayaquil, Azuay, Ecuador. Recuperado el 18 de de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstm/123456789/3386/1/590>.

García, A. (2015). *Resistencia de la Subrasante Incorporando Cal Estructural en el Suelo Arcilloso del Sector 14 Mollepampa*. (Tesis para Ingeniero de Minas). Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/7327/Garc%ADa%20Gonzales%20Anabel%C3%A9n>.

Gutarra, A. (2014). *Preparación de Filtros de Adsorción a Base de Arcillas Modificadas* (Vol. 1). Lima: ECI. Recuperado de https://guzlop-editoras.com/web_des/cmater01/ceramico/pl96.pdf

Gutiérrez, R., y Sánchez, J. (1990). *Metodología del trabajo*. México: Esfinge. Recuperado de http://unam.mx/uploads/8/1/1/0/8110907/metodos_y_tecnicas.pdf

Harond, H. (2012). *Evaluación del Comportamiento de Arcillas Sometidas a Diferentes Tiempos de Exposición a Altas Temperaturas*. (Tesis Profesional) Medellín, Colombia. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n16/n16.pdf>

López, J. (2014). *Estudio de Materiales Compuestos Obtenidos a Partir de Lodos Celulosicos de la Industria Papelera, Cemento y Arcilla*. (Tesis Profesional). Lima, Perú. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/5480>.

Ortega, P. (2012). *Diseño para la Explotación de la Cantera de Arcilla, Barrio Cera- Cantón Loja*. (Tesis Profesional). Ecuador. Recuperado de <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/3935>.

Rincón, B. (2000). Revisión, planificación y aplicación de mejoras. *Revista Interuniversitaria del Profesorado*. Colombia: Quebecor Impreandes. Recuperado de rieoei.org/deloslectores/682Bausela

Rodríguez, E. (2014). *Evaluación del Comportamiento Geomecánico de Arcillas en el Sector de Campoalegre – Ciudad de Barranquilla*. (Tesis Profesional). Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/46799/1/299993.2014.pdf>

Sabino, C. (2000). *El Proceso de la Investigación*. 5ta Edición. Venezuela: El Cid Editor. Recuperado de <https://metodoinvestigacion.wordpress.com/2000>

Sánchez, A. (2015). Impactos causados por la Industria de Extracción de Arcilla del municipio de Puerto Salgar Cundinamarca. (Tesis Profesional). *Universidad de Cundinamarca*. Cundinamarca, Bogotá, Colombia: ASOPROD. Recuperado de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20trabajo%20de%20grado%20%20esap%20tesis.pdf>

Soto, G. (2015). Caracterización de la Actividad Minera Artesanal No Metálica en la Zona de la Carretera Iquitos-Nauta. (Tesis Profesional). Iquitos, Amazonas, Perú: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Recuperado de <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3267/TESIS%20PARA%20LIBRO%20GUILLERMO%20M>.

Soto, M., y Chávez, M. (2016). “Estudio de Factibilidad Técnica de Explotación de Arcillas, para Optimizar la Rentabilidad Económica en la

Concesión Minera Cantera Vásquez, Cajamarca 2016. (*Tesis Profesional*). Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/1395>.

ANEXOS

1. Matriz de consistencia

“Diseño del Método de Explotación para Mejorar la Productividad Minera de Arcillas Tipo Caolinita de la Concesión Rumicucho I, Centro Poblado Huayrapongo, Distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017”

| PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN | OBJETIVO DE LA INVESTIGACION | HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN | VARIABLES | INDICADORES | INSTRUMENTOS | METODOLOGÍA | |
|--|---|---|--|---|--|--|---|
| <p>Problema principal: ¿Cuál es el método de explotación apropiado para mejorar la productividad minera en la extracción de arcillas tipo caolinita presentes en la concesión minera Rumicucho I, distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017?</p> | <p>Objetivo General: Establecer el método de explotación para mejorar la productividad minera en la extracción de arcillas tipo caolinita en la concesión minera no metálica Rumicucho I, distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017.</p> | <p>Hipótesis general: Con el diseño del método de explotación se ayudará a mejorar la productividad minera de la concesión Rumicucho I, en el centro poblado Huayrapongo, del distrito Llacanora, Cajamarca, 2017.</p> | | | | <p>Tipo de investigación Según Rincón (2000) en esta tesis se empleará la investigación cuantitativa.</p> <p>Nivel de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exploratorio - Descriptivo - Correlacional <p>Diseño de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Documental - De Campo <p>Población Concesión Minera no Metálica Rumicucho I, del centro poblado Huayrapongo, del distrito Llacanora, Cajamarca, 2017.</p> <p>Muestra 5 hectáreas de la concesión Rumicucho I, donde afloran las capas de arcilla tipo caolinita.</p> <p>Técnicas de recolección de datos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Observación Directa - Entrevista - Análisis Documental | |
| <p>Problemas secundarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuál es la estructura geológica de las arcillas tipo caolinita para determinar el método de explotación y mejorar la productividad minera, en la concesión minera no metálica Rumicucho I, distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017? - ¿Cuál es la mejor alternativa como método de explotación para mejorar la productividad minera en la concesión minera no metálica Rumicucho I, distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017? - ¿Por qué demostrar que la alternativa del método de explotación de arcillas tipo caolinita es viable para mejorar la productividad minera, en la concesión Rumicucho I, distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017? | <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evaluar la estructura geológica y las reservas de arcilla tipo caolinita en la concesión minera no metálica Rumicucho I para definir su método de explotación y mejorar su productividad minera, distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017. - Presentar una alternativa de método de explotación que se llevaría a cabo en la concesión Rumicucho I, para mejorar la productividad minera, distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017. - Demostrar que la alternativa del método de explotación de arcillas tipo caolinita es viable para mejorar la productividad minera, en la concesión Rumicucho I, distrito de Llacanora, Cajamarca, 2017. | <p>Hipótesis secundarias:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La evaluación de la estructura geológica de las arcillas tipo caolinita, ayudará a la empresa Rumicucho S.R.L. a definir el de explotación a emplearse, en la concesión minera no metálica Rumicucho I, del centro poblado Huayrapongo, del distrito Llacanora, Cajamarca, 2017. - Al tener una alternativa de método de explotación se definirá su beneficio en la productividad minera de la concesión Rumicucho I, del centro poblado Huayrapongo, del distrito Llacanora, Cajamarca, 2017. - Demostrando que la alternativa del método de explotación de arcillas tipo caolinita en la concesión Rumicucho I es viable ayudará a definir su mejora en la productividad minera, de la concesión Rumicucho I, del centro poblado Huayrapongo, del distrito Llacanora, Cajamarca, 2017. | <p>Variable dependiente</p> <p>Productividad minera</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Componente económico - Desempeño laboral - Producción - Ganancia | <ul style="list-style-type: none"> - Ficha de clasificación de recursos minerales. - Ficha de clasificación mineralógica. - Modelo de ficha topográfica. - Ficha de clasificación del RMR. | <p>Variable independiente</p> <p>Método de explotación</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Calidad de la construcción - Cantidad de opiniones - Ubicación - Estructura - Tecnologías |

Fuente: Elaboración propia. (2017).

2. Fotografías



Figura 20: Banco de explotación 1.
Fuente: Elaboración propia. (2017).



Figura 21: Banco de explotación 2.
Fuente: Elaboración propia. (2017).



Figura21: Muestra de arcillas.
Fuente: Elaboración propia. (2017).

3. Instrumentos de Validación

Tabla 14

Clasificación de recursos en la concesión Rumicucho I.

| MATERIAL | RECURSO GEOLOGICO | RCB | % DEL TOTAL | N HOLE | N COMP | DIST |
|----------|-------------------|-----|-------------|--------|--------|------|
| MENA | PROBADO | | | | | |
| | PROBABLE | | | | | |
| | POSIBLE | | | | | |
| | TOTAL | | | | | |
| GANGA | PROBADO | | | | | |
| | PROBABLE | | | | | |
| | POSIBLE | | | | | |
| | TOTAL | | | | | |

Fuente: Elaboración propia. (2017).

Tabla 15

Clasificación mineralógica.

| ANÁLISIS DE MINERALES | | | |
|--|-------------|-------------|---|
| N° MUESTRA ORIGINAL | CUADRÁNGULO | COORDENADAS | |
| | | N | E |
| M – | 15 – G | | |
| Características de la Muestra | | Fotografía | |
| | | | |
| PORCENTAJE DE MINERALES DE ACUERDO A SU ESPECTRO | | | |
| MINERAL | FÓRMULA | % | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Fuente: Elaboración propia. (2017).

Tabla 16
Ficha topográfica.

| V.AT | EST. | V.AD. | D.I | AZIMUT | | ANG.V | | D.H | D.V | COOR. PARCIALES | | COOR. TOTALES | | COTA |
|------|------|-------|-----|--------|-----|-------|-----|-----|-----|-----------------|------------|---------------|-------|------|
| | | | | GRAD | RAD | GRAD | RAD | | | ΔN | ΔE | LATIT. | LONG. | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia. (2017).

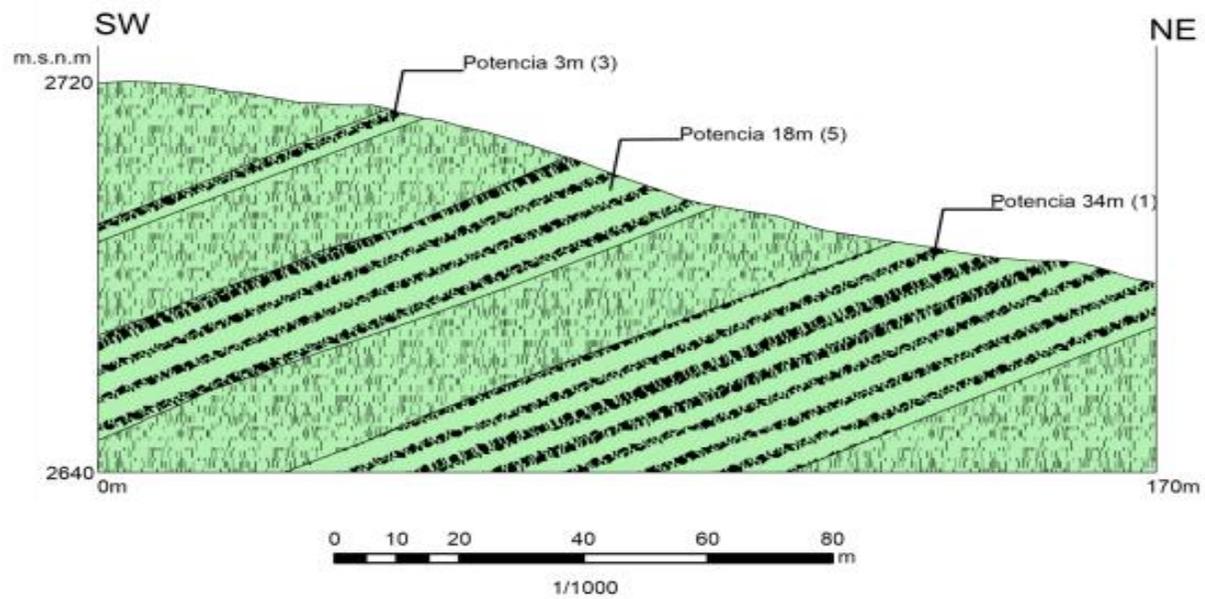
Tabla 17
Clasificación del RMR.

| | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------------|--|------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|-----|----|
| 1 | Resistencia de la matriz rocosa (MPa) | Ensayo de carga puntual | >10 | 10-4 | 4-2 | 2-1 | Compresión Simple (MPa) | | |
| | | Compresión simple | >250 | 250-100 | 100-50 | 50-25 | 25-5 | 5-1 | <1 |
| | | Puntuación | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| 2 | RQD | | 90%-100% | 75%-90% | 50%-75% | 25%-50% | <25% | | |
| | Puntuación | | 20 | 17 | 13 | 6 | 5 | | |
| 3 | Separación entre diaclasas | | >2m | 0.6-2m | 0.2-0.6m | 0.06-0.2m | <0.06m | | |
| | Puntuación | | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 | | |
| 4 | Estado de las discontinuidades | Longitud de la discontinuidad | <1m | 1-3m | 3-10m | 10-20m | >20m | | |
| | | Puntuación | 6 | 4 | 2 | 1 | 0 | | |
| | | Abertura | Nada | <0.1 mm | 0.1-1.0mm | 1-5mm | >5mm | | |
| | | Puntuación | 6 | 5 | 4 | 1 | 0 | | |
| | | Rugosidad | Muy rugosa | Rugosa | Ligerament e rugosa | Ondulada | Suave | | |
| | | Puntuación | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 | | |
| | | Relleno | Ninguno | Relleno duro <5mm | Relleno duro >5mm | Relleno blando <5mm | Relleno blando >5mm | | |
| | | Puntuación | 6 | 4 | 2 | 2 | 0 | | |
| | | Alteración | Inalterada | Ligerament e alterada | Moderada mente alterada | Muy alterada | Descompuesta | | |
| | | Puntuación | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 | | |
| 5 | Agua freática | Caudal por 10m de túnel | Nulo | <10litros/m in | 10-25 litros/min | 25-125 litros/min | >125 litros/min | | |
| | | Relación de agua / Tensión principal mayor | 0 | 0-0.1 | 0.1-0.2 | 0.2-0.5 | >0.5 | | |
| | | Estado general | Seco | Ligerament e húmedo | Húmedo | Goteando | Agua fluyendo | | |
| | Puntuación | | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 | | |

Fuente: Bullón. (2014).

PLANOS

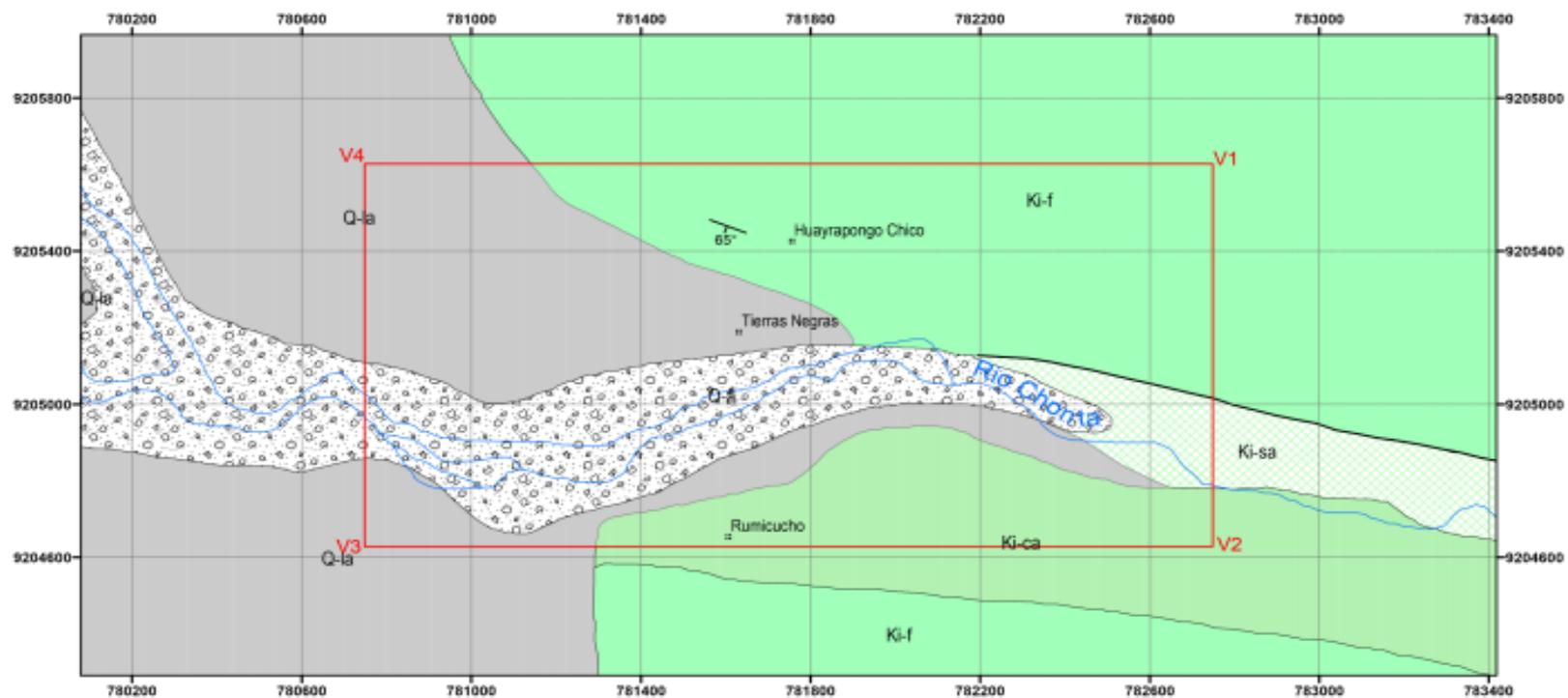
PERFIL GEOLÓGICO



| Litología | |
|-----------|----------|
| | Arenisca |
| | Caolín |

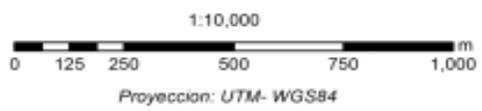
| PERFIL GEOLÓGICO | | |
|--|---|--|
| Elaborado Por: VÁSQUEZ CABRERA LIZARDO | Proyección y Datum: Sistema de coordenadas proyectadas: UTM Datum Horizontal PSAD- 56 | |
| Ubicación: Distrito: Llacanora Provincia: Cajamarca Departamento: Cajamarca | Fecha: Julio 2017 | |
| Tesis: "DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD MINERA DE ARCILLAS TIPO CAOLINITA DE LA CONCESIÓN RUMICUCHO I, CENTRO POBLADO HUAYRAPONGO, DISTRITO DE LLACANORA, CAJAMARCA, 2017" | | |

PLANO GEOLOGICO



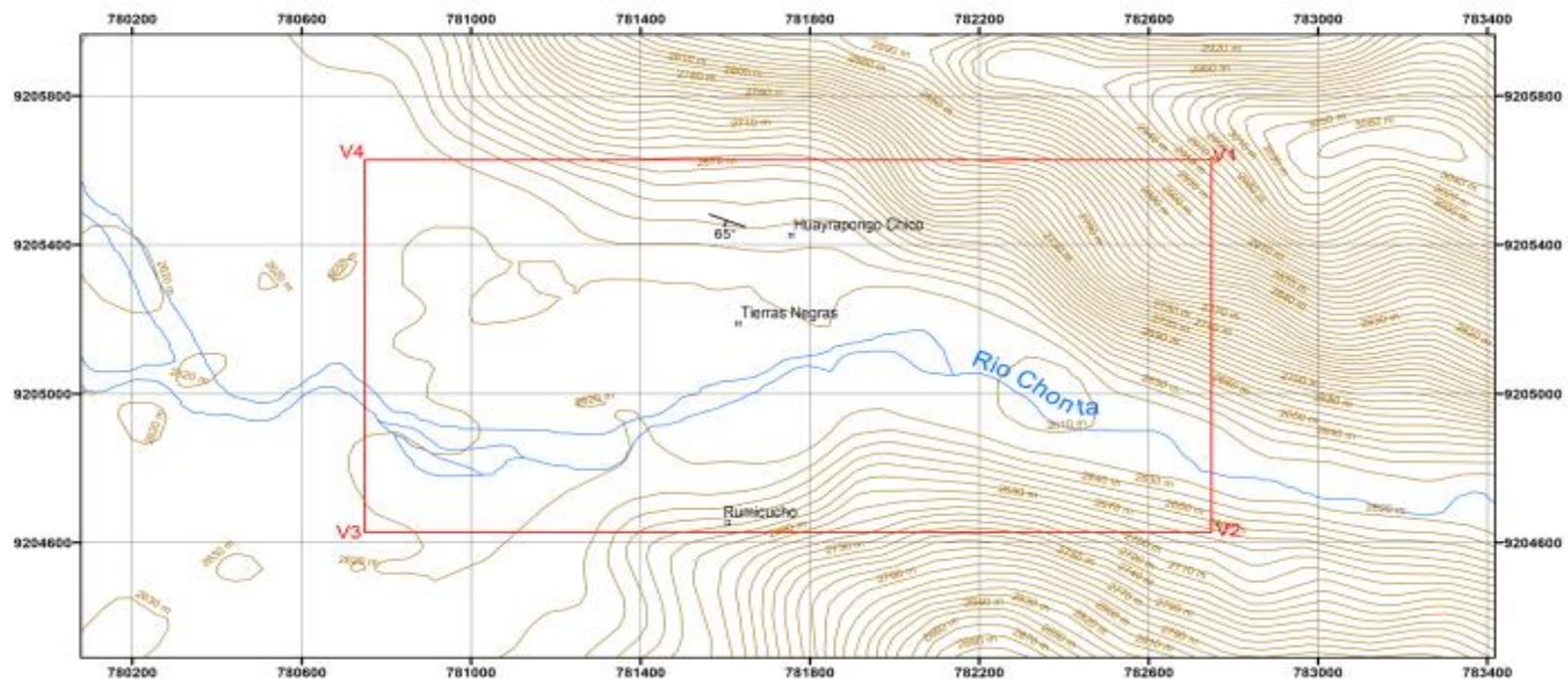
| LITOLOGIA | |
|-----------|-------|
| | Q-fl |
| | Q-la |
| | Ki-f |
| | Ki-ca |
| | Ki-sa |

| LEYENDA | |
|---------|------------|
| | Concesion |
| | Pueblo |
| | Falla |
| | Buzamiento |



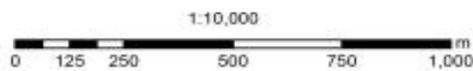
| PLANO GEOLÓGICO | | |
|---|---|-----------------------------|
| Elaborado Por: VÁSQUEZ CABRERA UZARDO | Proyección y Datum: Sistema de coordenadas proyectadas: UTM Datum Horizontal: WGS-84 | |
| Ubicación: Distrito: Llacanora Provincia: Cajamarca Departamento: Cajamarca | | |
| Tests: "DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD MINERA DE ARCILLAS TIPO CAOLINITA DE LA CONCESIÓN RUMICUCHO I, CENTRO POBLADO HUAYRAPONGO, DISTRITO DE LLACANORA, CAJAMARCA, 2017" | | Fecha: Julio 2017 |

PLANO TOPOGRAFICO



LEYENDA

- Curvas_10
- Concesion
- Pueblo
- Drenaje



Proyeccion: UTM- WGS84

| Norte | Este | Vertice |
|---------|--------|---------|
| 9206000 | 783000 | 1 |
| 9205000 | 783000 | 2 |
| 9205000 | 781000 | 3 |
| 9206000 | 781000 | 4 |

PLANO TOPOGRÁFICO

Elaborado Por:
VÁSQUEZ CABRERA LIZARDO

Ubicación:
Distrito: Llacanora
Provincia: Cajamarca
Departamento: Cajamarca

Proyección y Datum:
Sistema de coordenadas
proyectadas: UTM
Datum Horizontal WGS-
84



Tesis:
"DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD MINERA DE ARCILLAS TIPO CAQUINITA DE LA CONCESIÓN RUMICUCHO I, CENTRO POBLADO HUAYRAPONGO, DISTRITO DE LLACANORA, CAJAMARCA, 2017"

Fecha:
Julio 2017