

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Geológica

“ESTUDIO GEOLÓGICO Y POTENCIAL DE  
CARBONATO DE CALCIO EN EL YACIMIENTO  
APAN ALTO HUALGAYOC EN EL AÑO 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

Autores:

Rosa Dany Galvez Llanos

Anali Vasquez Delgado

Asesor:

Mg. Ing. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

Cajamarca - Perú

2020

## DEDICATORIA

A Dios por guiarme en mis días, darme fuerza y fortaleza. A PRONABEC. A mi Reyna mi madre que, con su amor infinito, sus ánimos y consejos motivaron alcanzar mis metas. A mi padre y hermanos por su apoyo incondicional. A mi compañero de vida Jhon, a mi prima Fany, a mis amigos en especial a Emi. A los docentes de UPN-C por formarme profesionalmente. Y todas las Personas que me han apoyado. Gracias con ustedes ha sido posible lograr mi más grande meta.

*Rosa*

Este proyecto está dedicado a Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy cuidándome y dándome fortalezas para caminar; a mis padres, a mi hermana, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento depositando su plena confianza en mí, sin ellos no hubiese cumplido mi meta, también dedico este proyecto a mi novio, compañero inseparable de cada jornada, quien estuvo apoyándome durante mi carrera profesional, a mis maestros, quienes se empeñaron en brindarme una buena enseñanza, a mis amigos quienes siempre me alentaron para la realización de esta tesis.

Sé que estas palabras no son suficientes para expresar mi agradecimiento, pero espero que con ellas se den a entender mis sentimientos de aprecio y cariño a todos. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

*Anali*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por su amor infinito. A nuestros padres y hermanos quienes con su apoyo constantes nos impulsaron a llegar a nuestra meta. A la Universidad Privada del Norte y docentes por formarnos profesionalmente. A nuestro Asesor Ingeniero Miguel Ricardo Portilla Castañeda y a todas las personas que nos han apoyado. Gracias.

## Tabla de contenidos

	<b>Pág.</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
1.1. Realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema.....	14
1.3. Objetivos .....	14
1.3.1. Objetivo general.....	14
1.3.2. Objetivos específicos .....	14
1.4. Hipótesis.....	14
1.4.1. Hipótesis general.....	14
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>15</b>
2.1. Tipo de investigación .....	15
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	15
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	15
2.4. Procedimiento .....	16
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>24</b>
3.1. Aspectos generales.....	24
3.1.1. Ubicación.....	24

3.1.2. Accesibilidad .....	25
3.1.3. Clima y Vegetación.....	26
3.2. Geología .....	27
3.2.1. Geomorfología .....	27
3.2.2. Estratigrafía .....	28
3.3. Hidrología.....	34
3.4. Geotecnia.....	36
3.5. Análisis Petrográfico .....	37
3.6. Análisis químico .....	42
3.7. Cálculo de reservas .....	46
3.8. Diseño de talud para la explotación .....	46
3.8.1. Clasificación geomecánica .....	46
3.8.2. Análisis mediante el software Dips.....	47
3.8.3. Análisis de estabilidad.....	52
3.8.4. Análisis de factor de seguridad.....	54
3.8.5. Diseño de banco.....	58
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>59</b>
4.1. Discusión .....	59
4.2. Conclusiones.....	61
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>65</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos de revisión bibliográfica .....	16
Tabla 2 Vértices de la zona de estudio.....	24
Tabla 3 Ruta a la zona de estudio .....	25
Tabla 4 Precipitaciones entre el año 2017 al 2020 cercanas a la zona en estudio.....	35
Tabla 5 Coordenadas de toma de muestras de roca caliza .....	37
Tabla 6 Clasificación Petrográfica Muestra N°1 de caliza .....	38
Tabla 7 Clasificación Petrográfica Muestra N°2 de caliza .....	39
Tabla 8 Clasificación Petrográfica Muestra N°3 de caliza .....	40
Tabla 9 Clasificación Petrográfica Muestra N°4 de caliza .....	41
Tabla 10 Muestra N°1: Composición química de roca caliza del yacimiento Apan Alto ....	42
Tabla 11 Muestra N°2: Composición química de roca caliza del yacimiento Apan Alto ....	42
Tabla 12 Muestra N°3: Composición química de roca caliza del yacimiento Apan Alto ....	43
Tabla 13 Muestra N°4: Composición química de roca caliza del yacimiento Apan Alto ....	44
Tabla 14 Composición química promedio de roca caliza del yacimiento Apan Alto .....	44
Tabla 15 Cálculos mediante el geoprocesamiento de data.....	46
Tabla 16 Propiedades geomecánicas de la formación Cajamarca .....	47
Tabla 17 Datos de campo .....	48
Tabla 18 Coordenadas de ubicación del talud del Yacimiento Apan Alto. ....	54
Tabla 19 Resultado de factores de seguridad método Spencer. ....	57
Tabla 20 Ficha de observación de campo .....	78
Tabla 21 Ficha de observación de análisis petrográfico. ....	79
Tabla 22 Procesamiento de datos de laboratorio .....	79
Tabla 23 Cuadro de estimación de la constante $m_i$ de las rocas.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. TIN en la que los colores muestran un rango de 09 classes. ....	20
Figura 2. Interpolación Raster que genera 04 rango de colores, el color blanco son los valores de Carbonato de Calcio mayores a 90% . ....	21
Figura 3. Imagen Raster con campo de valores reclasificados. ....	22
Figura 4. Shapefile del tipo polígono que solo muestra los valores Carbonato de calcio mayores a 90% . ....	22
Figura 5. Cálculo de volumen teniendo en cuenta una superficie por encima de la cota base 3124 m.s.n.m. ....	23
Figura 6. Ubicación de la zona de estudio . ....	25
Figura 7. Vegetación en la zona de estudio. ....	26
Figura 8. Lomada presente al lado derecho del yacimiento de calizas . ....	27
Figura 9. Planicie formada en la zona de estudio. ....	28
Figura 10. Columna estratigráfica de la región Cajamarca. (Vásquez, 2011). ....	29
Figura 11. Areniscas calcáreas formación Inca. ....	30
Figura 12. Calizas nodulares de la formación Chulec. ....	31
Figura 13. Calizas y lutitas calcáreas de la formación Pariatambo. ....	31
Figura 14. Caliza del grupo Pulluicana. ....	32
Figura 15. Calizas, lutitas arenosas y margas del grupo Quilquiñan. ....	33
Figura 16. Calizas de la formación Cajamarca. ....	34
Figura 17. Datos de precipitaciones tomado de la Estación Meteorológica Bambamarca - SENAMHI (2017-2020). ....	36
Figura 18. Muestra N°1: Composición química de roca caliza del yacimiento Apan Alto. .	42
Figura 19. Muestra N°2: Composición química de roca caliza del yacimiento Apan Alto. .	43
Figura 20. Muestra N°3: Composición química de roca caliza del yacimiento Apan Alto. .	43
Figura 21. Muestra N°4: Composición química de roca caliza del yacimiento Apan Alto. .	44
Figura 22. Porcentaje promedio de carbonato de calcio -Yacimiento Apan Alto. ....	45
Figura 23. Porcentaje promedio de carbonato de calcio -Yacimiento Apan Alto. ....	45
Figura 24. Macizo rocoso con 03 Familias de discontinuidades. ....	47
Figura 25. Grafica de análisis estereográfico, falla planar. ....	49
Figura 26. Valores de ángulo de fricción y del talud, con probabilidad de 0% de deslizamiento planar. ....	50

Figura 27 .Grafica de análisis estereográfico, falla cuña. ....	50
Figura 28 .Valores de ángulo de fricción y del talud, con probabilidad de 6.67% de deslizamiento en cuña. ....	51
Figura 29.Grafica de análisis estereográfico, falla vuelco. ....	51
Figura 30.Valores de ángulo de fricción y del talud, con probabilidad de 0 % de deslizamiento por vuelco. ....	52
Figura31.Zonas sísmicas del Perú. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016). ....	53
Figura 32.Análisis del Factor de Seguridad en la primera etapa de explotación.....	55
Figura 33.Análisis del Factor de Seguridad en la segunda etapa de explotación. ....	56
Figura 34.Análisis del Factor de Seguridad en la tercera etapa de explotación. ....	57
Figura35.Etapas de explotación de caliza a cielo abierto .....	58
Figura 36.Toma de muestras del Yacimiento de calizas Apan Alto.....	66
Figura37.Identificación de formaciones presentes en el área de trabajo. ....	66
Figura 38.Determinación de carbonato de calcio en laboratorio. ....	67
Figura 39.Toma de datos de resultados en laboratorio. ....	67
Figura. 40 Clasificación textural de rocas carbonáticas propuesta por folk(1962).(Méndez,2009).....	80
Figura 41 Clasificación textural de rocas carbonáticas propuesta por Dunham (1962). (Méndez, 2009) .....	81
Figura 42. Cuadro de puntuación GSI. (Hoek & Brown, 2002).....	83
Figura 43 .Cuadro del factor de perturbación D. (Hoek & Brown,2002) .....	85

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de volumen. ....	46
Ecuación 2 Cálculo de coeficiente de sismicidad.....	54

## RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó en el Yacimiento Apan Alto Hualgayoc, con el objetivo de realizar un estudio geológico y el potencial de carbonato de calcio. Para poder lograr el objetivo planteado se realizó: la descripción de las características geológicas de la zona de estudio, caracterización petrográfica y análisis químico de las muestras, cálculo de potencial de carbonato de calcio y el diseño de talud para explotación. Al desarrollar la investigación se llegó a las conclusiones siguientes: de acuerdo a las características geológicas sólo se evidencia la formación Cajamarca en el Yacimiento Apan Alto compuesta por calizas grises y gris claro; de acorde a la caracterización petrográfica las muestras son calizas que están compuestas por matriz micrítica y son de tipo Mudstone; de acuerdo al análisis químico la roca caliza presenta un potencial de carbonato de calcio con un valor mínimo de 96.50%, un valor máximo de 97.90% y en promedio de 97.1% de  $\text{CaCO}_3$ ; al realizarse el cálculo del potencial de carbonato de calcio contenidas en la roca caliza del yacimiento se determinó 439045.8 Toneladas métricas; finalmente del diseño del talud para la explotación, se tiene que de acuerdo a la orientación de las discontinuidades en el talud no se presentó falla planar, cuña y vuelco, se determinó que el talud es estable con factor de seguridad promedio 2.063, acorde a ello la explotación de la caliza se realizará por el método de tajo abierto tipo cantera utilizando tres etapas con bancos de explotación de acuerdo a la topografía original del área de trabajo.

**Palabras clave:** estudio geológico de caliza, potencial, carbonato de calcio, yacimiento.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática.

La geología en actividades relacionadas con la extracción de recursos minerales no metálicos, analiza en función de la ocurrencia geológica y mineralógica la determinación de los porcentajes de elementos presentes y la verificación de fases dentro del mineral, proporcionando información de los recursos potencialmente explotables y la calidad del yacimiento o del recurso. La clasificación geológica de rocas carbonáticas se basa principalmente considerando la génesis y la mineralogía. (Melgarejo,2010)

Las rocas carbonáticas son un tipo de rocas sedimentarias y están compuestas principalmente por minerales de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), las principales rocas carbonáticas son calizas, dolomitas y margas. Se estudia a las rocas calizas mayormente porque estas contienen carbonato de calcio mayor al 50%.

La caliza es una roca cuyo valor mineralógico es extremadamente alto, una de las razones por la cual constituye la principal materia prima para la elaboración de diferentes materiales utilizados en la industria, construcción y la fabricación de cemento. La caliza de alta pureza posee composición química de más de 97%  $\text{CaCO}_3$ . (Alfaro, Guillen y Valdivieso,2011)

La caliza en el Perú actualmente es el producto minero no metálico de mayor volumen de producción con más 7 252 293 TM, registrado en el año 2015, y representando un 53,49% del total de producción minera no metálica gracias a su contenido de carbonato

de calcio. En Cajamarca, adicionalmente de los metales, se cuenta con recursos no metálicos siendo uno de ellos la caliza que representa un 16.5% de la producción de cal en el Perú, únicamente superada por Lima con el 37.14 %. (Romero, 2017).

Castillo y Chunque (2016) Nos dice que en la concesión minera “Tres pirámides” para la explotación de roca caliza con fines industriales se basan en analizar la concentración de carbonato de calcio en la roca caliza de acuerdo a las características petrográficas y al análisis químico. Cuando una roca caliza es de tipo Mudstone, Packstone y Wackestone indican que son de buena calidad ya que se caracterizan por contener carbonatos de calcio óptimos; cuando la roca caliza mediante análisis químico presenta un valor mínimo de 94.43% y un valor máximo de 97.11% de carbonato de calcio mencionan que es un indicador de que la roca es de buena calidad. Lo cual quiere decir que el potencial de carbonato de calcio en roca caliza es relativamente alto para la explotación.

Además de ello, Castillo y Chunque (2016) luego de obtener carbonato de calcio óptimo en roca caliza realizan cálculo de potencial y el método de explotación; de acuerdo a ello las reservas estimadas son 687 589 Toneladas métricas, con una producción mensual de 3600 toneladas métricas y 15.91 años de vida útil; del método de explotación afirma que se realizará mediante bancos a cielo abierto de acuerdo al tipo de roca existente en la concesión minera.

Según Guevara y Orrilla (2019) Nos mencionan que en su investigación se realizó el cartografiado geológico y luego el análisis tanto físico como químico de rocas calizas para identificar la relación de la calidad de la roca en función a las formaciones geológicas presentes en la calera Bendición de Dios; de acuerdo a lo realizado se

identificó dos formaciones la formación Cajamarca con presencia de calizas azules intemperizadas con 90.87% de  $\text{CaCO}_3$  y la formación Celendín con presencia de calizas amarillentas con 93.36% de  $\text{CaCO}_3$ , llegando a la conclusión que en las dos formaciones presentes la roca caliza es de buena calidad a diferentes concentraciones de carbonato de calcio y son potencialmente explotables

Por otro lado, Romero (2017) Nos dice en su investigación que realizó estudios para evaluar la calidad de las calizas en “Calera la Conga “con fines de producir cal viva de acuerdo al contenido de carbonatos; para ello realizó el muestreo y el análisis químico de calizas dentro del área de interés. Al realizar los estudios da a conocer qué; acorde a los resultados de análisis químicos en laboratorio la presencia de  $\text{CaCO}_3$  en la roca caliza está entre un valor mínimo de 92.2 % y un valor máximo de 95.64% afirmando que las calizas de “Calera la conga” son de buena calidad con alto contenido de carbonatos y es potencialmente explotable para elaborar cal viva.

En la presente investigación, se busca realizar un estudio geológico para determinar el potencial de carbonato de calcio presente en el yacimiento Apan Alto Hualgayoc, con la finalidad de que el reconocimiento de la geología (características geológicas, caracterización petrográfica y análisis químico), proporcionen datos necesarios para determinar si el carbonato de calcio es óptimo en roca caliza en el Yacimiento Apan Alto Hualgayoc y con ello realizar el cálculo de reservas y diseño de explotación.

Ya que actualmente la empresa que va a extraer el mineral no metálico desconoce cuál es la calidad de carbonato de calcio de la roca caliza, el cálculo de reservas y el diseño de explotación en el Yacimiento Apan Alto Hualgayoc.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Como el estudio geológico permite determinar el potencial de carbonato de calcio en el Yacimiento Apan Alto, Hualgayoc?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

- Evaluar el aporte del estudio geológico en la determinación de carbonato de calcio en el yacimiento Apan Alto, Hualgayoc.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Describir las características geológicas mediante cartografiado en el yacimiento Apan Alto, Hualgayoc.
- Realizar el análisis químico de la roca caliza del yacimiento Alto, Hualgayoc.
- Caracterizar petrográficamente las muestras del yacimiento Apan Alto, Hualgayoc.
- Determinar el potencial de carbonato de calcio en el yacimiento Apan Alto, Hualgayoc.
- Plantear el diseño de explotación en el yacimiento Apan Alto, Hualgayoc.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

- Al realizar el estudio geológico permitirá determinar el potencial de carbonato de calcio brindando información sobre concentraciones de más de 97% de carbonato de calcio.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Para Oblitas (2018, p.30), según su propósito el tipo de esta investigación es aplicada por que se focaliza en encontrar mecanismos o estrategias que permitan lograr un objetivo; y de tipo descriptivo ya que se centra en describir el comportamiento de una o más variables dependientes en una población definida. El enfoque es cuantitativo ya que se utiliza la recolección de datos para comprobar la hipótesis; el diseño es no experimental de corte transversal ya que no se manipulan las variables y el estudio de la población se da en un periodo de tiempo. (Hernández, Fernández y Baptista,2006, p.205).

### 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

**Unidad de estudio:** Roca Caliza

**Población:** Roca caliza de la formación Cajamarca presente en el yacimiento Apan Alto Hualgayoc.

**Muestra:** 4 muestras de roca caliza de la formación Cajamarca presente en el yacimiento Apan Alto Hualgayoc.

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

#### Técnicas

- Observación
- Análisis documental.

#### Instrumento

Los instrumentos utilizados para el estudio son: Cuaderno de campo, fichas de observación y de registro de datos. (Anexo 4)

## Análisis de datos

La interpretación y análisis se realizará en gabinete con las muestras de mano recolectadas en campo y una vez obtenidos los resultados de laboratorio, también se hará uso de softwares como: RocData, Dips, Slide y ArcGis.

## 2.4.Procedimiento

Para la elaboración de este proyecto se ejecutaron tres etapas básicas, las cuales han sido clasificadas como: etapa de gabinete preexperimental, etapa de campo y, de gabinete post experimental.

- **Etapa de gabinete preexperimental**

Esta etapa consistió en la revisión y recopilación bibliográfica de trabajos como tesis e investigaciones relacionados con estudios de roca caliza asociados al contenido de carbonato de calcio.

Tabla 1

*Datos de revisión bibliográfica*

TÍTULO DE ESTUDIO	DOCUMENTO	AUTOR	FECHA DE PUBLICACIÓN
El análisis del potencial geológico de rocas industriales en proyectos de planificación territorial: una revisión.	Artículo de investigación	G. Hernández Durán, J. C. Arranz González y R. de la Vega Panizo.	Diciembre del 2014
Estudio petrográfico del yacimiento de caliza presente	Artículo de investigación	Dino Carmelo Manco Jaraba, Elías Ernesto	Mayo del 2014

en el municipio de la Paz,  
departamento del Cesar.

Rojas Martinez  
y Benito  
Armando  
Gomez.

Caracterización composicional y de resistencia a las calizas explotadas en las minas del Municipio de Bosconia, en el Departamento del Cesar	Artículo de investigación	Maria José Atencio Guerrero y Yassuana Britto López.	Enero del 2019
“Geoquímica de las rocas carbonatadas de la formación El Abra (Actopan), México: implicaciones de condiciones paleoredox y procedencia”	Tesis	Arturo Sandoval Castillo	Abril 2013
“Caracterización geológica y cálculo de volumen de calizas en una zona ubicada al norte de San Sebastián De Los Reyes, Edo Aragua”	Tesis	Carrero Ronny Br y Rivero Rubén	Julio 2013
“Evaluación de calidad de las calizas con fines industriales en la concesión Minera Tres Pirámides, Distrito De Magdalena -Cajamarca 2016”	Tesis	Víctor Gabriel Castillo Rudas y Juan Carlos Chunque Cerquín.	Año 2016

---

Fuente: Elaboración propia.

- **Etapas de campo**

Consistió en cartografiado geológico, muestreo y toma de datos (Rumbo y Azimut)

**Cartografiado geológico:** Se realizó mediante el método de perfiles en el plano geológico a escala (1: 250000) en el cual se levantó la geología a lo largo de una ruta predeterminada a intervalos espaciados de acuerdo al detalle requerido. Necesario para describir las características geológicas.

**Muestreo:** Se realizó mediante el muestreo tipo aleatorio las muestras se tomaron en intervalos de tiempo o espacio variables y distribuidos al azar; se seleccionaron solo 4 muestras ya que las características petrográficas y estratigráficas de la formación Cajamarca son similares en los afloramientos del área de estudio. Necesario para la caracterización geológica y el análisis químico.

**Toma de datos rumbo, azimut:** Los datos se tomaron mediante regla de la mano derecha en familia de discontinuidades. Necesarios para trabajar los programas de RockData, Dips, Slide y ArcGIS.

- **Etapas de gabinete Post experimental**

### **Laboratorio**

En esta etapa se realizó, el análisis químico de las muestras recolectadas en la etapa de campo, todo esto con la finalidad de determinar el porcentaje de carbonato de calcio y minerales contenidos en la roca caliza.

Los ensayos químicos se realizaron en el laboratorio Ingeconsult & Lab S.R.L, Universidad Nacional de Cajamarca, siguiendo procedimientos y el manual de normas utilizados por esta entidad.

### **Oficina**

Se desarrolló la etapa final del trabajo lo cual consistió en lo siguiente:

- El análisis físico y petrográfico de muestras de roca obtenidas en campo se realizó mediante la clasificación de Dunham y Folk (1962) de rocas carbonatadas utilizando instrumentos como rayador, lupa, ácido clorhídrico para analizar dureza, textura y tipo de roca.
- Se realizó el análisis químico de los resultados de las muestras llevadas a laboratorio mediante el programa Excel en el cual se generaron tablas, cuadros y gráficos (Ver Anexo 4), los cuales nos permiten ordenar la información obtenida y de esta forma generar conclusiones pertinentes a esta investigación.
- Mediante el programa Rock Data y Dips se determinó el tipo de rotura que se formara.
- Se realizó el cálculo de factor de seguridad mediante el programa Silde.
- El cálculo de reservas se realizó mediante el programa ArcGIS el cual se señala a continuación.

### **Procedimiento para cálculo de reservas**

Se realizará con tratamiento de datos topográficos del área estudiada, a partir de la toma de muestras de roca caliza utilizando el Software el ArcGIS. El cálculo de reservas de caliza detalla mediante el siguiente procedimiento que abarca cinco pasos:

#### **Paso N°1**

Se generará la red triangular irregular (TIN) a partir de los datos de elevación de las curvas de nivel para lo cual utilizamos la herramienta de geoprocesamiento arctoolbox.

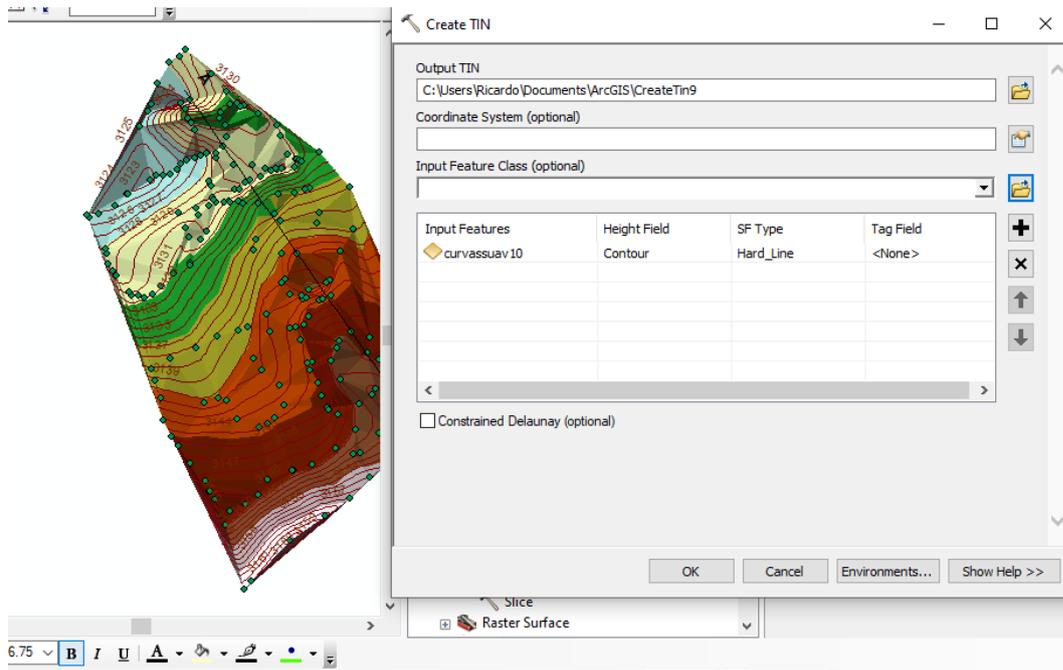


Figura 1. TIN en la que los colores muestran un rango de 09 classes.

## Paso N° 2

Se genera una superficie en la cual la superficie de interés para el cálculo son los valores de Carbonato de Calcio mayores a 90% para lo cual utilizamos la herramienta de geoprocesamiento geoestadístico Kriging.

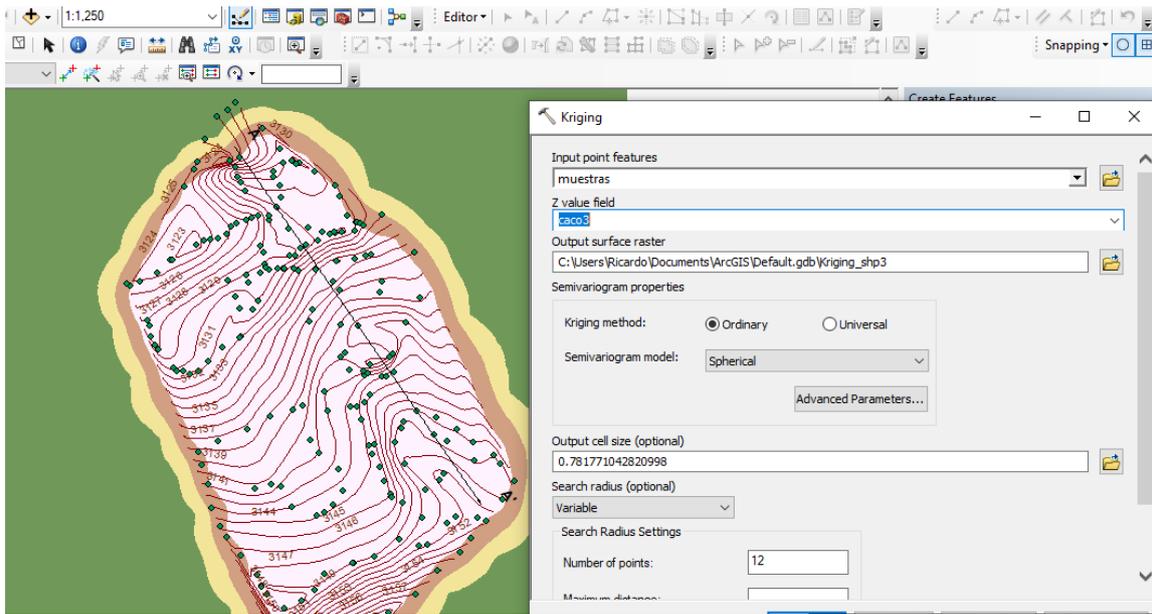


Figura 2. Interpolación Raster que genera 04 rango de colores, el color blanco son los valores de Carbonato de Calcio mayores a 90%.

### Paso N°3

Reclasificamos la imagen Raster para poder convertirlo en formato vectorial la reclasificación se realizará en 04 classes.

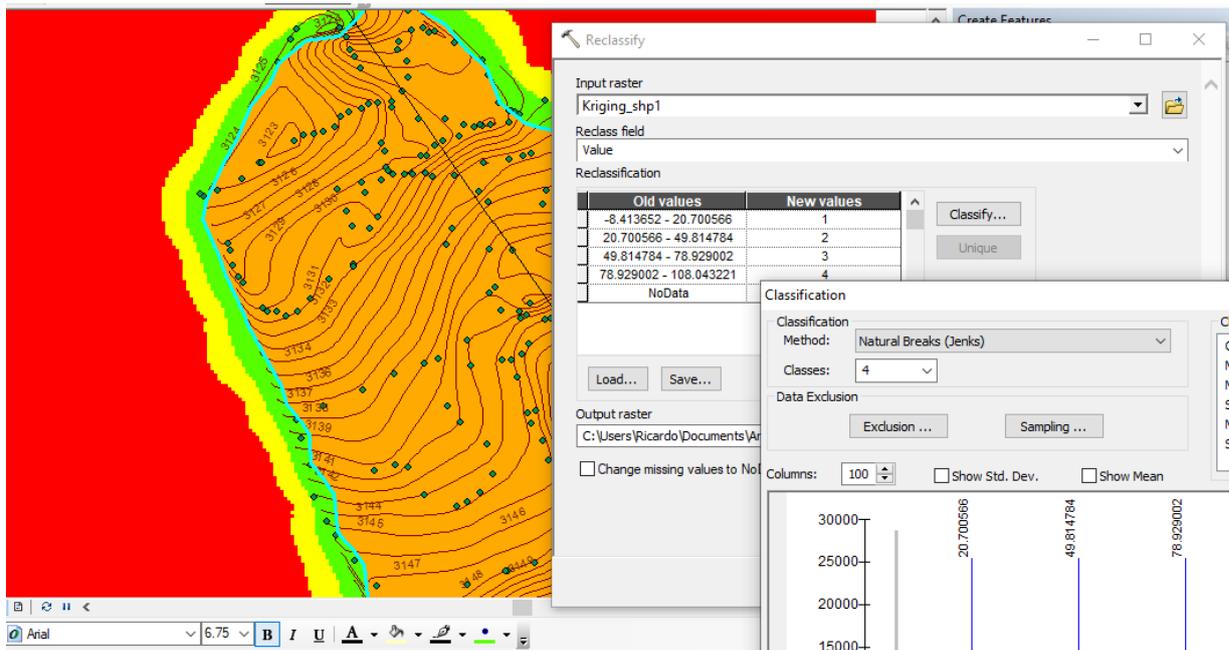


Figura 3. Imagen Raster con campo de valores reclasificados.

#### Paso N°4

Convertimos la superficie Raster a polígono, y solo asignamos un solo valor del campo gridcode correspondiente al polígono la cual es la superficie de interés para realizar la interpolación.

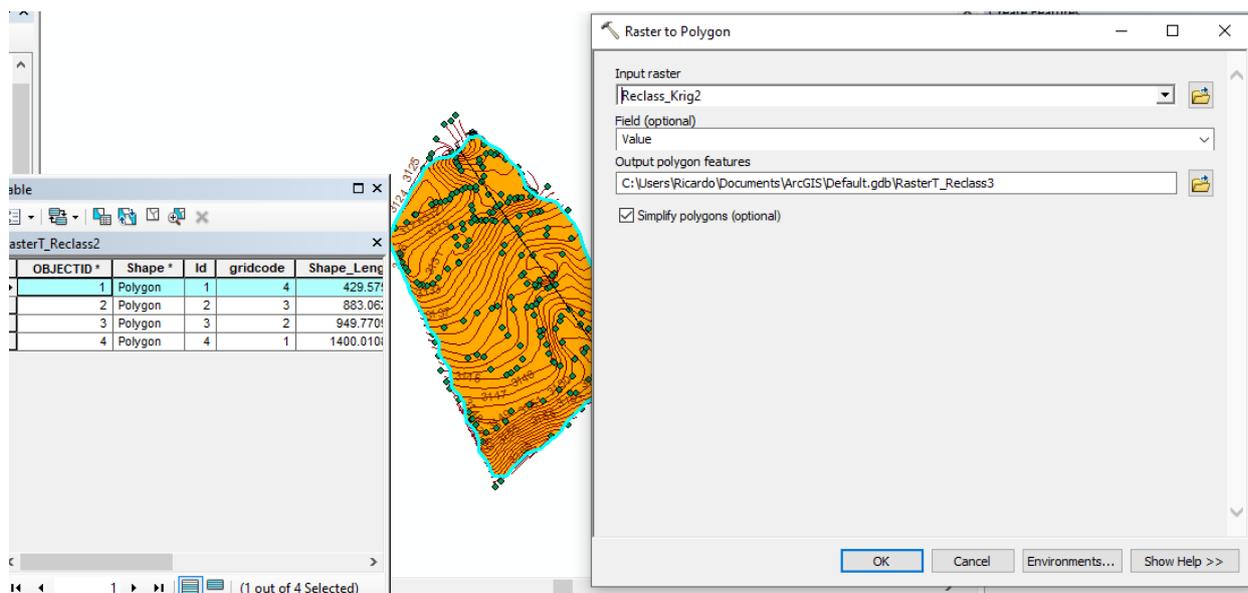


Figura 4. Shapefile del tipo polígono que solo muestra los valores Carbonato de calcio mayores a 90%.

## Paso N°5

Calculamos El volumen mediante la superficie generada y el TIN generado por las elevaciones mediante una interpolación los datos Vectoriales y la red triangular, teniendo en cuenta solo la superficie con altos contenido de carbonato de Calcio.

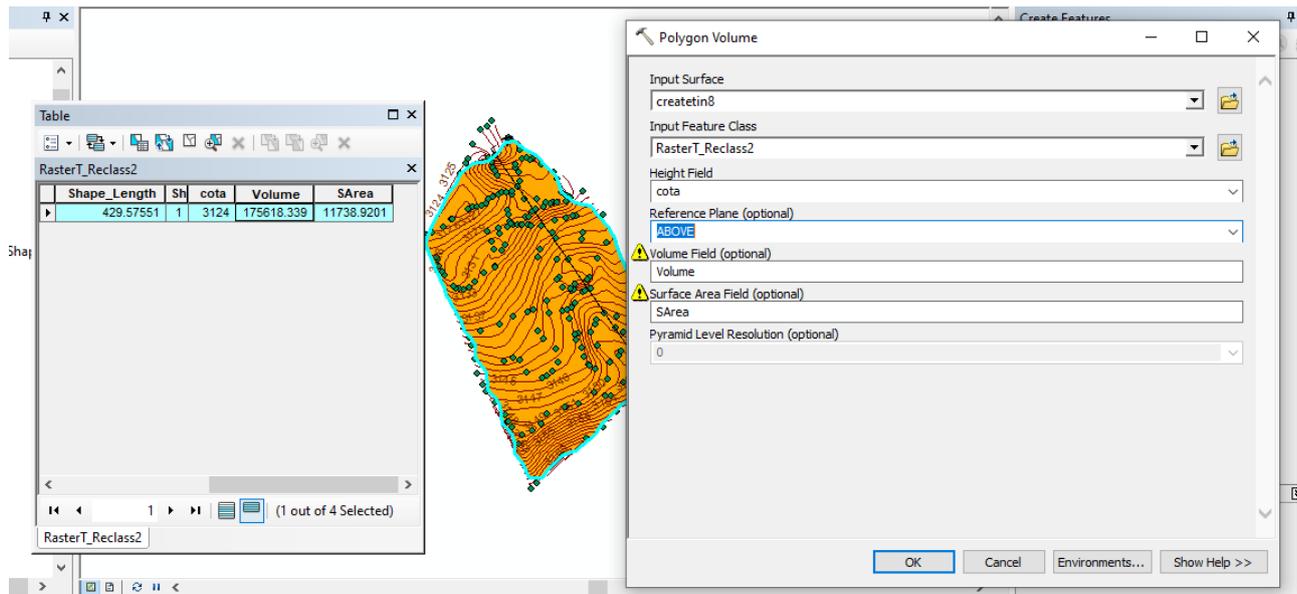


Figura 5. Cálculo de volumen teniendo en cuenta una superficie por encima de la cota base 3124 m.s.n.m

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Aspectos generales

#### 3.1.1. Ubicación

##### **Geográfica:**

El área en estudio está ubicada en el Departamento de Cajamarca, Provincia de Hualgayoc, Centro Poblado Apan Alto.

##### **Política:**

Políticamente se encuentra en:

- Región: Cajamarca
- Provincia: Hualgayoc
- Distrito: Hualgayoc
- Centro poblado: Apan Alto.

Las coordenadas de los vértices de la zona de estudio se especifican en la siguiente

Tabla.

Tabla 2

Vértices de la zona de estudio.

<b>Vértice</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>
V1	767300	9256600
V2	760550	9256600
V3	760550	9256300
V4	767300	9256300

Nota: Se utilizó el sistema de coordenadas UTM-WGS84

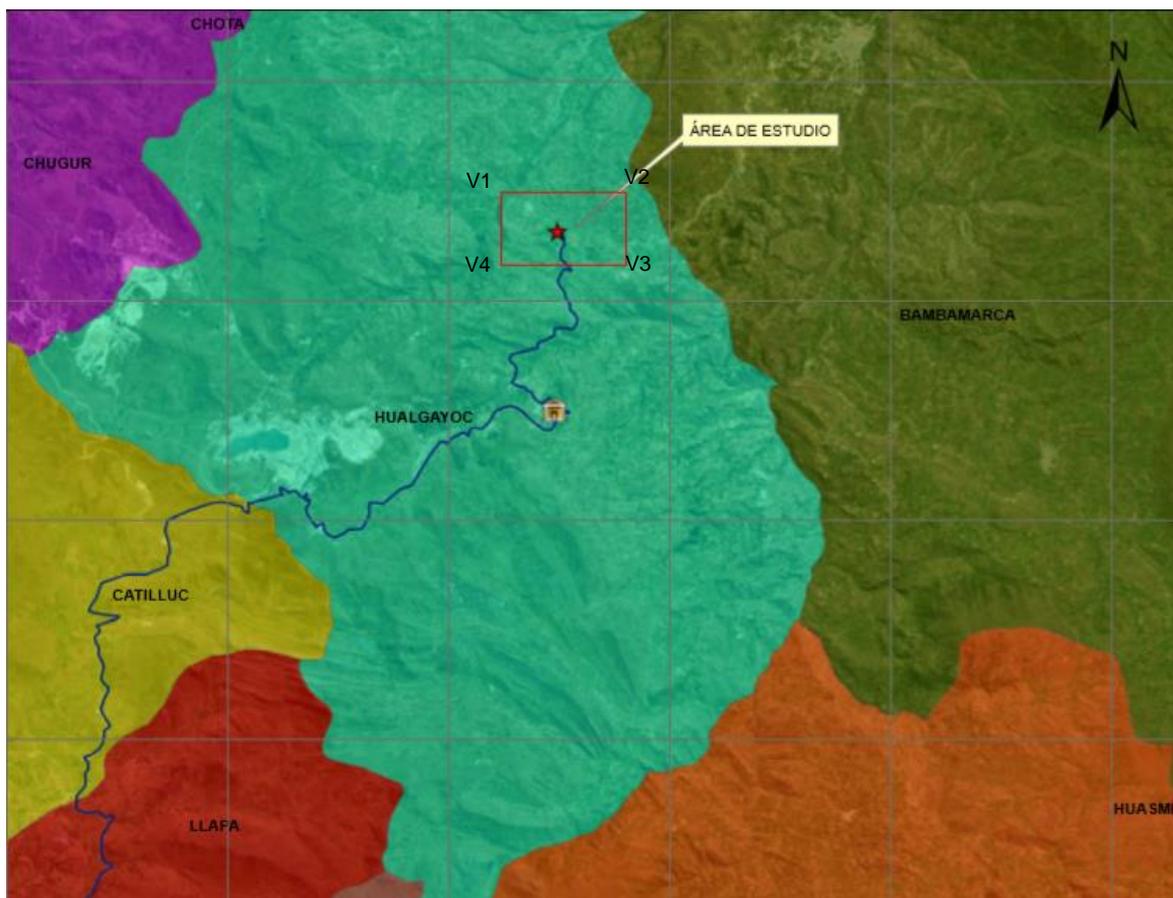


Figura 6. Ubicación de la zona de estudio

### 3.1.2. Accesibilidad

Su acceso está comprendido de la carretera de Cajamarca-Bambamarca vía asfaltada, a unos 5 km de la provincia de Hualgayoc se encuentra el desvío que nos conducirá vía trocha carrozable hacia el Centro Poblado Apan alto.

Tabla 3

*Ruta a la zona de estudio*

Ruta Terrestre	Distancia (Km)	Tiempo (Min)	Vía
Cajamarca - Hualgayoc	88	150	Asfaltada
Hualgayoc- Zona de estudio	5	35	Asfaltada y trocha carrozable

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3. Clima y Vegetación

El clima de la zona estudiada presenta dos estaciones: Estación de lluvias de (noviembre-abril) son cortos, frescos y nublados con temperaturas de  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; estación seca de (abril-noviembre) generalmente es muy frío, y parcialmente nublado entre julio y agosto las temperaturas bajan aún más variando de  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La zona estudiada presenta pastos naturales (grama, eno ,ichu y nudillo), y cultivos (papas, ollucos y ocas).Arboles como pino, eucalipto y aliso.



*Figura 7.* Vegetación en la zona de estudio.

### 3.2. Geología

El cartografiado de las unidades geológicas tomo como base los estándares del INGEMET.

#### 3.2.1. Geomorfología

La geomorfología del área de estudio:

##### Lomadas

En la zona de estudio se describe, una elevación con bajo ángulo del terreno de poca altura, de forma redondeada en su punta a causa de la erosión.

Se describen por ser formaciones geográficas relativamente pequeñas son más bajas en comparación con cerros y montañas y más altas que la llanura. Las lomas adoptan una forma redondeada en su punta a causa de la erosión que tiene mucho más efecto en montañas y cerros.



*Figura 8.* Lomada presente al lado derecho del yacimiento de calizas

## Planicies

Se describen como espacios naturales que constan de relieves bajos o de mínima altitud, con un determinado tipo de vegetación particular para cada ecosistema se encuentran delimitadas por montañas. Se observa pequeñas planicies utilizado en la ganadería y agricultura.



*Figura 9.* Planicie formada en la zona de estudio.

### 3.2.2. Estratigrafía

La estratigrafía local en la zona de estudio está constituida por unidades sedimentarias del Cretácico Inferior y superior como son la Formación Inca, Formación Chulec, Formación Pariatambo, grupo Pullicana, grupo Quilquiñan, y Formación Cajamarca.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	Grosor (m)	LITOLOGIA	DESCRIPCION	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Dep. fluviales y aluviales Dep. lagunares y glaciares			Arenas, gravas. Limos, arcillas.	
		PLEISTOCENO PLIOCENO	Formación Condebamba	150		Conglomerados, areniscas y arcillas rojas.	
			Formación Cajabamba	200		Lutitas, lodolitas, areniscas finas blanco amarillentas.	
	NEOGENO	MIOCENO	Sup.	Formación Bambamarca	300		Tobas dacíticas y traquiandesíticas blanquecinas. Disc. ang.
			Inf.	Grupo Calipuy Formación Porculla	2100		Tobas blanco amarillentas intercaladas con areniscas. rojizas, aglomerados y piroclastos. Dacita
			Intercalación de derrames andesíticos, tobas blanquecinas. areniscas tobáceas y conglomerados lenticulares. Diorita				
			Tobas blanquecinas intercaladas con delgados lechos de areniscas y lutitas tobáceas.				
	PALEOGENO	OLIGOCENO		Formación Llama	600		Derrames y brechas andesíticas.
				Formación Chota	500		Conglomerados con cantos de cuarcita. Disc. ang.
		PALEOCENO		Formación Celendín	200		Conglomerados con cantos de calizas y areniscas rojizas Calizas, margas y lutitas gris amarillentas.
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Formación Cajamarca	600-700		Calizas gris azuladas, macizas, con delgadas intercalaciones de lutitas y margas.	
			Grupo Quilquiñán	500		Calizas nodulares macizas, margas y lutitas pardo-amarillentas fosilíferas.	
			Grupo Pulluicana	700		Calizas gris parduscas, fosilíferas, margas y escasos niveles de lutitas.	
			Formación Pariatambo	150-200		Lutitas grises o negras, calizas bituminosas nodulares.	
			Formación Chulec	200-250		Calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas.	
		INFERIOR	Formación Inca	150		Areniscas calcáreas y limolitas ferruginosas.	
			Formación Farrat	500		Cuarcitas y areniscas blancas.	
			Formación Carhuáz	500		Areniscas rojizas y cuarcitas blancas intercaladas con lutitas grises.	
			Formación Santa	150-100		Lutitas grises y calizas margosas.	
			Formación Chimú	80-600		Areniscas, cuarcitas, lutitas y niveles de carbón en la parte inferior, principalmente cuarcitas en la parte superior.	
	JURASICO	SUPERIOR	Formación Chicama	500		Lutitas negras, laminares y deleznales, con intercalaciones de areniscas grises y horizontes arcillosos. Disc. ang.	
		MEDIO	Formación Oyotún	500		Tobas, brechas y derrames andesíticos. Tonalita/granodiorita	
		INFERIOR	Grupo Pucará	700-800		Calizas gris azuladas, macizas con nódulos silíceos.	
	PALEOZOICO	SUP.	PERMIANO	Grupo Mitu	300		Areniscas, limolitas y conglomerados rojizos. Disc. ang.
		INF.	ORDOVICIANO	Formación Salas	?		Filitas pelíticas y tobáceas de colores marrones y negruzcos con algunas cuarcitas hacia la parte superior. Disc. ang.
PROTEROZOICO			Complejo Olmos	?		Esquistos gris verdosos y anfíbolitas. Disc. ang.	

Figura 10. Columna estratigráfica de la región Cajamarca. (Vásquez, 2011)

### **Formación Inca**

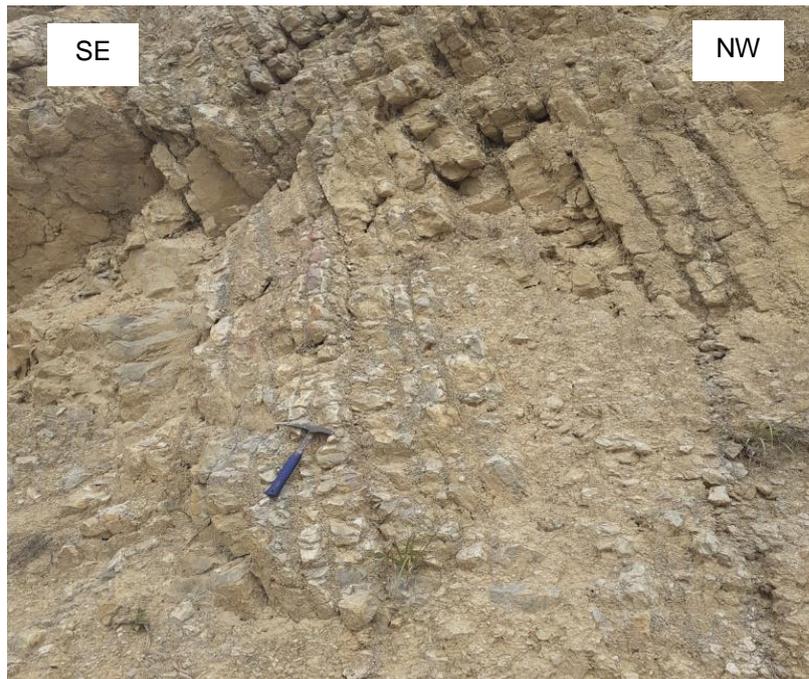
Esta formación consiste en la intercalación de areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas y lechos de cuarcitas, dando en superficie un matiz amarillento, ingrayace a la Formación Chulec. Los macizos rocosos se encuentran fuertemente disturbados. Su grosor no pasa de los 100 m.



*Figura 11.* Areniscas calcáreas formación Inca.

### **Formación Chulec**

Ingrayace a la formación Pariatambo y consiste en una secuencia fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, se observa que han adquirido un color crema-amarillento producto del interperismo. Su aspecto terroso amarillento es característica para distinguirla en el campo. Por otro lado, generalmente los bancos de margas se presentan muy nodulosos y las calizas frescas muestran colores gris parduzcos o algo azulados.



*Figura 12.* Calizas nodulares de la formación Chulec.

### **Formación Pariatambo**

Esta formación consiste en una alternancia de lutitas calcáreas con delgados lechos de calizas bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos dolomíticos. Esta formación yace concordantemente sobre la formación Chuléec e infrayace a la formación Yumagual.



*Figura 13.* Calizas y lutitas calcáreas de la formación Pariatambo.

### Grupo Pulluicana

La formación consiste en una litología predominante de caliza grisácea, que intemperiza a crema o marrón claro, con calizas nodulares e irregularmente estratificadas. Intercaladas con las calizas, hay capas de margas marrones y lutitas grisáceas, así como algunas capas de limonitas y areniscas.



*Figura 14.* Caliza del grupo Pulluicana.

### Grupo Quilquiñan

La formación consiste en una gruesa secuencia de calizas nodulares macizas (miembro Choro), seguida de una intercalación de margas y lutitas amarillentas con abundantes elementostos del género *Exogyra* (miembro Culebra). Continúan delgados lechos de calizas nodulares con margas pardo-amarillentas también fosilíferas (formación Romirón).

Finalmente, bancos de calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas con abundantes fósiles (formación Coñor). (Ribera, 1980)



Figura 15. Calizas, lutitas arenosas y margas del grupo Quilquiñán.

### Formación Cajamarca

Esta formación consiste generalmente de calizas gris oscuras o azuladas y macizas, con delgados lechos de lutitas y margas de los mismos colores. Las primeras se presentan en gruesos bancos con escasos fósiles, a diferencia de las segundas que sí contienen abundante fauna. Esta formación yace concordantemente sobre la formación Quilquiñán.

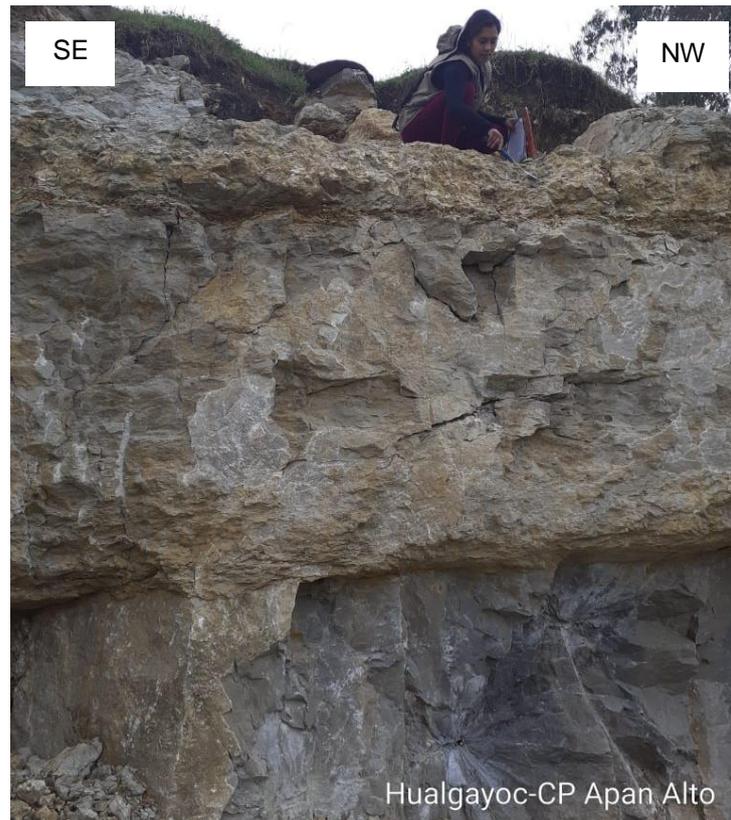


Figura 16. Calizas de la formación Cajamarca.

### 3.3.Hidrogeología

Es importante señalar el efecto del agua en roca caliza y estabilidad de taludes. La importancia radica en el efecto del agua sobre el tipo de roca caliza da origen a un relieve denominado Kárstico. El flujo de agua en roca sedimentaria caliza escurre por los ductos de disolución y a través de las fisuras del terreno infiltra modelando la capa de caliza y dando lugar ríos subterráneos, cenotes, aguadas y cavernas con estalactitas y estalagmitas.

En la estabilidad del talud el agua es un factor determinante. Uno de los trabajos más importantes previos al análisis de estabilidad de talud es el análisis hidrológico. La forma más frecuente de interpretación del efecto del agua es que las lluvias por infiltración, saturan

el talud y la presión de poros, induce a una disminución de la resistencia al cortante, la cual, a su vez, puede activar un deslizamiento.

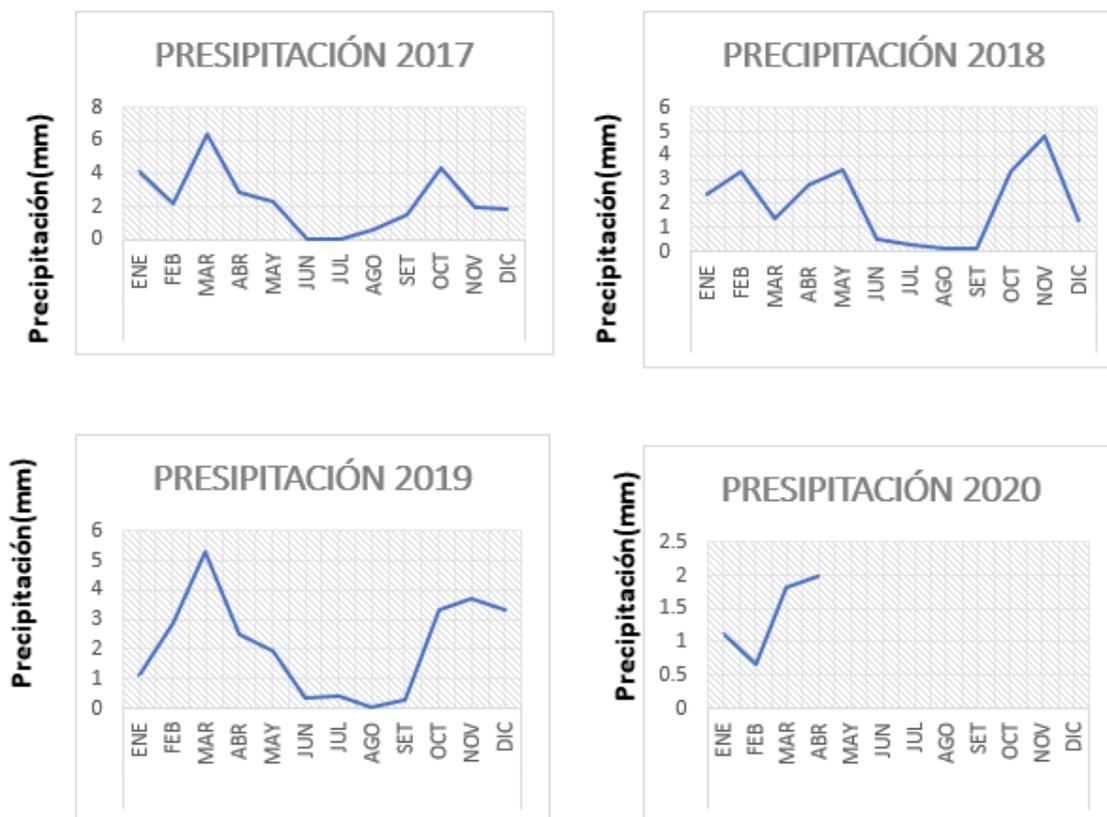
Para entender el efecto de las lluvias obtuvo la data de precipitaciones cercana a la zona de trabajo entre el año 2017 y 2020 de la Estación Meteorológica (Estación: Bambamarca), ubicada por el SENAMHI en el distrito de Bambamarca, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

*Precipitaciones entre el año 2017 al 2020 cercanas a la zona en estudio.*

Año/Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
2017	4.09	2.2	6.4	2.8	2.3	0	0	0.6	1.5	4.3	2	1.8
2018	2.4	3.3	1.4	2.8	3.4	0.5	0.27	0.1	0.15	3.3	4.8	1.3
2019	1.09	2.9	5.3	2.5	1.9	0.32	0.41	0	0.28	3.3	3.71	3.29
2020	1.1	0.67	1.8	1.97								

Fuente: Estación Meteorológica Bambamarca -SENAMHI.



*Figura 17.* Datos de precipitaciones tomado de la Estación Meteorológica Bambamarca -SENAMHI (2017-2020).

### 3.4. Geotecnia

La caracterización geológica-geotécnica es el punto de partida en el desarrollo de los análisis geotécnicos, las cuales tiene características típicas en lo referente a la calidad del macizo rocoso y su condición y características estructurales.

Cabe indicar que la caracterización geológico-geotécnica y estructural del macizo rocoso es importante para poder evaluar adecuadamente las propiedades geotécnicas del macizo rocoso y sus estructuras, así como también el comportamiento probable del macizo rocoso.

De esta forma obtener el factor de seguridad, mediante el análisis de estabilidad, realizado con el software Slide v7.0.

### 3.5. Análisis Petrográfico

Se realizó las clasificaciones de rocas carbonáticas según Dunham y Folk (1962).

En el yacimiento Apan Alto se encuentra afloramientos que están compuesto por roca caliza soportada por lodo carbonatico (Mudstone). Micrita compuesta por más del 90% de matriz micritica color gris claro y con un contenido menor al 10% de componentes. Los pocos componentes presentes en la muestra son todos menores a 2 mm. Se le realizó la descripción petrográfica de acuerdo a los criterios de selección de muestras para tales estudios.

Tabla 5

*Coordenadas de toma de muestras de roca caliza*

<b>Punto</b>	<b>Coordenadas de ubicación de muestras</b>		<b>Provincia</b>	<b>Centro Poblado</b>
	Este	Norte		
<b>1</b>	767505	9256573	Hualgayoc	Apan Alto
<b>2</b>	767492	9256567	Hualgayoc	Apan Alto
<b>3</b>	767508	9256570	Hualgayoc	Apan Alto
<b>4</b>	767516	9256576	Hualgayoc	Apan Alto

Nota: Se utilizo el sistema de coordenadas UTM-WGS84

Tabla 6

*Clasificación Petrográfica Muestra N°1 de caliza*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Formación	Cajamarca
Clase	Sedimentaria
Grupo	Carbonatos
Dureza	3
Color	gris claro
Minerales	Calcita
textura	Micritica
Tipo	Mudstone
Ambiente de formación	Hídrico- Biológico
Nombre de la roca	Caliza
Imagen	



Nota: La descripción de la muestra se realizó a escala macroscópica

Tabla 7

*Clasificación Petrográfica Muestra N°2 de caliza*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Formación	Cajamarca
Clase	Sedimentaria
Grupo	Carbonatos
Dureza	3
Color	gris claro
Minerales	Calcita
textura	Micritica
Tipo	Mudstone
Ambiente de formación	Hídrico- Biológico
Nombre de la roca	Caliza
Imagen	



Nota: La descripción de la muestra se realizó a escala macroscópica

Tabla 8

*Clasificación Petrográfica Muestra N°3 de caliza*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Formación	Cajamarca
Clase	Sedimentaria
Grupo	Carbonatos
Dureza	3
Color	gris oscuro
Minerales	Calcita
textura	Micritica
Tipo	Mudstone
Ambiente de formación	Hidrico- Biológico
Nombre de la roca	Caliza
Imagen	



Nota: La descripción de la muestra se realizó a escala macroscópica

Tabla 9

*Clasificación Petrográfica Muestra N°4 de caliza*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Formación	Cajamarca
Clase	Sedimentaria
Grupo	Carbonatos
Dureza	3
Color	gris claro
Minerales	Calcita
textura	Micritica
Tipo	Mudstone
Ambiente de formación	Hídrico- Biológico
Nombre de la roca	Caliza
Imagen	



Nota: La descripción de la muestra se realizó a escala macroscópica

### 3.6. Análisis químico

Tabla 10

*Muestra N°1: Composición química de roca caliza del yacimiento Apan Alto*

Determinación Química						
Resultados%	CaCO <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	96.50	83.20	0.091	0.40	1.67	0.74

Fuente: Ingeconsult & Lab S.R.L, Universidad Nacional de Cajamarca.

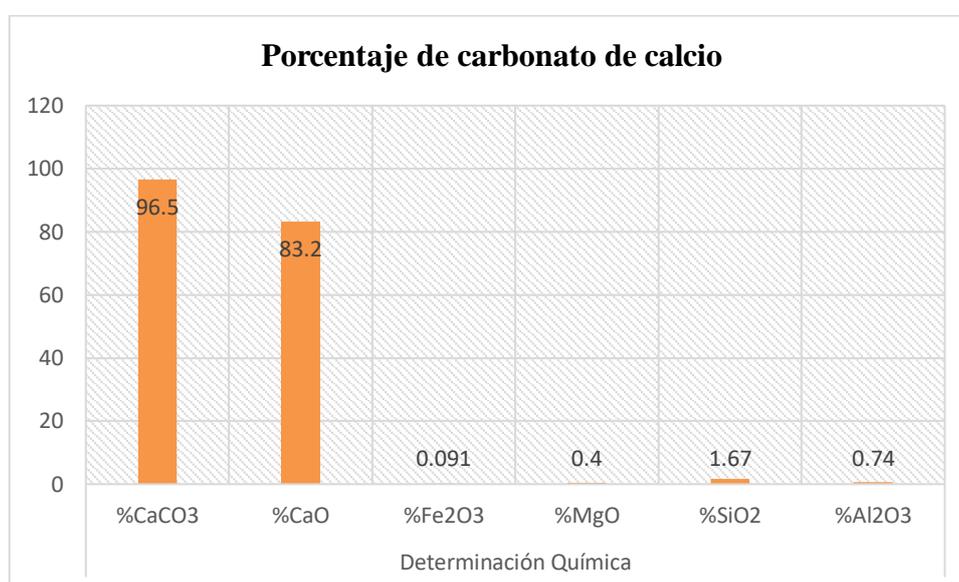


Figura 18. Muestra N°1: Composición química de roca caliza del yacimiento Apan Alto.

Tabla 11

*Muestra N°2: Composición química de roca caliza del yacimiento Apan Alto*

Determinación Química						
Resultados%	CaCO <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	97.20	84.30	0.092	0.42	1.65	0.74

Fuente: Ingeconsult & Lab S.R.L. Universidad Nacional de Cajamarca.

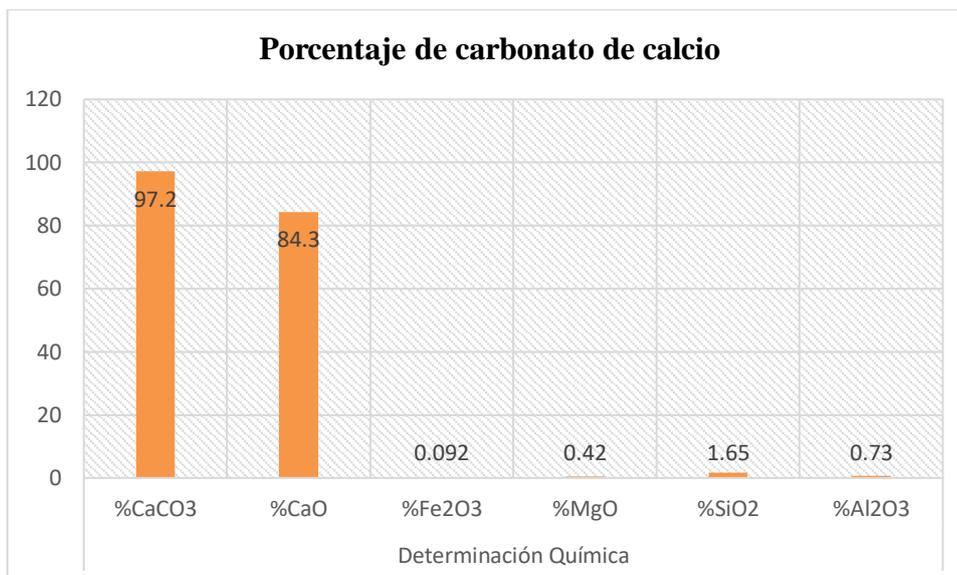


Figura 19. Muestra N°2: Composición química de roca caliza del yacimiento Apan Alto.

Tabla 12

Muestra N°3: Composición química de roca caliza del yacimiento Apan Alto

<b>Determinación Química</b>						
<b>Resultados%</b>	CaCO <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	97.9	84.10	0.092	0.39	1.66	0.72

Fuente: Ingeconsult & Lab S.R.L. Universidad Nacional de Cajamarca.

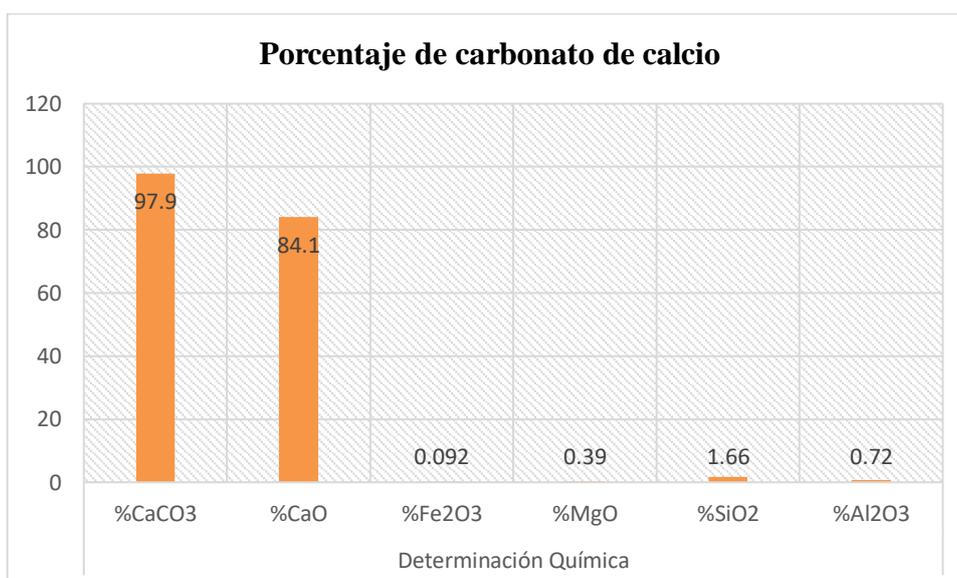


Figura 20. Muestra N°3: Composición química de roca caliza del yacimiento Apan Alto.

Tabla 13

*Muestra N°4: Composición química de roca caliza del yacimiento Apan Alto*

Resultados%	Determinación Química					
	CaCO <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	96.8	82.2	0.089	0.41	1.68	0.71

Fuente: Ingeconsult & Lab S.R.L. Universidad Nacional de Cajamarca.

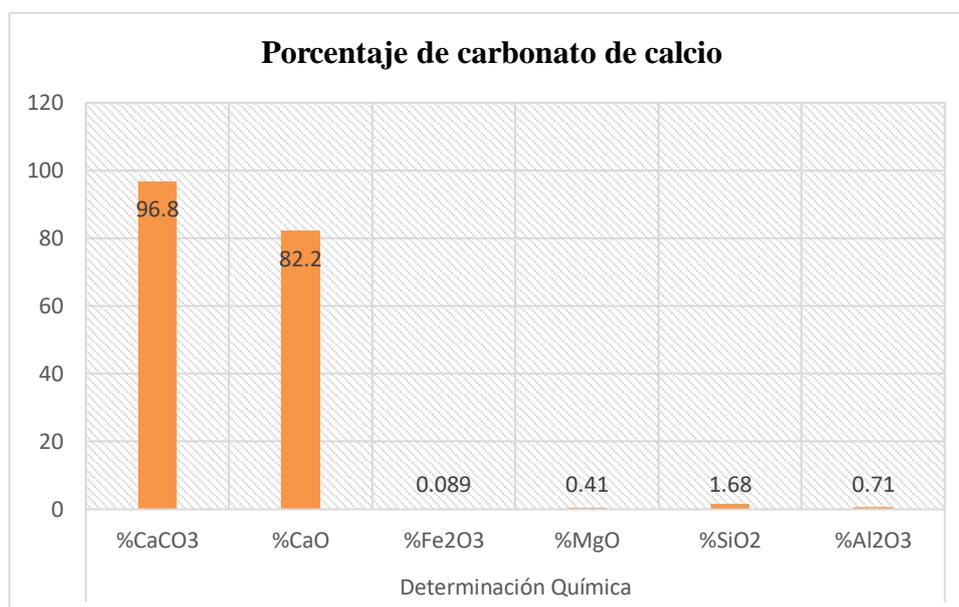


Figura 21. Muestra N°4: Composición química de roca caliza del yacimiento Apan Alto.

Tabla 14

*Composición química promedio de roca caliza del yacimiento Apan Alto*

Código Muestra	Determinación Química					
	%CaCO <sub>3</sub>	%CaO	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%MgO	%SiO <sub>2</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Muestra 1	96.5	83.2	0.091	0.4	1.67	0.74
Muestra 2	97.2	84.3	0.092	0.42	1.65	0.73
Muestra 3	97.9	84.1	0.092	0.39	1.66	0.72
Muestra 4	96.8	82.2	0.089	0.41	1.68	0.71
<b>PROMEDIO</b>	97.1	83.45	0.091	0.405	1.665	0.725

Fuente: Ingeconsult & Lab S.R.L. Universidad Nacional de Cajamarca.

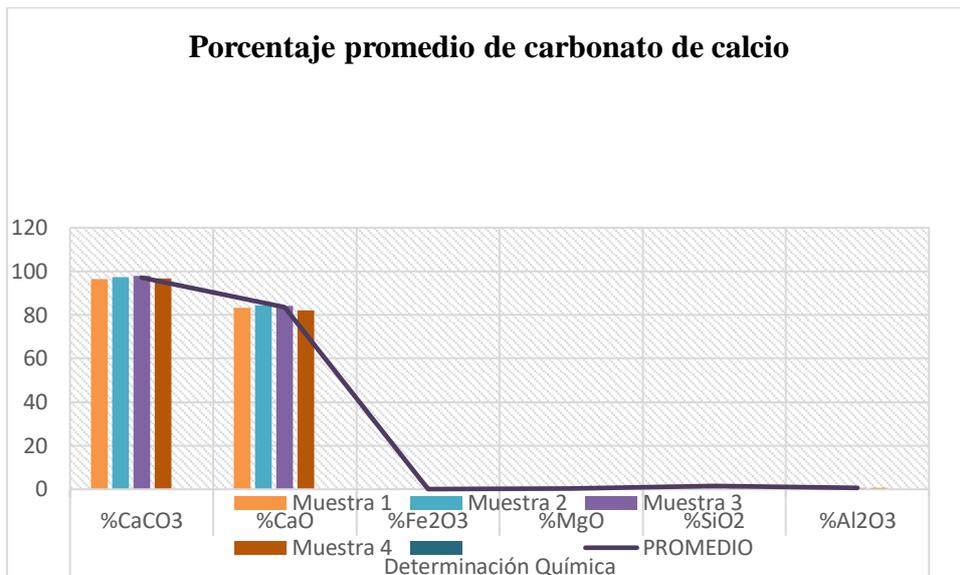


Figura 22. Porcentaje promedio de carbonato de calcio -Yacimiento Apan Alto.

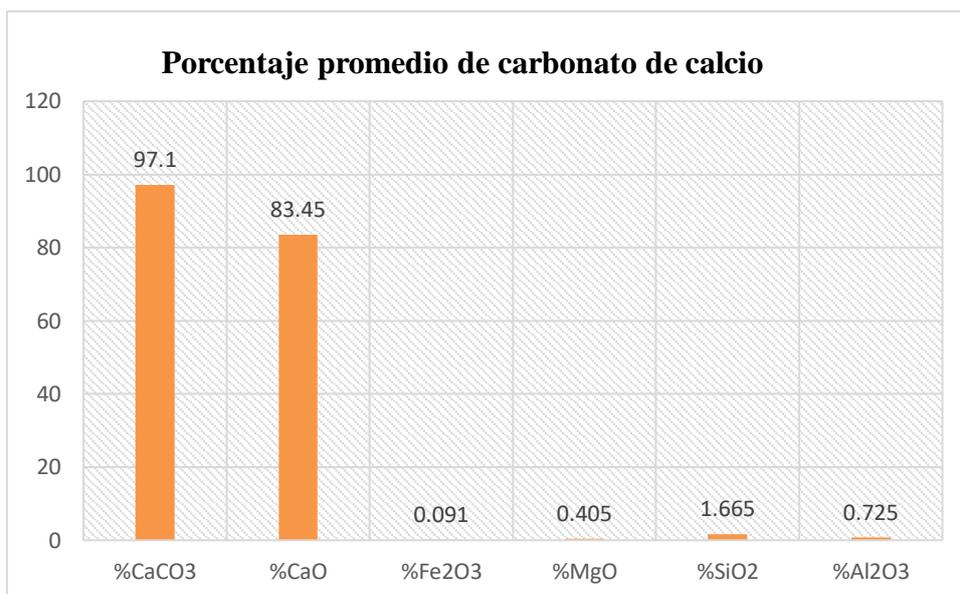


Figura 23. Porcentaje promedio de carbonato de calcio -Yacimiento Apan Alto.

### 3.7. Cálculo de reservas

De acuerdo al geoprocesamiento de la data se tiene los siguientes resultados:

Tabla 15

*Cálculos mediante el geoprocesamiento de data.*

Carbonato de calcio	
área m <sup>2</sup>	volumen m <sup>3</sup>
11738	175618.34

Nota: Los datos fueron obtenidos del software ArcGIS.

Cálculo del Tonelaje:

Ecuación 1. Cálculo de volumen.

$$Tn = V_T * \rho_{caliza}$$

$$Tn = V_T * \rho_{Caliza} = 175618.34 \text{ m}^3 \times 2.5 \frac{tn}{m^3}$$

$$= 439045.8 \text{ TM}$$

### 3.8. Diseño de talud para la explotación

#### 3.8.1. Clasificación geomecánica

Para la obtener los parámetros geomecánicos de la formación Cajamarca presente en el área de estudio se utilizó el software RocData v5.0, aplicando el Criterio Generalizado de Hoek-Brown para rocas.

Se obtuvo el índice de resistencia geológica (GSI), para evaluar la calidad del macizo rocoso en función del grado de fracturación y las características de la meteorización es de 75, el macizo rocoso presento 03 Familias de discontinuidades, con un espaciado promedio de 1 metro para las 02 familias J1 y J2 de Fracturas y para la estratificación (S), además presenta una ligera meteorización de la roca.



Figura24. Macizo rocoso con 03 Familias de discontinuidades.

Tabla 16

*Propiedades geomecánicas de la formación Cajamarca*

PROPIEDADES GEOMECANICAS DE LA FORMACION CAJAMARCA						
Datos de entrada (RocData)				Parámetros de salida		
		Peso U.	0.24		Mb	2.025
Sigci ( $\sigma$ )	75000 kPa	Altura del talud	28 m	Criterio Hoek-Brown	s	0.0267
GSI	75				a	0.501
Mi	8				c	4666.613 kPa
D	0.7	Roca	Caliza	Mohr-Coulomb	$\phi$	31.74°

Nota: Datos obtenidos del software RocData

### 3.8.2. Análisis mediante el software Dips.

El análisis se realizó mediante el software DIPS V6.0, el cual nos brinda información estructural acerca de las características primarias de una discontinuidad, representada estereográficamente; obteniendo la representación de polo, contornos, planos mayores y discontinuidades en general, basados en su orientación (rumbo y buzamiento de las discontinuidades o al azimut del buzamiento de las mismas). Los datos tomados en campo

son representados por concentraciones de polos, a partir de los cuales se puede establecer el número de familias de discontinuidades que afectan al macizo rocoso.

Tabla 17

*Datos de campo*

<b>DIP</b>	<b>DIP- DIRECTION</b>	<b>SET</b>	<b>TIPO</b>
72	20	3	S
70	22	3	S
74	19	3	S
71	23	3	S
73	17	3	S
78	280	2	J1
76	285	2	J1
74	278	2	J1
79	286	2	J1
75	279	2	J1
30	205	1	J2
28	208	1	J2
32	200	1	J2
33	204	1	J2
27	210	1	J2

Nota: Datos procesados en el software Dips.

### Análisis de Falla Planar

Utilizando como criterio el cono de fricción, la envolvente del talud y límites laterales de +- 20. Se aprecia que en ninguna de las discontinuidades se produce la falla del tipo planar debido a las características de orientación del macizo rocoso.

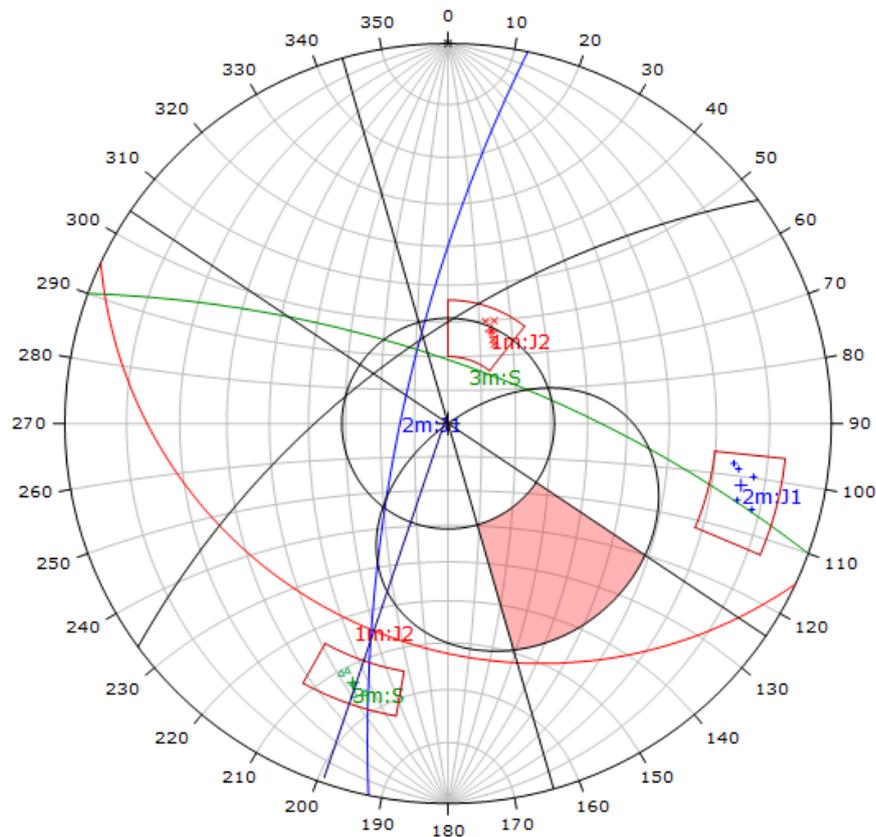


Figura 25 .Grafica de análisis estereográfico, falla planar.

Symbol	DESCRIPCION	Quantity
+	J1	5
×	J2	5
△	S	5

<b>Kinematic Analysis</b>	Planar Sliding		
<b>Slope Dip</b>	65		
<b>Slope Dip Direction</b>	324		
<b>Friction Angle</b>	31°		
<b>Lateral Limits</b>	20°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Planar Sliding (All)	0	15	0.00%

<b>Plot Mode</b>	Pole Vectors
<b>Vector Count</b>	15 (15 Entries)
<b>Hemisphere</b>	Lower
<b>Projection</b>	Equal Angle

Figura 26. Valores de ángulo de fricción y del talud, con probabilidad de 0% de deslizamiento planar.

### Análisis de Falla en Cuña

Utilizando como criterio el cono de fricción, y el talud sin límites laterales. Se aprecia que las intersecciones de las discontinuidades tienen una probabilidad muy baja y por las características de orientación del macizo rocoso no se produce falla en cuña.

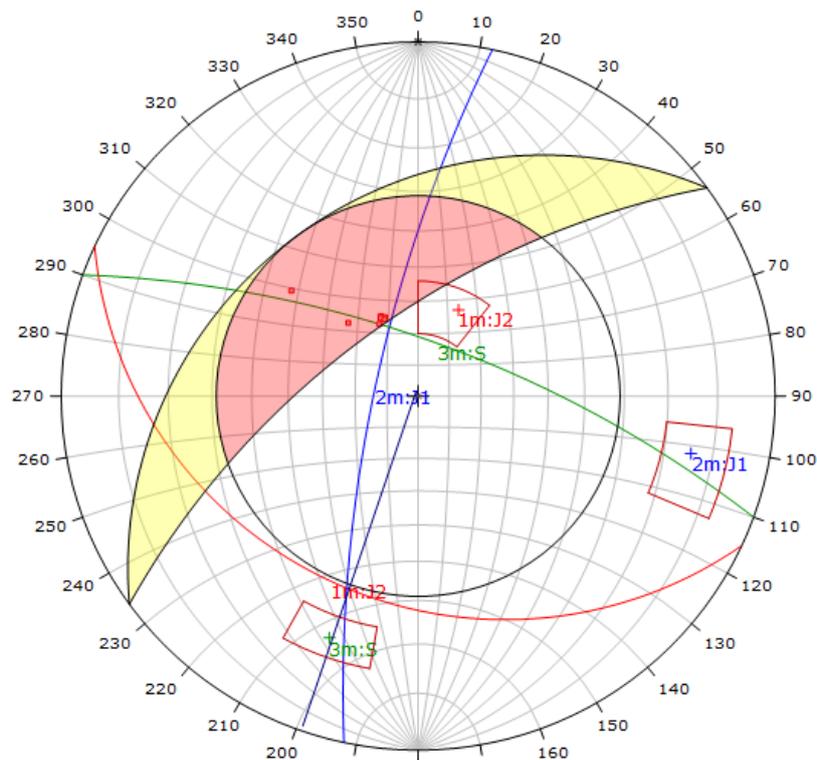


Figura 27. Grafica de análisis estereográfico, falla cuña.

Symbol	Feature
□	Critical Intersection

<b>Kinematic Analysis</b>	Wedge Sliding
<b>Slope Dip</b>	65
<b>Slope Dip Direction</b>	324
<b>Friction Angle</b>	31°
	<b>Critical</b> <b>Total</b> <b>%</b>
Wedge Sliding	7   105   6.67%

	Color	Trend	Plunge	Label
<b>Mean Set Planes</b>				
1m	■	25	60	J2
2m	■	102	14	J1
3m	■	200	18	S

<b>Plot Mode</b>	Pole Vectors
<b>Vector Count</b>	15 (15 Entries)
<b>Intersection Mode</b>	Grid Data Planes
<b>Intersections Count</b>	105
<b>Hemisphere</b>	Lower
<b>Projection</b>	Equal Angle

Figura 28 .Valores de ángulo de fricción y del talud, con probabilidad de 6.67% de deslizamiento en cuña.

### Análisis de Falla vuelco

Utilizando como criterio límites laterales de  $\pm 20$  , y la envolvente del talud. Se aprecia que ninguna de las familias es favorable para producirse la falla en vuelco debido a las características de orientación del macizo rocoso.

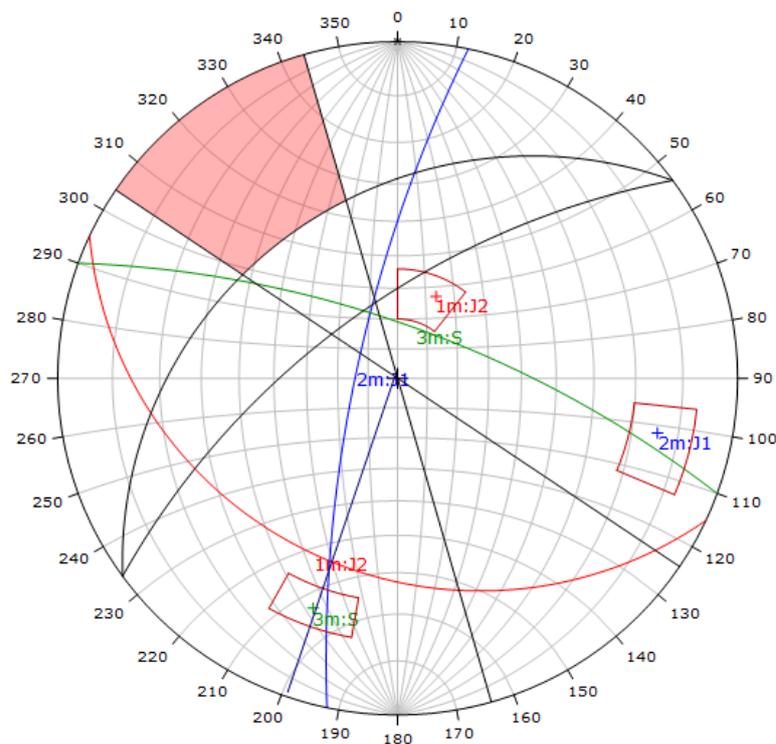


Figura 29.Grafica de análisis estereográfico, falla vuelco.

<b>Kinematic Analysis</b>	Flexural Toppling		
<b>Slope Dip</b>	65		
<b>Slope Dip Direction</b>	324		
<b>Friction Angle</b>	31°		
<b>Lateral Limits</b>	20°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Flexural Toppling (All)	0	15	0.00%
	<b>Color</b>	<b>Trend</b>	<b>Plunge</b>
			<b>Label</b>
<b>Mean Set Planes</b>			
1m	■	25	60
2m	■	102	14
3m	■	200	18
	<b>Plot Mode</b>	Pole Vectors	
	<b>Vector Count</b>	15 (15 Entries)	
	<b>Hemisphere</b>	Lower	
	<b>Projection</b>	Equal Angle	

Figura 30. Valores de ángulo de fricción y del talud, con probabilidad de 0 % de deslizamiento por vuelco.

### 3.8.3. Análisis de estabilidad

#### Análisis de Sismicidad en condiciones Pseudoestáticas

##### Sismicidad

Los sismos son fenómenos naturales causados por movimientos de las fallas geológicas en la corteza terrestre. Al moverse las fallas, se producen ondas de diferentes tipos y de gran poder, las cuales viajan a través de las rocas y pueden activar deslizamientos de tierra. En el caso de un sismo, existe el triple efecto de aumento del esfuerzo cortante, disminución de la resistencia por aumento de la presión de poros y deformación, asociados con la onda sísmica; pudiéndose llegar a la falla al cortante y hasta la licuación en el caso de los suelos granulares saturados. (Suárez, 2009)

## Zonas Sísmicas del Perú

El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).

### Proyecto de Norma E 030, 2014

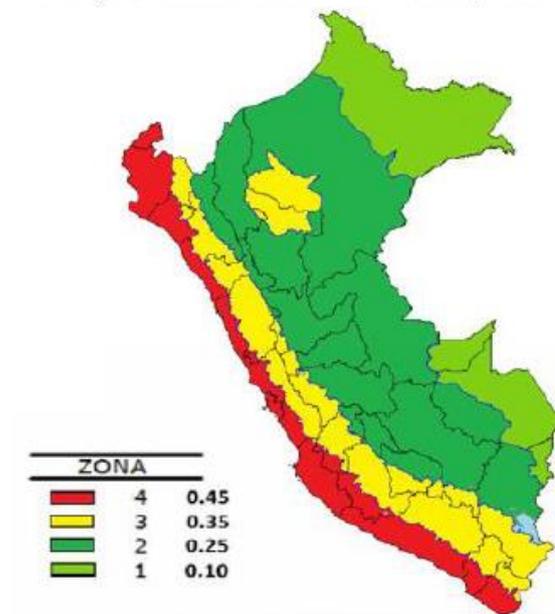


Figura 31. Zonas sísmicas del Perú. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).

## Coefficiente de sismicidad

El coeficiente de Sismicidad fue calculado para un tiempo de operación de obra de 50 años y un periodo de retorno de 475 años, según la ubicación del talud con las siguientes coordenadas UTM:

Tabla 18

*Coordenadas de ubicación del talud del Yacimiento Apan Alto.*

<b>Ubicación</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>
Apan Alto	9256570	767500

Nota: Se utilizó el sistema de coordenadas UTM-WGS84

Ecuación 2 cálculo de coeficiente de sismicidad

$$Q = -Exp(-TO/TR)$$

PE = Probabilidad de Excedencia.

PO = Periodo de Operación en años.

TO = Tiempo de Retorno en años.

#### **3.8.4. Análisis de factor de seguridad**

Analizaremos el factor de seguridad para el talud mediante análisis de secciones pseudoestáticas. El procesamiento se realizó con el software Slide v7.0, mediante el método de equilibrio limite Spencer ya que es el método con más capacidad de análisis y criterios sumamente reales que conlleva a un análisis más confiable en criterios de talud, además donde se da el equilibrio de fuerzas y equilibrio de momentos. Para esto tendremos en cuenta los datos de resistencia a la compresión uniaxial, Peso unitario, los valores de mb y S de la caliza presente en el talud.

### Condiciones Pseudoestáticas

Para las secciones de análisis se utilizaron los datos de Resistencia a la compresión uniaxial, Peso unitario, los valores de  $m_b$  y  $S$  de la caliza presente en el talud, y un coeficiente de sismicidad de 0.2289, teniendo en consideración la estación de control geotécnico.

### Análisis Pseudoestático 1° Etapa de Explotación

La primera etapa de explotación se realiza por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 2.51 para condiciones pseudoestáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2289 y un coeficiente vertical de 0.

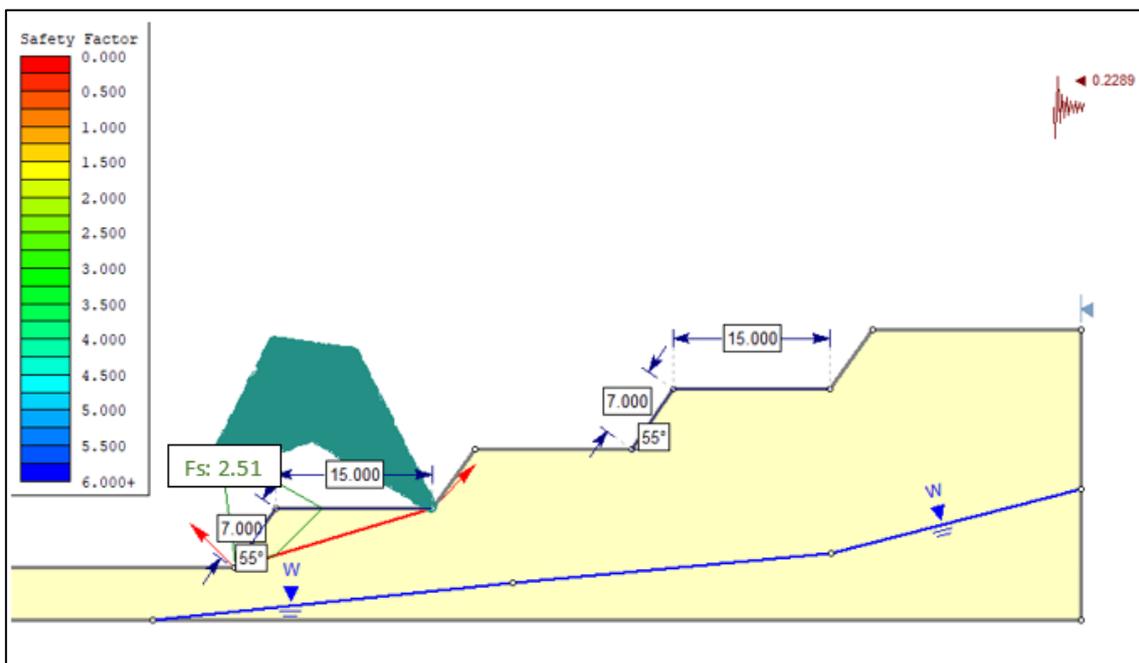


Figura 32. Análisis del Factor de Seguridad en la primera etapa de explotación.

### Análisis Pseudoestático 2° Etapa de Explotación

en la segunda etapa de explotación por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud estable con un Factor de seguridad de 2.06 para condiciones pseudoestáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2289 y un coeficiente vertical de 0.

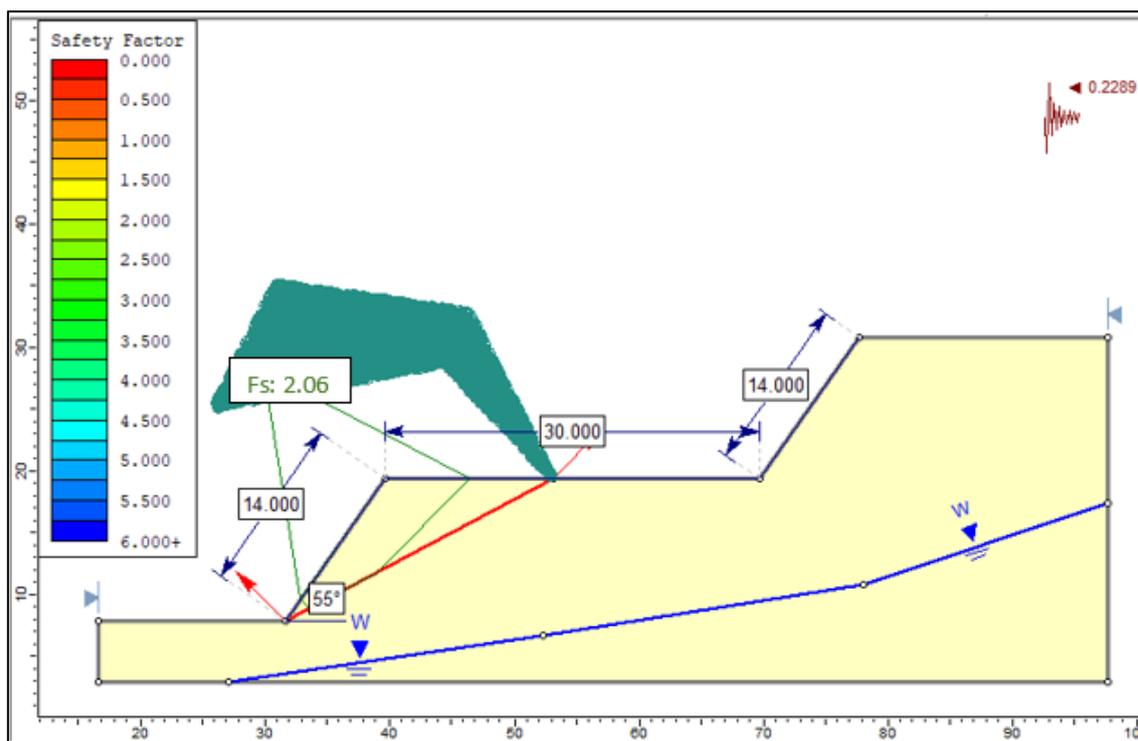


Figura 33. Análisis del Factor de Seguridad en la segunda etapa de explotación.

### Análisis Pseudoestático 3° Etapa de Explotación

en la tercera etapa de explotación por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud estable con un Factor de seguridad de 1.62 para condiciones pseudoestáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2289 y un coeficiente vertical de 0.

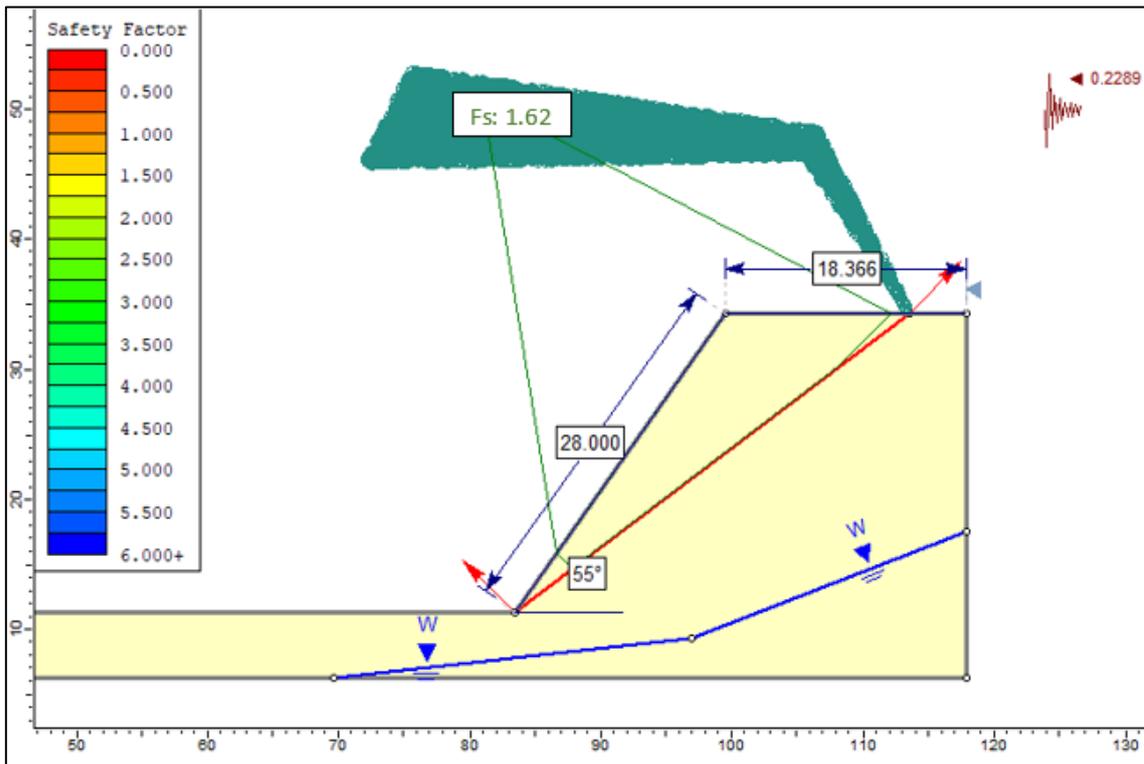


Figura 34. Análisis del Factor de Seguridad en la tercera etapa de explotación.

Tabla 19

Resultado de factores de seguridad método Spencer.

Etapa de Explotación	Condición	Factor de Seguridad
1°	Pseudoestático	2.51
2°	Pseudoestático	2.06
3°	Pseudoestático	1.62
<b>PROMEDIO</b>		<b>2.063333333</b>

Nota: Los datos se obtuvieron mediante el software Slide.

### 3.8.5. Diseño de banco

Para el estudio en la explotación de la caliza se realizará por el método de tajo abierto, tipo cantera, utilizando tres etapas con bancos de explotación de acuerdo a la topografía original del área de trabajo.

- Primera etapa: Los bancos se realizarán de 7 m de altura, con ancho de plataforma de 15 m y con ángulo de talud de trabajo de 55°.
- Segunda etapa: Los bancos se realizarán de 14 m de altura, con ancho de plataforma de 30 m y con ángulo de talud de trabajo de 55°.
- Tercera etapa: Los bancos se realizarán de 28 m de altura, con ancho de plataforma de 18 m y con ángulo de talud de trabajo de 55°.

Se obtienen estos datos de la geomecánica, además de la estabilidad geotécnica que necesitan los tajos. Primero se retira el material estéril (top soil), luego se realizará la perforación de manera descendente, iniciando a extraer la parte superior del tajo, hacia abajo, según la programación, se justifica este método descendente debido a la topografía del área de explotación.

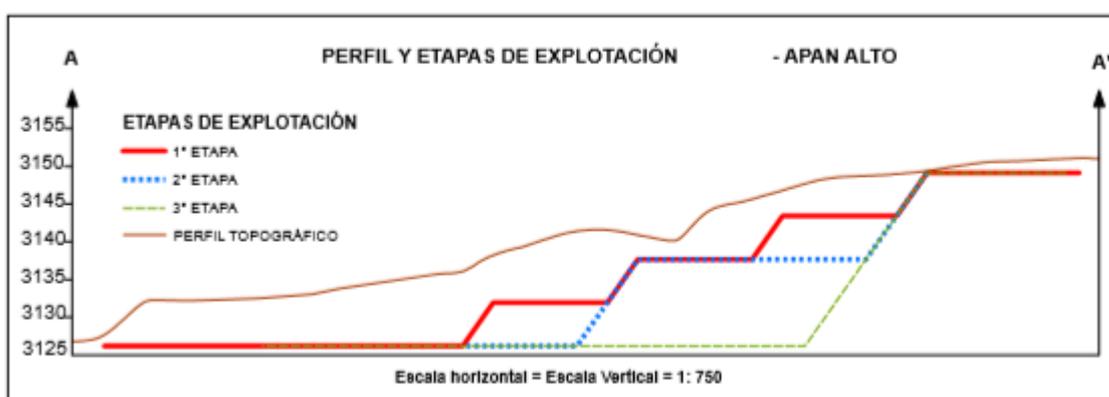


Figura 35. Etapas de explotación de caliza a cielo abierto

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

El estudio geológico en el yacimiento Apan alto Hualgayoc, proporciona información útil del potencial de carbonato de calcio existente, ya que al realizar la investigación se determina que la roca caliza encontrada en el yacimiento presenta un valor mínimo de 96.50%, un valor máximo de 97.90% y en promedio de 97.1% de  $\text{CaCO}_3$ . Por lo que la hipótesis ha sido contrastada y verificada.

Al describir las características geológicas mediante cartografiado en el yacimiento Apan Alto Hualgayoc, sólo se evidencia la formación Cajamarca compuesta por calizas que presentan un porcentaje de 97.1% de  $\text{CaCO}_3$  con los resultados obtenidos se da a conocer que la roca caliza es potencialmente explotable. Tiene relación con el estudio de (Guevara y Orrilla, 2019) en el cual comprobaron mediante cartografiado geológico que las calizas de la formación Cajamarca contienen 90.87% de  $\text{CaCO}_3$  y estas son óptimas para su extracción por su alto contenido de carbonato de calcio presente en la roca.

Al realizar la caracterización petrográfica de las muestras tomadas en el área de estudio, se concluye que la calidad es buena, ya que de acuerdo a sus características físicas se clasifican en rocas calizas tipo Mudstone con carbonato de calcio óptimos. Estos resultados concuerdan con los autores (Castillo y Chunque, 2016) ya que acorde a su investigación señalan que las características petrográficas de roca caliza de tipo Mudstone, Packstone y Wackestone son de buena calidad por contener carbonatos de calcio óptimos.

Del cálculo de potencial de carbonato de calcio y diseño de explotación, las reservas estimadas de acuerdo al carbonato de calcio son 439045.8 toneladas métricas y el diseño de explotación se realizará a cielo abierto mediante bancos. Guarda relación al estudio de (Castillo y Chunque,2016) ya que realizan el cálculo de reservas y el diseño de explotación en la concesión minera tres Pirámides de acuerdo al carbonato de calcio obteniendo 687 589 Toneladas métricas y un diseño de explotación a cielo abierto mediante bancos.

La limitación que se presentó para la investigación fue el no contar con equipos para poder realizar la descripción microscópica y conocer mejor las características de la roca caliza.

Se recomienda ampliar el número de muestras de roca caliza con el fin de mejorar los datos y poder confirmar con mayor exactitud la cantidad de carbonatos presentes en la roca en yacimiento Apan Alto Hualgayoc.

Se recomienda llevar un control adecuado de las reservas mensuales a fin de tener un reporte consolidado, el cual servirá para determinar la vida útil del yacimiento.

Para el cálculo de potencial de carbonato de calcio es necesario obtener la mayor cantidad de muestreo en el área del yacimiento que se desea evaluar, de tal manera que se pueda realizar una mejor estimación del recurso.

## 4.2. Conclusiones

Al realizar el estudio geológico en el yacimiento Apan alto Hualgayoc, la roca caliza presenta carbonato de calcio con un valor mínimo de 96.50%, un valor máximo de 97.90% y en promedio de 97.1% de  $\text{CaCO}_3$ . Por consiguiente, el estudio geológico determina que el potencial de carbonato de calcio en roca caliza es de buena calidad en el yacimiento.

De acuerdo a la descripción de las características geológicas mediante cartografiado, se realizó las correcciones de las trazas o líneas de contacto geológico en el área de estudio y se evidencia la formación Cajamarca compuesta por calizas grises y gris claro.

Al realizar la caracterización petrográfica en el yacimiento Apan Alto se tiene que las calizas están compuestas por matriz mitrica y son te tipo Mudstone afirmando que el carbonato de calcio se presenta en concentraciones altas en la roca caliza.

Al realizarse el cálculo del potencial de carbonato de calcio contenidas en caliza el yacimiento Apan Alto mediante software ArcGIS se determinó 439045.8 Toneladas métricas.

Del diseño del talud para la explotación se tiene que de acuerdo a la orientación de las discontinuidades en el talud no se presentó falla planar, cuña y vuelco; se determinó que el talud es estable con factor de seguridad promedio 2. 063.La explotación de la caliza se realizará por el método de tajo abierto, tipo cantera,

utilizando tres etapas con bancos de explotación de acuerdo a la topografía original  
del área de trabajo.

## REFERENCIAS

- Alfaro León, W., Guillen Palma, T., & Valdivieso Vera, L. (2011). Caliza agrícola fortificada. Guayaquil: Universidad de Guayaquil. Facultad Ingeniería Química.
- Atencio Guerrero, M., & Britto López, Y. (2019). Caracterización composicional y de resistencia a las calizas explotadas en las minas del Municipio de Bosconia, en el Departamento del Cesar. Ingenierías USBmed , 2-3.
- Castellanos, E. R. (2017). “Determinación de la composición química y mineralógica, de 5 tipos de calizas y la relación con su grado de quemabilidad en la producción de óxido de calcio, en el bloque sur de la cantera de carbonatos, Planta San Miguel, Cementos Progreso”. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Castillo Rudas , V., & Chunque Cerquín , J. (2016). “Evaluación de calidad de las calizas con fines industriales en la concesión minera tres pirámides, distrito de Magdalena – Cajamarca 2016”. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Cruz, J. O. (2018). Guía De Investigación Científica 2018 V (2). Guía De Investigación Científica 2018 V (2), 30-33.
- Fitará, M., & Santos, D. (2014). Diseño de planta de cal. Bogotá.
- Gonzales Sacsí, S., Ticona Cansaya, & Katherine Alejandra. (2016). “Evaluación De La Influencia De La Granulometría De La Granulometría De Piedra Caliza, Concentración De Carbonato De Calcio, Tiempo De Residencia Y Temperatura De Calcinación Para Mejorar El Rendimiento De La Obtención De Óxido De Calcio (Cal Viva)”. Arequipa-Perú: Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa.
- Guevara Vásquez , C. E., & Orrilla Acuña , Y. d. (2019). “Influencia Del Tipo De Calizas De La Calera Bendición De Dios E.I.R.L En La Calidad Del Óxido De Calcio, Cajamarca – 2019” . Cajamarca: Universidad Privada Del Norte.
- Hernández Sampiere, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). Metodología de la investigación cuarta Edición. México.
- Linares, D. E. (2017). Metodología para el cálculo de reservas en minas a cielo abierto utilizando drones. México.: Universidad Nacional Autónoma De México.
- Matheron, G. (1963). Principles of Geostatistical. Economic Geology 58, 1246-1266.

- Mendez, J. (2009). Carbonatos. Origen Y Sedimentación. Caracas, Venezuela.: Universidad Central De Venezuela.
- Miñano, L. J. (2016). “Propuesta De Mejora En La Producción De Cal Viva Para Reducir Costos Operativos En La Empresa Phuyu Yuraq Ii – Cajamarca” . Trujillo: Universidad Privada Del Norte.
- Ribera, L. R. (1980). Geología De Los Cuadrangulos De Cajamarca, San Marcos Y Cajabamaba. Boletín N°31.Serie A.Carta Geológica Nacional, 25-31.
- Romero, M. A. (2017). “Influencia De La Calidad De Las Calizas Para La Producción De Cal Viva En La Calera La Conga Del Caserío De Sogorón Alto Distrito De La Encañada, Cajamarca 2017”. Cajamarca: Universidad Privada Del Norte.
- Salas, O. S. (2018). “Incidencia Del Cálculo De Reservas En La Viabilidad De Explotación De La Concesión San Juan, Empresa Calinor S.A.C, Cajamarca, 2018” . Cajamarca-Perú.: Universidad Privada Del Norte.
- Vargas, V. F. (2016). “Estimación De Reservas Minerales Y Propuesta De Diseño Preliminar De Explotación Del Bloque 2 Del Sector “X7” Mina Las Paralelas Utilizando Herramientas Informáticas”. Guayaquil - Ecuador.: Escuela Superior Politécnica Del Litora.
- Vásquez, G. C. (2011). Estudio De Geología. Cajamarca: Gerencia Regional De Planeamiento, Presupuesto Y Acondicionamiento Territorial.
- BOYTON Robert S. Chemistry and Technology of lime and Limestone.John Willey & Sons, Inc. Second Edition 1990.

## **ANEXOS**

ANEXO N° 1  
FOTOGRAFIAS



*Figura 36.* Toma de muestras del Yacimiento de calizas Apan Alto.



*Figura 37.* Identificación de formaciones presentes en el área de trabajo.



*Figura 38.*Determinación de carbonato de calcio en laboratorio.

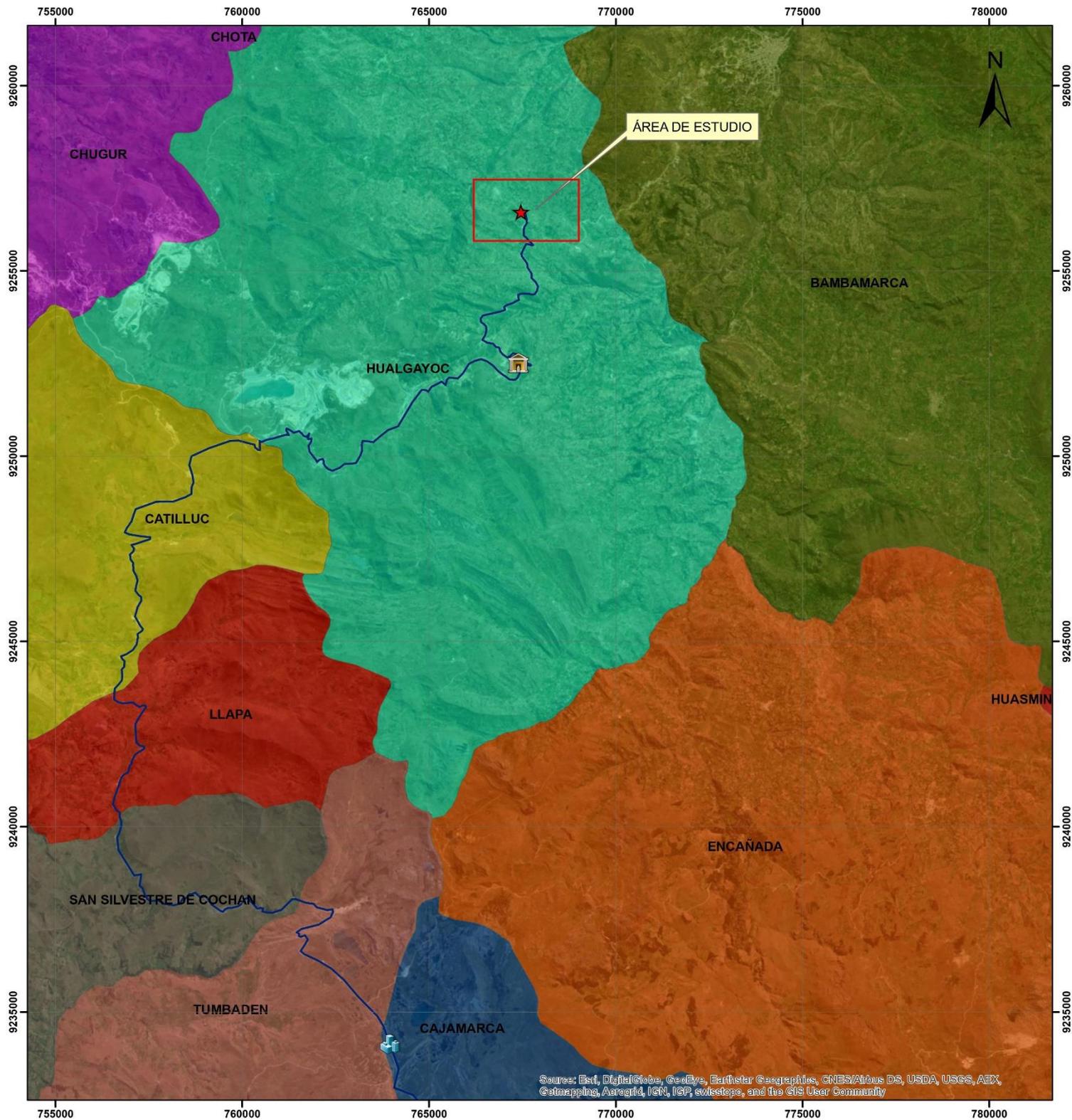


*Figura 39.*Toma de datos de resultados en laboratorio.

ANEXO N° 02  
PLANOS

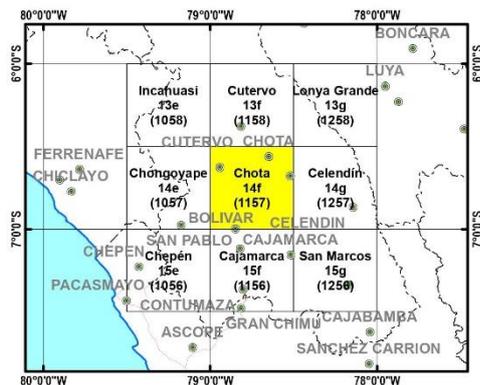
PLANO 01: UBICACIÓN  
PLANO 02: GEOLÓGICO  
PLANO 03: TOPOGRÁFICO

# PLANO DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO



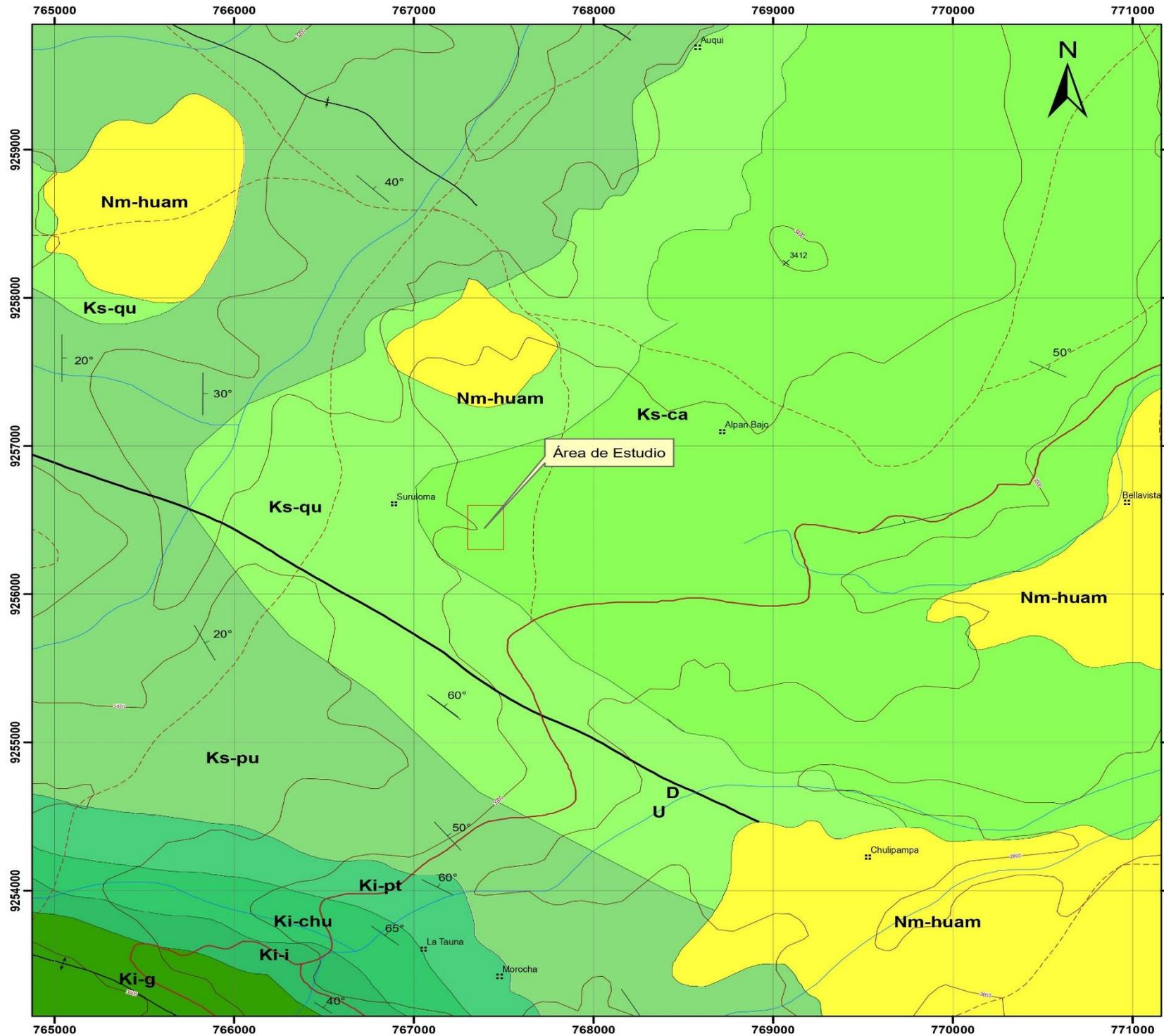
## LEYENDA

- Cajamarca
- Hualgayoc
- ★ Calera\_Apan Alto
- VIAS
- BAMBAMARCA
- CAJAMARCA
- CATILLUC
- CHUGUR
- ENCAÑADA
- HUALGAYOC
- LLAPA
- SAN SILVESTRE DE COCHAN
- TUMBADEN



<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>			
Carrera de Ingeniería Geológica			
Br. Rosa Dany Galvez Llanos			
Br. Anali Vasquez Delgado			
"ESTUDIO FÍSICO-QUÍMICO DE LA CALIZA PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE OXIDO DE CALCIO EN EL YACIMIENTO APAN ALTO HUALGAYOC EN EL AÑO 2020"			
	PLANO: UBICACIÓN		PLANO N° 01
	DPTO	PROV.	C. POBLADO
	Cajamarca	Hualgayoc	Apan Alto
Sistema de coordenadas: UTM-WGS84		ESCALA: 1:100000	

MAPA GEOLÓGICO DE LA CONCESIÓN APAN ALTO

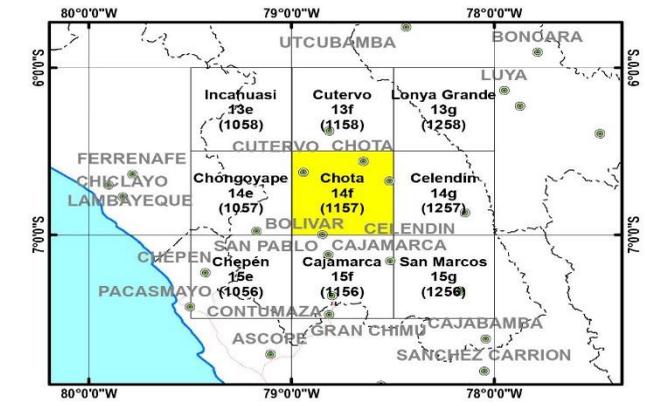


LEYENDA

ERA/ETAPA	SISTEMA	SERIE	EDAD (Ma)	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	
CENOZOICO	NEÓGENO	PLIOCENO	2.58	Formación Huambos	Nm-huam
		MIOCENO	5.33	Formación Huambos	Nm-huam
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	23.03	Formación Cajamarca	Ks-ca
			66.0	Grupo Quilquiñán	Ks-qu
				Grupo Pulluicana	Ks-pu
		INFERIOR	100.5	Formación Pariatambo	Ki-pt
				Formación Chulec	Ki-chu
				Formación Inca	Ki-i

**SÍMBOLOS**

	Rumbo y buzamiento de estratos		Localidad común
	Rumbo y buzamiento de capas invertidas		Carretera asfaltada, dos o mas vías
	Falla normal		Camino Carrozable
	Eje de anticlinal		Curva de nivel - Primaria
	Eje de sinclinal		Río principal
	Contacto geológico		



**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Carrera de Ingeniería Geológica

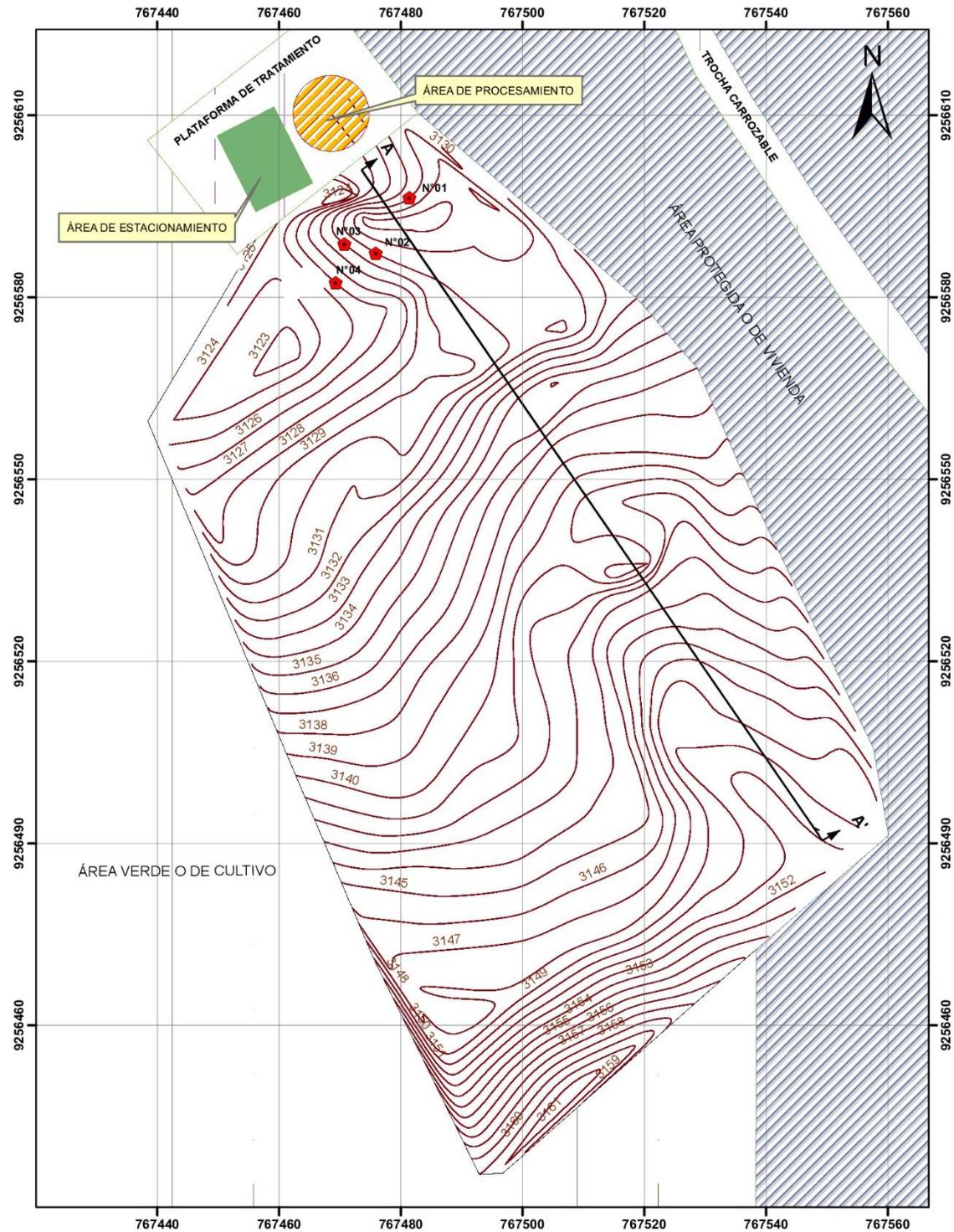
Br. Rosa Dany Galvez Llanos  
Br. Anali Vasquez Delgado

"ESTUDIO FÍSICO-QUÍMICO DE LA CALIZA PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE OXIDO DE CALCIO EN EL YACIMIENTO APAN ALTO HUALGAYOC EN EL AÑO 2020"

	PLANO: GEOLÓGICO		PLANO N° 02
	DPTO. Cajamarca	PROV. Hualgayoc	C. POBLADO Apan Alto

Sistema de coordenadas: UTM-WGS84  
ESCALA: 1:25000

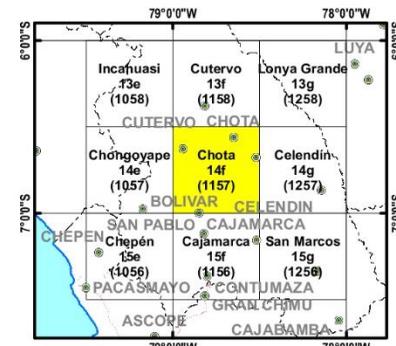
### MAPA TOPOGRÁFICO DE LA CALERA "APAN ALTO"



Codigo Muestra	Determinación Química					
	%CaCO <sub>3</sub>	%CaO	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%MgO	%SiO <sub>2</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Muestra 1	96.5	83.2	0.091	0.4	1.67	0.74
Muestra 2	97.2	84.3	0.092	0.42	1.65	0.73
Muestra 3	97.9	84.1	0.092	0.39	1.66	0.72
Muestra 4	96.8	82.2	0.089	0.41	1.68	0.71
PROMEDIO	97.1	83.45	0.091	0.405	1.665	0.725

**LEYENDA**

- AREA VERDE O DE CULTIVO
- PLATAFORMA DE TRATAMIENTO
- TROCHA CARROZABLE
- ÁREA DE ESTACIONAMIENTO
- ÁREA DE PROCESAMIENTO
- ÁREA PROTEGIDA O DE VIVIENDA
- MUESTRAS
- CURVAS DE NIVEL



<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>			
Carrera de Ingeniería Geológica			
Br. Rosa Dany Galvez Llanos			
Br. Anali Vasquez Delgado			
"ESTUDIO FÍSICO-QUÍMICO DE LA CALIZA PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE OXIDO DE CALCIO EN EL YACIMIENTO APAN ALTO HUALGAYOC EN EL AÑO 2020"			
	PLANO: TOPOGRÁFICO		PLANO N° 03
	DPTO.	PROV.	C. POBLADO
	Cajamarca	Hualgayoc	Apan Alto
			Sistema de coordenadas: UTM-WGS84
			ESCALA: 1:750

ANEXO 03  
RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO



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

### ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE PIEDRA CALIZA

SOLICITA : GALVEZ LLANOS ROSA DANY  
VASQUEZ DELGADO ANALI  
TESIS : “ESTUDIO FÍSICOQUÍMICO DE LA CALIZA PARA DETERMINAR  
LA CALIDAD DE ÓXIDO DE CALCIO EN EL YACIMIENTO APÁN  
ALTO, PROVINCIA DE HUALGAYOC – CAJAMARCA EN EL  
2020”  
PROCEDENCIA : APÁN ALTO - HUALGAYOC  
MUESTRA : M – 1  
FECHA : 15/02/2020

#### ANÁLISIS

##### ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA		RESULTADOS %
Carbonato de calcio	CaCO <sub>3</sub>	96.50
Óxido de calcio	CaO	83.20
Óxido férrico	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.091
Óxido de magnesio	MgO	0.40
Óxido de silicio	SiO <sub>2</sub>	1.67
Óxido de aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.74

##### ANÁLISIS FÍSICO

DETERMINACIÓN FÍSICA	RESULTADOS
COLOR	Blanco
GRANULOMETRÍA	200 mm a 75µm
ASPECTO FÍSICO	Bueno
CAL VIVA	Granel

NOTA: La muestra fue alcanzada a este laboratorio la cual se procedió a hacer el análisis respectivo.

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



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

### ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE PIEDRA CALIZA

SOLICITA : GALVEZ LLANOS ROSA DANY  
VASQUEZ DELGADO ANALI  
TESIS : “ESTUDIO FÍSICOQUÍMICO DE LA CALIZA PARA DETERMINAR  
LA CALIDAD DE ÓXIDO DE CALCIO EN EL YACIMIENTO APÁN  
ALTO, PROVINCIA DE HUALGAYOC – CAJAMARCA EN EL  
2020”  
PROCEDENCIA : APÁN ALTO - HUALGAYOC  
MUESTRA : M – 2  
FECHA : 15/02/2020

#### ANÁLISIS

##### ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA		RESULTADOS %
Carbonato de calcio	CaCO <sub>3</sub>	97.20
Óxido de calcio	CaO	84.30
Óxido férrico	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.092
Óxido de magnesio	MgO	0.42
Óxido de silicio	SiO <sub>2</sub>	1.65
Óxido de aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.73

##### ANÁLISIS FÍSICO

DETERMINACIÓN FÍSICA	RESULTADOS
COLOR	Blanco
GRANULOMETRÍA	200 mm a 75µm
ASPECTO FÍSICO	Bueno
CAL VIVA	Granel

NOTA: La muestra fue alcanzada a este laboratorio la cual se procedió a hacer el análisis respectivo.



Ing. MSc. Hugo Mosquera Estraver  
JEFE DE LABORATORIO  
CIP 27564



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

### ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE PIEDRA CALIZA

SOLICITA : GALVEZ LLANOS ROSA DANY  
VASQUEZ DELGADO ANALI  
TESIS : “ESTUDIO FÍSICOQUÍMICO DE LA CALIZA PARA DETERMINAR  
LA CALIDAD DE ÓXIDO DE CALCIO EN EL YACIMIENTO APÁN  
ALTO, PROVINCIA DE HUALGAYOC – CAJAMARCA EN EL  
2020”  
PROCEDENCIA : APÁN ALTO - HUALGAYOC  
MUESTRA : M – 3  
FECHA : 15/02/2020

#### ANÁLISIS

##### ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA		RESULTADOS %
Carbonato de calcio	CaCO <sub>3</sub>	97.90
Óxido de calcio	CaO	84.10
Óxido férrico	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.092
Óxido de magnesio	MgO	0.39
Óxido de silicio	SiO <sub>2</sub>	1.66
Óxido de aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.72

##### ANÁLISIS FÍSICO

DETERMINACIÓN FÍSICA	RESULTADOS
COLOR	Blanco
GRANULOMETRÍA	200 mm a 75µm
ASPECTO FÍSICO	Bueno
CAL VIVA	Granel

NOTA: La muestra fue alcanzada a este laboratorio la cual se procedió a hacer el análisis respectivo.

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



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

### ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE PIEDRA CALIZA

SOLICITA : GALVEZ LLANOS ROSA DANY  
VASQUEZ DELGADO ANALI  
TESIS : “ESTUDIO FÍSICOQUÍMICO DE LA CALIZA PARA DETERMINAR  
LA CALIDAD DE ÓXIDO DE CALCIO EN EL YACIMIENTO APÁN  
ALTO, PROVINCIA DE HUALGAYOC – CAJAMARCA EN EL  
2020”  
PROCEDENCIA : APÁN ALTO - HUALGAYOC  
MUESTRA : M – 4  
FECHA : 15/02/2020

#### ANÁLISIS

##### ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA		RESULTADOS %
Carbonato de calcio	CaCO <sub>3</sub>	96.80
Óxido de calcio	CaO	82.10
Óxido férrico	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.089
Óxido de magnesio	MgO	0.41
Óxido de silicio	SiO <sub>2</sub>	1.68
Óxido de aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.71

##### ANÁLISIS FÍSICO

DETERMINACIÓN FÍSICA	RESULTADOS
COLOR	Blanco
GRANULOMETRÍA	200 mm a 75µm
ASPECTO FÍSICO	Bueno
CAL VIVA	Granel

NOTA: La muestra fue alcanzada a este laboratorio la cual se procedió a hacer el análisis respectivo.



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

ANEXO 04

FICHAS DE OBSERVACIÓN

Tabla 20

*Ficha de observación de campo*

LUGAR Y TIPO DE DEPOSITO					
COMARCA	FECHA		HORA DE INICIO		HORA DE TERMINO
OBSERVADOR					
TIPO DE FORMACION	PUNTOS GPS			DATOS	
	ESTE	NORTE	COTA	RUMBO	AZIMUT
CODIFICACION DE MUESTRAS	CÓDIGO			UBICACIÓN DE MUESTRA	
	ESTE	NORTE	COTA		
1					
2					
3					
4					
5					
6					
OBSERVACIONES COMPLEMENTARIAS					

Fuente: Propia

Tabla 21

*Ficha de observación de análisis petrográfico.*

<b>ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE ROCA</b>					
Muestra	Nombre de la roca	clase	Grupo	Dureza	Minerales
1					
2					
3					
4					
<b>Clasificación de Dunham (1962)</b>					
Muestra	Observaciones				
1					
2					
3					
4					
<b>Clasificación textural según Folk</b>					
Muestra	Observaciones				
1					
2					
3					
4					

Fuente: Propia

Tabla 22

*Procesamiento de datos de laboratorio*

Código Muestra	Determinación Química					
	% CaCO <sub>3</sub>	% CaO	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% MgO	% SiO <sub>2</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Muestra						
Muestra						
Muestra						
Muestra						

Fuente: Propia

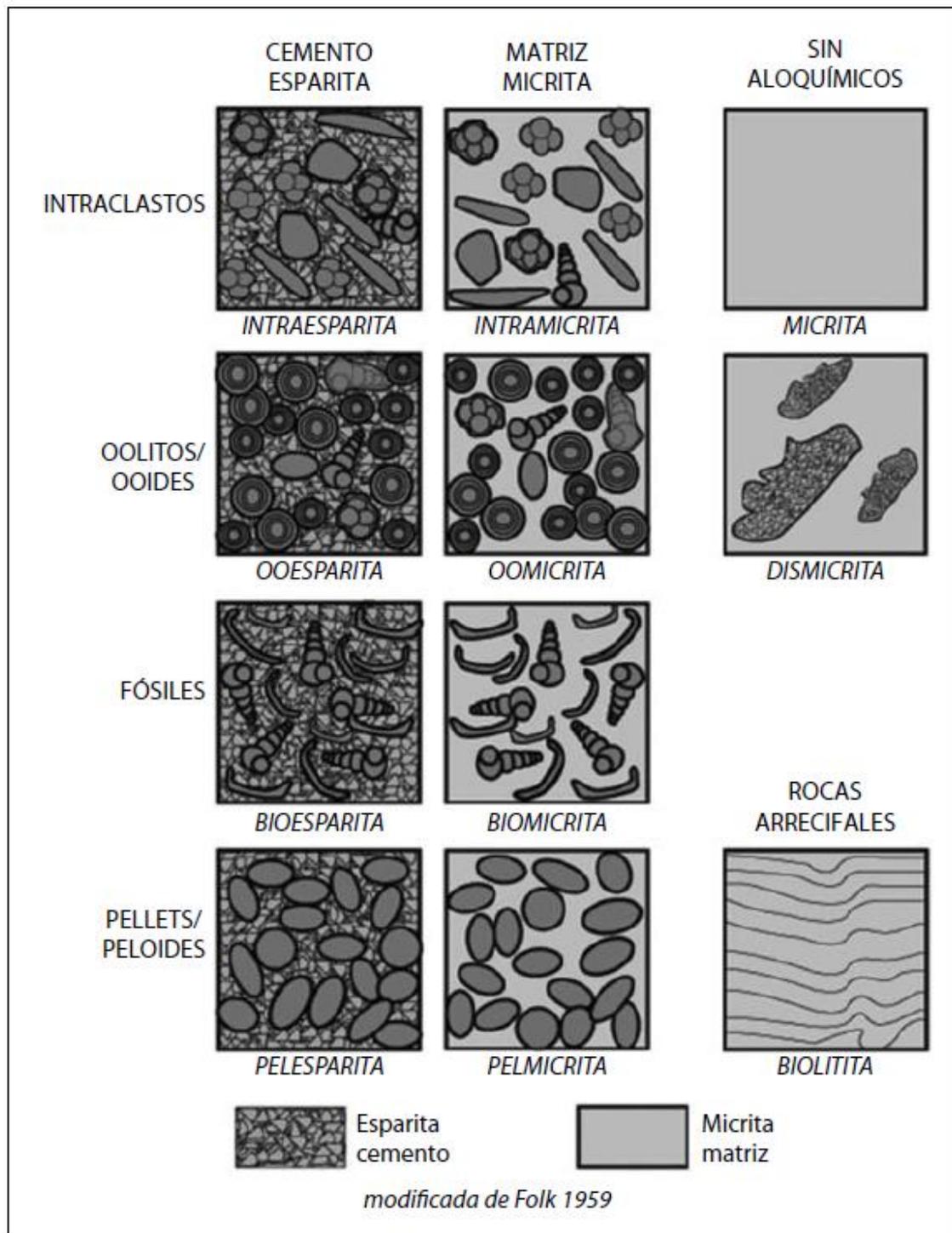


Figura. 40 Clasificación textural de rocas carbonáticas propuesta por folk(1962).(Méndez,2009)

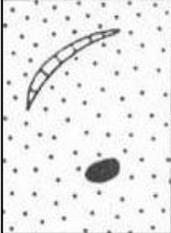
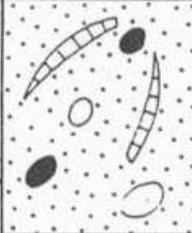
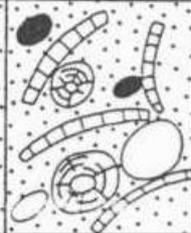
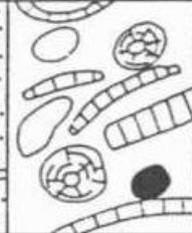
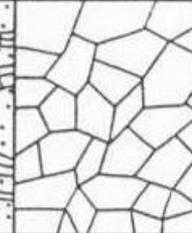
Textura original reconocible					Textura original no reconocible
Componentes originales no enlazados durante el depósito				Componentes originales enlazados	
Con matriz (carbonato de tamaño arcilla o limo fino)		Sin matriz y granosostenida			
Sostenida por la matriz	Granosostenida				
Menos del 10% de granos	Más del 10% de granos				
<b>MUDSTONE</b>	<b>WACKESTONE</b>	<b>PACKSTONE</b>	<b>GRAINSTONE</b>	<b>BOUNDSTONE</b>	<b>CARBONATOS CRISTALINOS</b>
					

Figura 41 Clasificación textural de rocas carbonáticas propuesta por Dunham (1962). (Méndez, 2009)

ANEXO 05  
GEOMECANICA



Tabla 23

*Cuadro de estimación de la constante  $m_i$  de las rocas*

Tipo de roca	Clase	Grupo	TEXTURA			
			Gruesa	Media	Fina	Muy fina
SEDIMENTARIA	Clástica		conglomerado (21±3)	Arenisca (19±4)	Lodolita (7±2)	Arcillolita (4±2)
	No clástica	Orgánicos		Marga 7 Carbón (8±21)		
		Carbonatos	Brecha (20±2)	Caliza Esparística (10±5)	Caliza Micrita (8±3)	
		Químicos	R. Yesífera (16)	Anhidrita (12±2)		Yeso (10±2)
METAMORFICA	No Foliada		Mármol (9±3)	Corneada (19±4)	Cuarcita (20±)	
	Ligeramente Foliada		Migmátita (29±3)	Anfibolita (26±6)	Milonitas (6)	
	Foliada+		Gneis (28±)	Esquisto (10±3)	Filita (7±3)	Pizarra (7±4)
ÍGNEA	Clara		Granito (32±3) Granodiorita (29±3) Diorita (25±5)		Riolita (16) Dacita (25±3) Andesita (25±5)	Obsidiana (19±3)
	Oscura		Grabo (27±3) Norita (20±5)	Dolerita (16±5)		
	Extrusiva Piroclástica		Aglomerado (19±3)	Brecha (19±5)	Tufa (13±5)	

Fuente: (Hoek & Brown, 2002)

Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of D
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel	D = 0
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass.  Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	D = 0 D = 0.5 No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	D = 0.8
	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	D = 0.7 Good blasting D = 1.0 Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal. In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	D = 1.0 Production blasting D = 0.7 Mechanical excavation

Figura 43 .Cuadro del factor de perturbación D. (Hoek & Brown,2002)