



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGÍA



**“MODELAMIENTO GEOLÓGICO Y CÁLCULO DE RESERVAS
DE LOS AFLORAMIENTOS DE ROCA CALIZA APLICANDO EL
SOFTWARE MINEPLAN EN EL PROYECTO PUYA-PUYA DE LA
EMPRESA CALCESUR S.A. – CARACOTO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. YUDY YECY, QUISPE HUARCAYA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO - PERÚ

2024



Yudy Yecy Quispe Huarcaya

MODELAMIENTO GEOLÓGICO Y CÁLCULO DE RESERVAS DE LOS AFLORAMIENTOS DE ROCA CALIZA APLICANDO EL SOF...

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega

tm:oid=8254417499186

Fecha de entrega

19 dic 2024, 10:28 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

19 dic 2024, 10:34 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

Tesis - Yudy Y. Quispe Huarcaya.pdf

Tamaño de archivo

7.3 MB

151 Páginas

23,594 Palabras

118,884 Caracteres


E. Samuel Machaca Hanco
INGENIERO GEÓLOGO
CIP. N° 50063



12% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 12% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



E. Samuel Machacca Hanco
INGENIERO GEOLOGO
CIP. N° 50063



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, Jacinto Quispe y Guillermina Huarcaya por su amor incondicional y su apoyo constante a lo largo de mi carrera académica, que han sido mi fuente de inspiración y motivación. Gracias por creer en mí y por apoyarme en cada paso del camino profesional.

Yudy Yecy Quispe Huarcaya



AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso, así mismo a mis padres y Orlando C. por ser mi fuente de inspiración tu confianza en mí ha sido motivador, a los cuales agradezco profundamente por creer en mí, su guía y orientación experta a lo largo de este proyecto. Su sabiduría y experiencia han sido fundamentales para la realización de esta tesis.

Agradezco también a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la UNA -Puno por proporcionarme los recursos y el apoyo necesario para la realización de esta tesis y finalmente, agradezco a todos aquellos que han contribuido a mi crecimiento personal y académico, incluyendo a mis profesores, mentores. ¡Gracias por su influencia y su apoyo!

Yudy Yecy Quispe Huarcaya



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	19
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.2.1 Problema general.....	20
1.2.2 Problemas específicos	20
1.3 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	20
1.3.1 Hipótesis general.....	20
1.3.2 Hipótesis específicas	21
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.4.1 Objetivo general	21
1.4.2 Objetivos específicos	21
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	22



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
2.2	MARCO TEÓRICO	28
2.2.1	Los yacimientos calcáreos.....	28
2.2.1.1	Génesis	29
2.2.1.2	Formaciones	31
2.2.1.3	Estructuras presentes.....	32
2.2.2	La roca caliza	33
2.2.2.1	Mineragrafía.....	33
2.2.2.2	Tipos o clases de roca caliza.....	34
2.2.3	Mapeo geológico en superficie	37
2.2.3.1	Muestreo por canales	40
2.2.3.2	Levantamiento topográfico con dron	42
2.2.4	Oxido de calcio	44
2.2.4.1	Proceso de elaboración.....	46
2.2.5	Modelamiento explícito de un yacimiento	51
2.2.5.1	Trazado de secciones	52
2.2.5.2	Proyección de sólidos.....	53
2.2.5.3	El modelo de bloques	54
2.2.5.4	El modelo de leyes	56
2.2.6	Estimación de recursos.....	58

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	DISEÑO METODOLÓGICO.....	65
------------	---------------------------------	-----------



3.1.1	Tipo de investigación	65
3.1.2	Diseño de la investigación	65
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	67
3.2.1	La población.....	67
3.2.2	Las muestras.....	67
3.2.2.1	Fase de recopilación de la información.....	68
3.2.2.2	Fase de trabajo en campo	75
3.2.2.3	Fase de trabajo en gabinete	79
3.3	DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	81
3.4	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	82
3.4.1	Recursos	83
3.4.2	Materiales	84

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1	UBICACIÓN Y ACCESO.....	86
4.2	ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y CLIMÁTICOS DE LA ZONA.....	86
4.2.1	Clima y vegetación.....	86
4.2.2	Relieve y topografía	87
4.3	GEOLOGIA DEL YACIMIENTO	87
4.3.1	Geología regional	87
4.3.2	Estratigrafía Regional.....	92
4.3.3	Geología local del proyecto Puya Puya	94

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



5.1	MODELO DE BLOQUES 3D UTILIZANDO EL SOFTWARE MINEPLAN PARA EL PROYECTO PUYA-PUYA	98
5.1.1	Interpretación geológica del yacimiento	98
5.1.2	Codificación del modelo de bloques	110
5.1.3	Interpolación de leyes	117
5.2	RECURSOS DE CADA CUERPO CALCÁREO PRESENTE EN EL PROYECTO PUYA-PUYA	126
5.3	LAS RESERVAS ECONÓMICAS DEL PROYECTO PUYA-PUYA	133
5.4	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	137
VI.	CONCLUSIONES	139
VII.	RECOMENDACIONES	140
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141
	ANEXOS.....	144

Área: Geología de Minas.

Tema: Estimación de Recursos.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 26 de diciembre del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Clasificación de la caliza por Dunham	37
Tabla 2 Características del muestreo por canal en Calcesur	72
Tabla 3 Resumen de los costos operativos de Calcesur	74
Tabla 4 Resumen de los costos operativos de Calcesur	110
Tabla 5 Ordenamiento de leyes por cada cuerpo calcáreo y tipo de roca caliza.....	122
Tabla 6 Reporte de 10 cuerpos calcáreos de la zona 1.....	127
Tabla 7 Reporte de recursos por zonas y tipo de roca caliza	128
Tabla 8 Reporte general por tipo de roca caliza.....	131
Tabla 9 Reporte por tipo de caliza con un rango de cutoff	134
Tabla 10 Reporte reservas del proyecto Puya-Puya.....	136



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Principales minerales carbonaticos en la naturaleza.....	34
Figura 2 Mapeo geológico de un afloramiento de caliza	39
Figura 3 Muestreo por canales perpendicular a la estructura.....	41
Figura 4 Levantamiento topográfico de una determinada área con drone.	43
Figura 5 Explotación cantera de caliza.....	47
Figura 6 Resultado de la reacción.	50
Figura 7 Proceso de la obtención de la cal.	50
Figura 8 Secciones en un yacimiento y elementos del cálculo de reservas.	53
Figura 9 Modelo de bloques de un yacimiento con iguales dimensiones	56
Figura 10 Procesos de estimación de recursos	59
Figura 11 Estimación poligonal	60
Figura 12 Estimación por triangulación	61
Figura 13 Estimación de recursos y reservas	64
Figura 14 Vista general de la concesión del Proyecto Puya-Puya	68
Figura 15 Imagen satelital del Proyecto Puya-Puya.....	69
Figura 16 Interpretación geológica de los sondajes DDH 01 hasta 03 del proyecto Ayacucho.....	70
Figura 17 Interpretación geológica.....	70
Figura 18 Proceso del mapeo por canales en el proyecto Puya-Puya	73
Figura 19 Reconocimiento de los cuerpos calcáreos y las arcillas colindantes	76
Figura 20. Vista del cuerpo calcáreo para tomar muestras y trazar los canales	77
Figura 21 Estratificación de los sedimentos presentes en el proyecto Puya-Puya.....	78



Figura 22	Vuelo del dron para el levantamiento topográfico del proyecto Puya-Puya	79
Figura 23	Límite del proyecto Puya-Puya y sus curvas de nivel a 1 m	80
Figura 24	Diseño de los cuerpos calcáreos en AutoCAD	81
Figura 25	Distribución de afloramientos de olistolitos en la Fm. Ayabacas en Puno..	89
Figura 26	Zonas de afloramientos de la Fm. Ayabacas en Puno	91
Figura 27	Estratificación de la formación de calizas Ayabacas en Puno.....	94
Figura 28	Calizas KARSTICAS en la cantera Puya Puya	95
Figura 29	Calizas masivas	96
Figura 30	Calizas dolomíticas	97
Figura 31	Vista en planta de la sección A-A' del cuerpo calcáreo G-18-A.....	99
Figura 32	Sección vertical A-A' del cuerpo calcáreo G-18-A.....	100
Figura 33	Vista en planta de la sección B-B' del cuerpo calcáreo I-06-A.....	101
Figura 34	Sección vertical B-B' del cuerpo calcáreo I-06-A.....	102
Figura 35	Vista de los sólidos proyectados en base a los diseños 2D.....	104
Figura 36	Vista de los tres tipos de roca caliza presentes en el proyecto Puya-Puya	105
Figura 37	Vista en planta de la sección C-C' de los cuerpos calcáreos F-8-B y F-8-C	106
Figura 38	Sección vertical C-C' de los cuerpos calcáreos F-8-B y F-8-C.....	107
Figura 39	Vista de las 4 zonas de exploración del proyecto Puya-Puya.....	108
Figura 40	Vista global de los sólidos modelados del proyecto Puya-Puya.....	109
Figura 41	Vista de la codificación del modelo de la zona 1 del proyecto Puya-Puya	112
Figura 42	Vista en planta de la sección D-D' del cuerpo calcáreo Z-51.....	113
Figura 43	Sección vertical D-D' del cuerpo calcáreo Z-51.....	114
Figura 44	Vista de la codificación por MOP del proyecto Puya-Puya	115
Figura 45	Leyes reportadas por laboratorio químico	117



Figura 46	Histograma de leyes para la caliza Packstone CP.....	118
Figura 47	Comparativo de Histogramas de leyes de las calizas analizadas.....	119
Figura 48	Probabilidad acumulada de las leyes para la caliza Dolomítica CD.....	120
Figura 49	Comparativo de la probabilidad acumulada de las calizas analizadas.....	121
Figura 50	Vista isométrica del modelo de leyes del proyecto Puya-Puya	123
Figura 51	Vista del plano 3,879.80 del modelo de leyes del proyecto Puya-Puya	123
Figura 52	Vista del plano 3,879.80 del modelo de leyes del proyecto Puya-Puya	124
Figura 53	Vista en planta de la sección E-E' del cuerpo calcáreo E-3-C	125
Figura 54	Sección vertical E-E' del cuerpo calcáreo E-3-C	126
Figura 55	Porcentaje de mineral de roca caliza por zona.....	130
Figura 56	Tonelaje y ley por tipo de roca caliza	132
Figura 57	Porcentaje por tipo de roca caliza	133



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Plano de ubicación del proyecto Puya - Puya	144
ANEXO 2: Mapa geológico del área de estudio	145
ANEXO 3: Mapa de los cuerpos calcáreos	146
ANEXO 4: Mapa de modelo de bloques del proyecto Puya - Puya.....	147
ANEXO 5: Reporte de los recursos por tipo de roca caliza y códigos de afloramiento	148



ACRÓNIMOS

TOPO:	Topografía del proyecto
CaO:	Oxido de calcio
MGO:	Oxido de magnesio
EQCAO:	Oxido de calcio Equivalente
EQMGO:	Oxido de magnesio Equivalente
ORTYP:	Tipo de roca caliza
ORE%:	% codificado de la roca total
CATEG:	Tipo de recurso
LITHO:	Dominio de roca
ZONE:	Zonas
OZ1:	Códigos por zona 1
OZ2:	Códigos por zona 2
OZ3:	Códigos por zona 3
OZ4:	Códigos por zona 4
SG:	Densidad de la roca
CD:	Caliza dolomítica
CM:	Caliza Mudstone



CP:	Caliza Packstone
CaOcoO3:	carbonato de calcio
Mg:	Magnesio
Fe:	Fierro
Co2:	Dióxido de Carbono
SiO2:	Dióxido de Silicio
Cl:	Cloro
V:	Volumen
TM:	Toneladas Métricas
A:	Área
KM:	Kilómetros
SE:	Sur Este
NO:	Noroeste
UTM:	Universal Transversal Mercator
US\$:	Dólares
Fm:	Familia de Calizas



RESUMEN

El presente estudio se realizó en el proyecto Puya-Puya, el cual es un proyecto de que pertenece la empresa Calcesur S.A.; el cual se efectuó en el sector Caracoto sobre cuerpos calcáreos de la Formación de Calizas “Ayabacas”. La exploración de este yacimiento se hizo a través de un mapeo geológico de superficie sin sondajes, proceso en el que se ha podido identificar distintos afloramientos de olistolitos de la Formación Ayabacas, denominándose como: cuerpos calcáreos (bloques) que no obedecen a ninguna disposición estratigráfica ni existe una estratificación continua; no obstante, de acuerdo a su disposición en el terreno, estos cuerpos calcáreos se extienden a lo largo varias hectáreas, identificándose 3 tipos de caliza: Packstone, Mudstone y Dolomítica. Por ello, el objetivo principal estimar las reservas de los afloramientos de roca caliza del proyecto Puya-Puya mediante la aplicación del software MinePlan en la empresa Calcesur - Caracoto. Para lo cual, esta investigación fue de tipo aplicativo - descriptivo con un diseño transeccional, el cual se diseñó el modelo de bloques específico para el yacimiento calcáreo del proyecto Puya-Puya utilizando el software MinePlan, luego se estimó los recursos tanto por cuerpos calcáreos, zonas exploradas, así como por tipo de roca caliza, cubicándose: 7,517,111.26 TM de caliza Packstone con una ley promedio de 53.53% de CaO y 0.65% de MgO; 6,375,520.57 TM de caliza Mudstone con una ley promedio de 50.25% de CaO y 1.13% de MgO; 512,076.63 TM de caliza Dolomítica con una ley promedio de 48.73% de CaO y 2.21% de MgO; finalmente, se determinó un total de reservas potenciales minarse de 8,029,187.89 TM de roca caliza con una ley promedio de 53.23% de CaO y 0.75% de MgO.

Palabras clave: Caliza, Óxido de calcio, Recursos, Reservas, Yacimiento calcáreo.



ABSTRACT

The present study was carried out in the Puya-Puya project, which is a project owned by the company Calcesur S.A.; which was carried out in the Caracoto sector on calcareous bodies of the "Ayabacas" Limestone Formation. The exploration of this deposit was done through a surface geological mapping without drilling, a process in which it has been possible to identify different outcrops of olistoliths of the Ayabacas Formation, called: calcareous bodies (blocks) that do not obey any stratigraphic arrangement nor is there a continuous stratification; however, according to their arrangement on the ground, these calcareous bodies extend over several hectares, identifying 3 types of limestone: Packstone, Mudstone and Dolomitic. Therefore, the main objective was to estimate the reserves of the limestone outcrops of the Puya-Puya project by applying the MinePlan software in the company Calcesur - Caracoto. For this, this research was of an applicative - descriptive type with a cross-sectional design, which was designed the specific block model for the calcareous deposit of the Puya-Puya project using the MinePlan software, then the resources were estimated both by calcareous bodies, explored zones, as well as by type of limestone rock, cubing: 7,517,111.26 MT of Packstone limestone with an average grade of 53.53% CaO and 0.65% MgO; 6,375,520.57 MT of Mudstone limestone with an average grade of 50.25% CaO and 1.13% MgO; 512,076.63 MT of Dolomitic limestone with an average grade of 48.73% CaO and 2.21% MgO; Finally, a total of potential mining reserves of 8,029,187.89 MT of limestone with an average grade of 53.23% CaO and 0.75% MgO were determined.

Keywords: Limestone, Lime, Resources, Reserves, Limestone deposit.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la exploración del proyecto Puya-Puya se ha identificado distintos afloramientos de olistolitos de la Formación Caliza Ayabacas, los cuales se han denominado como: cuerpos calcáreos (bloques), que no obedecen a ninguna disposición estratigráfica ni existe una estratificación continua, por lo que no es posible efectuar una correlación estratigráfica. En algunos bloques la estratificación es prácticamente horizontal, mientras que en otros está subvertical y algunos probablemente están invertidos. En estos bloques de caliza se ha podido diferenciar 3 tipos de caliza; la que muestra en los afloramientos una carsticidad avanzada; otra con carsticidad baja a nula; y como última, la Dolomita calcárea con carsticidad media. Esta exploración de los cuerpos calcáreos se extendió a lo largo varias hectáreas, habiéndose dividido en 4 zonas, cada zona con hasta 44 cuerpos calcáreos, dando un total de 142 cuerpos calcáreos mapeados e identificados plenamente. Lo cual, consecuentemente, ha acumulado una gran cantidad de datos que comprenden: planos en AutoCAD de los cuerpos calcáreos, leyes de cada cuerpo por zona y tipo de roca caliza almacenada en hojas de Excel, siendo difícil y engorroso el manejo de todos estos datos del proyecto Puya-Puya, necesitándose una forma de manejar toda esa data de una manera compacta, sencilla y versátil.

El proyecto Puya-Puya, es uno de los tantos proyectos de exploración que maneja la empresa Calcesur, y es una de extensión pequeña comparada con los otros. Por lo que es necesario sistematizar, cribar y canalizar, toda la data exploratoria en modelos tridimensionales conocidos como modelos de bloques 3D; ello permitió guardar la fidelidad de la data en el tiempo, ya que el proceso de minado en las canteras de Calcesur



llevan varias décadas. Asimismo, el modelamiento del proyecto Puya-Puya ha sido la epitome y base para los demás proyectos exploratorios en cuanto a un manejo eficaz de la data exploratoria, y necesaria para realizar un planeamiento a largo de la cantera.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿Cuáles serán las reservas de los afloramientos de roca caliza del proyecto Puya-Puya mediante la aplicación del software MinePlan en la empresa Calcesur - Caracoto?

1.2.2 Problemas específicos

¿Qué tipo de proceso y secuencia se debe seguir en el software MinePlan para diseñar un modelo de bloques 3D del proyecto Puya-Puya?

¿Cuáles serán los recursos de cada cuerpo calcáreo explorados en los afloramientos de roca caliza del proyecto Puya-Puya?

¿A cuánto ascienden las reservas de roca caliza económicas y aprovechables del proyecto Puya-Puya?

1.3 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis general

Por medio de un modelo de leyes diseñado en el software MinePlan se estiman las reservas de los afloramientos de roca caliza del proyecto Puya-Puya de la empresa Calcesur - Caracoto.



1.3.2 Hipótesis específicas

Todas las características geológicas exploradas en los afloramientos de roca caliza del proyecto Puya-Puya se almacenan de forma sistemática y eficaz dentro de un modelo de bloques 3D diseñado en el software MinePlan.

Los recursos de cada cuerpo calcáreo presente en los afloramientos de roca caliza del proyecto Puya-Puya se estiman de forma sistema y dinámica utilizando el MS-Reserve del software MinePlan.

Los cuerpos calcáreos con una ley de CaO mayores a la ley de corte y la ley de cabeza se cubican como reservas económicas del proyecto Puya-Puya.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Estimar las reservas de los afloramientos de roca caliza del proyecto Puya-Puya mediante la aplicación del software MinePlan en la empresa Calcesur - Caracoto.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Diseñar un modelo de bloques 3D utilizando el software MinePlan que almacene todas las características geológicas de los afloramientos de roca caliza explorados en el proyecto Puya-Puya.
2. Estimar los recursos de cada cuerpo calcáreo presente en los afloramientos de roca caliza del proyecto Puya-Puya utilizando el MS-Reserve del software MinePlan.



3. Determinar las reservas económicas del proyecto Puya-Puya en base a las condiciones económicas y restricciones operativas de la empresa Calcesur.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La data exploratoria del proyecto Puya-Puya, no posee sondajes diamantinos, con el que se pueda realizar un modelamiento geológico tradicional dentro de un software geológico. Siendo necesario el uso de otras técnicas y herramientas para lograr diseñar un modelo de bloques acorde a la realidad del yacimiento del proyecto Puya-Puya. Así mismo la extensa data geológica del yacimiento, con planos en AutoCAD, leyes en hojas Excel, de los 142 cuerpos calcáreos, cada uno con hasta tres tipos de roca; hace muy difícil un manejo eficiente de la data.

En consecuencia, la presente investigación es importante, ya que es necesario generar un proceso de modelamiento acorde a las necesidades del proyecto Puya-Puya que pueda usar de forma eficiente toda la data exploratoria, y haga sistemática y sencilla la cubicación de recursos de roca caliza, para un posterior cálculo de reservas, y también un planeamiento de mina a largo que se ajuste a los constantes cambios que enfrenta la empresa Calcesur en la comercialización de óxido de calcio.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Se tienen los siguientes antecedentes para esta investigación:

Narváez y Arízaga (2021), realizaron la investigación en su tesis para optar el grado de Ingeniero de Minas de la Universidad de Azuay, el cual titula “Desarrollo de un Software para odelado digital en la exploración y explotación minera a cielo abierto, aplicado en dispositivos móviles”, que tuvo como objetivo general de la presente investigación fue desarrollar una aplicación enfocada a dispositivos móviles con la finalidad de generar Modelos Digitales de Terreno, apoyando guiando las decisiones tomadas con los resultados obtenidos se puede afirmamos que para el cálculo volumétrico y la graficación de superficies enfocadas a fincas a cielo abierto, la aplicación desarrollada tiene un alto grado de confiabilidad. El objetivo de este trabajo fue desarrollar una aplicación enfocada a dispositivos móviles con el propósito de generar Modelos Digitales del Terreno (MDT), que permitan calcular superficies y Volúmenes 3D, además de diseñar fosos con la misma precisión que un software profesional. usuario, además de esto existen pocos programas disponibles en dispositivos móviles, para gestionar información geográfica.

Blas y Damián (2021), que realizo un estudio de investigación en su tesis para optar el grado de título de geólogo de la Universidad Nacional de Chile denominado con el título “Evaluación geológica para el cálculo de reservas y estimación de recursos minerales del prospecto minero Calmar”, que tuvo como objetivo determinar si la evaluación geológica será factible para el cálculo de reservas y estimación de recursos



minerales del prospecto minero Calmar. Para lo cual la investigación fue de tipo aplicada con un diseño descriptivo, en el cual se realizó la caracterización geológica de los mantos de roca caliza y los afloramientos de caliza del yacimiento Calmar que pertenecen al Grupo Pucará (jurásicas), para luego realizar el cálculo de recursos y reservas mediante bloques de 1000 x 1000 m en promedio. En este estudio se concluye, que el bloque B-EN presenta el mejor potencial tanto en tonelaje como la ley de CaO, seguidos B-ES y B-O, asimismo se cubicaron 1'097,460 TM de roca caliza entre recursos medido e indicado. El estudio solo realiza el cálculo de manera muy geométrica, por lo que no midió la distribución de leyes en los distintos mantos, tampoco posee un modelo de bloques.

Acuña y Díaz (2020), realizaron la investigación en su tesis para optar el grado de ingeniero de minas de la Universidad Cesar Vallejo que titula “Estimación de Reserva de Arcilla Tipo Caolinita Para La Vida Útil de la Concesión Minera Fernández, Tres Tomas – Ferreñafe”, que tuvo como objetivo principal de nuestro informe ha sido detallar el evento de un problema y en qué estado se encuentra. Al mismo tiempo permitió orientar el desarrollo de la estimación de reservas de la concesión Fernández, concluyendo que La vida útil de la concesión minera Fernández es de 8 años 1 mes. El trabajo permitió desarrollar el objetivo general que fue estimar las reservas de arcillas tipo caolinita para conocer la vida útil de la concesión minera Fernández, Tres Tomás-Ferreñafe. El propósito de esta tesis fue estimar reservas de arcillas tipo caolinita para proyectar la vida útil de la concesión minera Fernández, Tres Tomás – Ferreñafe. Para esta investigación se tomó la muestra afloramientos de arcillas tipo caolinita de la concesión Fernández, Tres Tomas – Ferreñafe utilizando como tipo de investigación cuantitativa y diseño de investigación descriptiva no experimental.



Según señala Arribasplata (2020), que realizó un estudio de investigación para optar el grado de ingeniero de minas de la Universidad Cesar Vallejo que titula “Cálculo de reservas para determinar la vida útil de La Cantera Mabeisa – Ferreñafe”, que tuvo como objetivo el ajuste y optimización de un método de evaluación de reservas y cubicación del batolito granítico de la Concesión de explotación, El propósito de este informe de investigación fue calcular las reservas y la determinación de la vida útil de la cantera Mabeisa –Ferreñafe. con su respectivo análisis el cual sirve para verificar la hipótesis propuesta de que si calcula las reservas de la cantera Mabeisa entonces la vida útil de la Cantera Mabeisa-Ferreñafe, del que se concluye que la cantera tiene una cantidad de reservas estimadas en 930.964,38 m³ para una vida útil de 25 años de explotación. La investigación surgió a partir de la investigación de algunos problemas relacionados con desconocimiento de la cantidad de agregados que tiene la cantera y así mismo una falta de conocimiento sobre cuánto tiempo estará en operación la cantera, por dicho La investigación buscó trabajar todos los áridos dentro de la cantera de Mabeisa.

Flores (2019), que realizó un estudio de investigación en su tesis para optar el grado de título de Ingeniero de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano denominado con el título “Optimizar la Rentabilidad Operativa de la Cal extrayendo Roca Caliza de la Zona 3 de la Cantera Ayacucho en Cal y Cementos Sur – Caracoto”, que tuvo como objetivo optimizar la rentabilidad operativa de la cal extrayendo roca caliza de la zona 3 de la Cantera Ayacucho en Cal y Cementos Sur - Caracoto. Para lo cual la investigación fue de tipo explicativo y aplicativo con un diseño experimental, en el cual se realizó un modelo matemático para extraer de la mejor manera la roca caliza de la zona 3 de la cantera Ayacucho. En este estudio se concluye, al minarse el 60% de roca caliza kárstica, se aumentó la recuperación metalúrgica en un 10.53%, así como, la rentabilidad operativa de la empresa de 4 millones a 4.8 millones de US\$. El estudio demuestra la



realización de modelo de bloques más rustico de la zona 3 de la cantera Ayacucho, el cual posee los 3 tipos de roca caliza, pero con leyes promedio generales por tipo de roca.

Según señala Naranjo (2017), que realizo un estudio de investigación en su tesis para optar el grado de título de geólogo de la Universidad Nacional de Chile denominado con el título “Modelamiento Geológico y Estimación de Recursos, Yacimiento la Niña, Tongoy, Cementos Melón SA.”, que tuvo como objetivo general Para poder desarrollar un planteamiento minero de mejor calidad en el yacimiento La Niña, tanto en explotación como en producción, y de esta forma tener un impacto positivo para el crecimiento de esta empresa. Para lo cual la investigación propuso generar un modelo geotécnico para poder realizar las caracterizaciones de las concentraciones de Cl y poder realizar el cálculo de recursos de CaCO_3 . El objetivo principal de este estudio fue desarrollado una metodología para el modelamiento geológico y estimación de recursos durante el desarrollo de la mina.

Según Vargas (2017), que realizo un estudio de investigación en su tesis para optar el grado de ingeniero de minas de la universidad alas peruanas denominado con el título “Cálculo de reservas para optimizar la extracción de roca caliza en la Empresa Minera Pihuyu Yuraq II, concesión ítala, Cajamarca, 2017”, que tuvo como objetivo general calcular las reservas para la continuidad de la extracción de roca caliza en la empresa minera Pihuyu Yuraq II, concesión Ítalo. En la investigación propuso determinar las reservas para la continuidad de la extracción de la roca caliza, se calcularon combinando dos métodos: triangulación y distancia inversa al cuadrado. La evaluación con el código NIIF según el cálculo de reservas en la extracción de caliza en la empresa minera Pihuyu Yuraq II, concesión Ítalo, tiene una vida útil de 43,25 años, produciendo 2743,78 Tm mensuales de caliza. El porcentaje promedio de ley de carbonato de calcio se determinó



con 5 muestras enviadas al laboratorio químico de la Universidad Nacional de Trujillo, obteniendo una ley promedio de 84,13%.

Según Saavedra (2016), que realizo una investigación en una tesis para optar el grado de Ingeniero Geólogo de la universidad de Pamplona denominado con título “Modelamiento Geológico Minero y Cálculo de Reservas de la Mina Támesis I en las Veredas de Agualinda y Juan Frio, de los Municipio de los Patios y Villa del Rosario, Norte de Santander”, que tuvo como objetivo general Determinar el modelo geológico minero, las reservas de arcillas y su calidad en la mina Támesis I, que se encuentra entre las veredas de Agua Linda y Juan Frio en los municipios de Los Patios y Villa del Rosario, mediante el reconocimiento de las unidades geológico mineras presentes en la mina. En total se distinguieron 4 unidades geológico-mineras, de las cuales actualmente solo explotando tres. Durante la ejecución de este proyecto se realizaron muestreos de arcilla, recopilación de información estratigráfica y estructural dentro de la mina Thames 1 el cual se ubica entre el caserío Agua Linda del municipio de Los Patios al norte y el desde Juan Frio del municipio de Villa del Rosario hacia el sur, dentro del departamento de Norte de Santander. El muestreo y recolección de información se realizó para analizar química, mineralogía, textural, físico-cerámico las unidades geológico-mineras en que se divide la mina.

Según señala Velarde (2016), que realizo un estudio de investigación para optar el grado de ingeniero de minas de la Escuela Superior Politécnica del Litoral que titula “Estimación de Reservas Minerales y Propuesta de Diseño Preliminar de Explotación del Bloque 2 del sector “X7” Mina LAS PARALELAS utilizando herramientas informáticas”, que tuvo como objetivo Estimar las reservas mineras y proponer el diseño preliminar de explotación del Bloque 2 del Sector “X7” Mina LAS PARALELAS utilizando herramientas informáticas, la minería ha evolucionado con el tiempo y



especialmente en el Ecuador, que puede mostrar cambios significativo, a partir de por un reestructuración de las leyes y de las instituciones reguladoras, lo que conduce a Las empresas mineras adquieren mucha más responsabilidad social y medioambiental a la hora de explotar los recursos. Sin embargo, actualmente existen software de minería de dominio público. que se ajustan perfectamente a las necesidades de la industria minera. Pequeña escala que se desarrolla en el país, para mejorar sus procesos de exploración y explotación de recursos.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Los yacimientos calcáreos

Los yacimientos calcáreos son depósitos que surgen de un proceso directo de sedimentación que se da en siglos. Esta sedimentación puede originarse de diferentes maneras, la formación de estos yacimientos carbonatadas son procesos geológicos fundamentales que dan forma a grandes porciones de la corteza terrestre y esta depende de los entornos que favorecen su formación, los tipos y características de las plataformas carbonatadas que son fundamentales en este proceso. (Contreras Menendez, 2017)

Se dice yacimiento calcáreo a extensiones sedimentarias que tiene como componentes esenciales los carbonatos de magnesio y de calcio.

Numerosos seres vivos tienen en su esqueleto mineral carbonato de calcio, dado que este compuesto se encuentra en aguas superficiales de lagos y mares. Cuando estos seres vivos fallecen, sus residuos minerales se acumulan formando sedimentos que son los responsables de la mayoría de los yacimientos de caliza que se encuentran hoy. Así, la sedimentación calcárea tuvo mayor relevancia en



periodos donde el clima era más caluroso que el presente, el nivel del mar era más elevado y los polos carecían de hielo.

2.2.1.1 Génesis

Para Bonewitz,(2012), los yacimientos de caliza surge a través de un proceso complicado que conlleva la acumulación y compactación de materiales con alto contenido de carbonato de calcio durante millones de año. El procedimiento principal de creación de piedra caliza puede sintetizarse de la siguiente forma:

Acumulación de Carbonato de Calcio: La generación de piedra caliza suele iniciarse en entornos marinos donde predomina el carbonato cálcico (CaCO_3). Este carbonato cálcico se origina en múltiples fuentes, entre ellas las conchas y restos esqueléticos de seres marinos como conchas, corales y microorganismos (como los foraminíferos). Estos seres vivos obtienen iones de calcio y carbonato del agua marina para edificar sus estructuras de protección.

Sedimentación de Sedimentos: Conforme estos seres marinos fallecen, sus caparazones y pedazos de esqueleto se sumergen en la profundidad del mar. Con el paso del tiempo, se forma una capa de estos sedimentos abundantes en carbonato de calcio en el fondo del mar.

Compactación y Cementación: El peso de los sedimentos subterráneos aplica presión a los sedimentos acumulados de carbonato de calcio. Esta presión, sumada a la existencia de minerales que funcionan



como cemento natural, provoca la consolidación y solidificación de los sedimentos. Las partículas de carbonato cálcico se unen de manera fuerte.

Cambios químicos: Con el paso del tiempo, pueden surgir alteraciones químicas, como la recristalización del carbonato cálcico. Este procedimiento frecuentemente conduce al surgimiento de una estructura cristalina en la piedra caliza, transformándola en una roca robusta y perdurable.

Diagénesis: El término diagénesis alude a las transformaciones físicas y químicas que suceden cuando los sedimentos se transforman en rocas sedimentarias. Consiste en la compactación de sedimentos, la eliminación de agua de los poros y la creación de minerales que unen las partículas.

Litificación: El procedimiento general para compactar sedimentos, consolidarlos y extraer minerales. La alteración se denomina litificación. Es fundamental la litificación para convertir los sedimentos dispersos en una roca consistente como la piedra caliza.

Tiempo y presión: El procedimiento completo de creación de la piedra caliza ha durado millones de años. Los sedimentos se acumulan progresivamente y la presión ejercida por los materiales subterráneos incrementa en los sedimentos del fondo. Esta presión desempeña un rol esencial en la consolidación y solidificación de los sedimentos.

Cambios posteriores a la formación: Las rocas calizas, tras su formación, pueden experimentar modificaciones adicionales a causa de



procesos geológicos, como plegamientos, fallas y metamorfismo, que pueden modificar su aspecto y textura.

2.2.1.2 Formaciones

Este mono mineral se encuentra entre los más frecuentes en la corteza de la Tierra. Se origina en mares cálidos de zonas tropicales y proviene de dos procesos que se suceden paralelamente:

Proceso de hídrico. El carbonato de calcio se desintegra en aguas con dióxido de carbono gaseoso disuelto, generando así el bicarbonato de calcio. Sin embargo, en áreas donde se libera directamente el dióxido de carbono disuelto a la atmósfera, sucede que se incrementa la cantidad de carbonato de calcio. Esto ocurre cuando aguas saturadas de CO₂ llegan a la costa, o cuando en las continentes aguas subterráneas llegan a la superficie, originando así las zonas calcáreas con piedras calizas, también conocidas como Carso.

Proceso Biológico. Muchos seres vivos forman su esqueleto mineral utilizando el carbonato de calcio, y al fallecer, sus residuos minerales se transforman en sedimentos que originan las piedras calizas. Esto sucede en áreas de mareas tropicales donde el carbonato de calcio es un compuesto predominante en las aguas superficiales. Gran parte del entendimiento que los paleontólogos poseen actualmente sobre los invertebrados y la evolución de la vida, se deriva de los fósiles hallados en estas rocas.



El carbonato cálcico es el componente principal de la caliza, sin embargo, la roca sedimentaria también puede estar compuesta por terrígenos (granos que no pertenecen a la cuenca sedimentaria), aloquímicos (fragmentos de otras rocas carbonatadas o restos carbonatados de fósiles) y ortoquímicos (cemento carbonatado que se fragmenta en micras) y ortoquímicos (cemento carbonatado que se fragmenta en micras). (Contreras Menendez, 2017).

2.2.1.3 Estructuras presentes

En el área de estudio la estructura geológica en su mayoría, está formada por la Formación Ayabacas que se ubica en el altiplano en una dirección SE-NO. Se compone principalmente de calizas grises, micríticas, de textura fina y uniforme, con intercalaciones de limoarcillitas con un yeso abundante, a veces en forma maciza, con espacios intraformacionales y estratos delgados fuertemente plegados (melange). (Torre & Carpio, 2016).

Las capas del Arcurquina exhiben conglomerados intraformacionales, junto con espacios con clastos de hasta 4 cm, en una matriz de grano fino, nódulos de chert y combinaciones de calcedonia-calcita. Los pliegues en la Formación Arcurquina muestran estructuras tipo “Slump” que claramente evidencian los mega-deslizamientos submarinos que hubo en el de Perú. (Carrión Zavala & De La cruz Matos, 2016)

Localmente se puede observar una Formación Ayabacas más fracturada y de gran espesor, con bloques de calizas fragmentados y plegados, los cortes estratigráficos de las rocas de esta región son



parecidos: su grosor es reducido, entre 10 y 20 metros, y se pueden identificar 5 niveles distintivos. (Pierre et al., 2006)

Aunque hay bloques que se encuentran extremadamente fracturados, otros no lo están. En algunos bloques, la estratificación es casi uniforme. Pero en otros se encuentra orientada o subvertical, y probablemente algunos están invertidos. (Sempere & Jacay, 2000).

2.2.2 La roca caliza

Las calizas son rocas sedimentarias, de procedencia química u organógena esencial, compuestas al menos por un 50% de carbonato de calcio. Las de naturaleza bioquímica se generan a través de la actividad de los organismos vivos. Estos mantienen el calcio disuelto en el agua y lo emplean para formar sus esqueletos en forma de calcita o aragonito. Al morir, estos esqueletos se transforman en calizas compuestas por calcita. Siempre el aragonito es inestable y se convierte en calcita. También, como resultado indirecto del metabolismo de los organismos vivos, se depositan calizas en los fondos del mar. (Sanga Huaracallo, 2019).

2.2.2.1 Minerografía

Como las calizas son rocas de carbono, sus minerales más frecuentemente presentes serán carbonatos, tales como la calcita, dolomita y aragonito. El aragonito, que es una variante inestable del carbonato de calcio, solo se halla en materiales recientes o se preserva si las condiciones lo permiten. Sin embargo, nunca consigue formar rocas (Ver Figura 1).

En su mayoría, la dolomita proviene de la diagenética y reemplaza a la calcita. La siderita es un material infrecuente que, al interactuar con la atmósfera, se oxida, generando la limonita ($\text{FeO} \cdot \text{H}_2\text{O}$) (Carreras, 1970).

Figura 1

Principales minerales carbonáticos en la naturaleza.

Serie de calcita (Trigonal)		Serie del Aragonito (Rombico)	
CALCITA	CO_3Ca	ARAGONITO	CO_3Ca
DOLOMITA	$(\text{CO}_3)_2\text{CaMg}$	WITHERITA	CO_3Ba
GIOBERTITA	CO_3Mg (o Magnesita)	ESTRONCIANIT.	CO_3Sr
DIALOGITA	CO_2Mn (o Rodocresita)	CERUSITA	CO_3Pb
SIDERITA	CO_3Fe		
ANKERITA	$(\text{CO}_3)_2\text{Ca}(\text{FeMg})$		

Nota: Rocas carbonáticas, (Carreras, 1970)

Es beneficioso entender la cristalización, la metasomatosis y la estructura cristalina de los minerales carbonatados. La estructura de la calcita es bastante simple: los iones Ca y CO_3 oscilan en las tres direcciones del espacio de manera similar a la estructura cúbica. El aragonito posee una conformación más compacta (lo que incrementa su densidad). En su estructura no admite Mg, sin embargo, pueden hallarse iones superiores a Si, Ba y el ión SO_4 (Carreras, 1970)

2.2.2.2 Tipos o clases de roca caliza

Según Carreras (1970), la variedad de rocas calizas es amplia y se categorizan en función de su procedencia, composición y textura. Se presenta algunos de los tipos más habituales:

- **Por su origen la caliza tiene dos tipos de origen:**



Por precipitación biogénica, surge de la secreción de cal de seres marinos, como foraminíferos y corales, que al fallecer se precipitan al fondo del mar y se acumulan.

Transporte mecánico, se genera mediante la colocación de calizas ya existentes.

- **La caliza se puede clasificar en diferentes tipos según su composición establecida por Folk, estos son:**
 - **Calizas tipo I:** Rocas aloquímicas esparíticas, creadas en entornos con corrientes intensas o constantes.
 - **Calizas tipo II:** Rocas aloquímicas microcristalinas, que señalan corrientes suaves o un elevado ritmo de creación de fango carbonico.
 - **Calizas tipo III:** Rocas microcristalinas, que señalan la falta de corrientes intensas y un elevado ritmo de creación de fango carbonico.
 - **Calizas tipo IV:** Biolititas, que son rocas biológicas, tales como estructuras de coral o estromatolitos.
- **Las calizas por su tipo de formación, se tiene**
 - **Caliza oolítica:** Conformada por diminutos granos esféricos conocidos como ooides, que se unen entre sí.



- **Caliza micrítica:** Principalmente compuesta por microcristales de calcita, posee una textura extremadamente suave.
- **Caliza bioclástica:** Incluye pedazos de seres marinos, tales como conchas y corales.
- **Caliza travertina:** Se produce en aguas termales y posee una textura que se puede romper.
- **Caliza litográfica:** Se emplea en la impresión litográfica de grano fino.
- **Caliza dolomítica:** Incorpora una combinación de calcita y dolomita.
- **Las calizas por su textura deposicional tenemos:**

Según Oliveira, (2011), quien fundamenta la clasificación de la roca caliza en las propiedades de la textura deposicional, existen los siguientes tipos de caliza: De textura deposicional reconocible.

- De sedimentos que se encuentran unidos o no durante el proceso de sedimentación (generalmente, debido al desarrollo de estructuras orgánicas)

- Disponibilidad o falta de matriz micrítica (partículas de tamaño arcilla, de menos de 20 μm), en la versión original en inglés: mud, que se traduce literalmente como barro, arcilla.

- De la fábrica de soporte del sedimento inicial (si los granos se encuentran flotando en la matriz o si los granos constituyen el esqueleto de soporte y la matriz simplemente cubre los huecos).

Esto puede ser sintetizado y organizado (Ver Tabla 1).

Tabla 1

Clasificación de la caliza por Dunham

Clasificación de Dunham						
Textura deposicional reconocible					Textura deposicional no reconocible	
Componentes originales no unidos					Componentes originales unidos	(debe subdividirse según clasificaciones que contemplen las texturas físicas o la diagénesis)
						En el momento de la deposición
Más del 1% de matriz micrítica (<i>mud</i>)			Menos del 1% de matriz micrítica			
Esqueleto matriz-soportado		Esqueleto grano-soportado				
Menos del 10% de granos	Más del 10% de granos					
<i>Mudstone</i>	<i>Wackestone</i>	<i>Packstone</i>	<i>Grainstone</i>	<i>Boundstone</i>	Caliza cristalina o dolomía cristalina	

Nota: (Oliveira, 2011)

2.2.3 Mapeo geológico en superficie

El mapeo geológico son ilustraciones visuales de la composición geológica de un área específica. Estos mapas ofrecen datos acerca de la formación de las



rocas, la topografía, la geomorfología y otras características geológicas vinculadas con la dinámica del área de estudio (Ingemmet, 2010).

Los mapas geológicos son un instrumento esencial para la búsqueda de minerales y recursos naturales, la edificación de infraestructuras y la mitigación de peligros geológicos. Además, facilitan la comprensión de la historia geológica de un área y su progreso a través del tiempo.

Para elaborar un mapa geológico es necesario un análisis exhaustivo del terreno, que comprende la recolección de datos geológicos, la ejecución de exámenes y análisis de laboratorio, y la interpretación de los datos adquiridos. Basándonos en esta información, se crea un mapa que ilustra la ubicación de los distintos tipos de rocas y su vínculo con la topografía y la geomorfología del área (Escuela, 2024).

- **Mapeo Geológico General**

Presenta la disposición general de las rocas y entidades geológicas en una zona. Incorpora datos acerca de la edad, composición y formas geológicas, de esta manera se entiende la geología regional.

- **Mapeo de Unidades de Roca**

Se centra en ilustrar las diversas unidades de roca que se encuentran en una zona, resaltando sus fronteras y particularidades.

- **Mapeo Estructural**

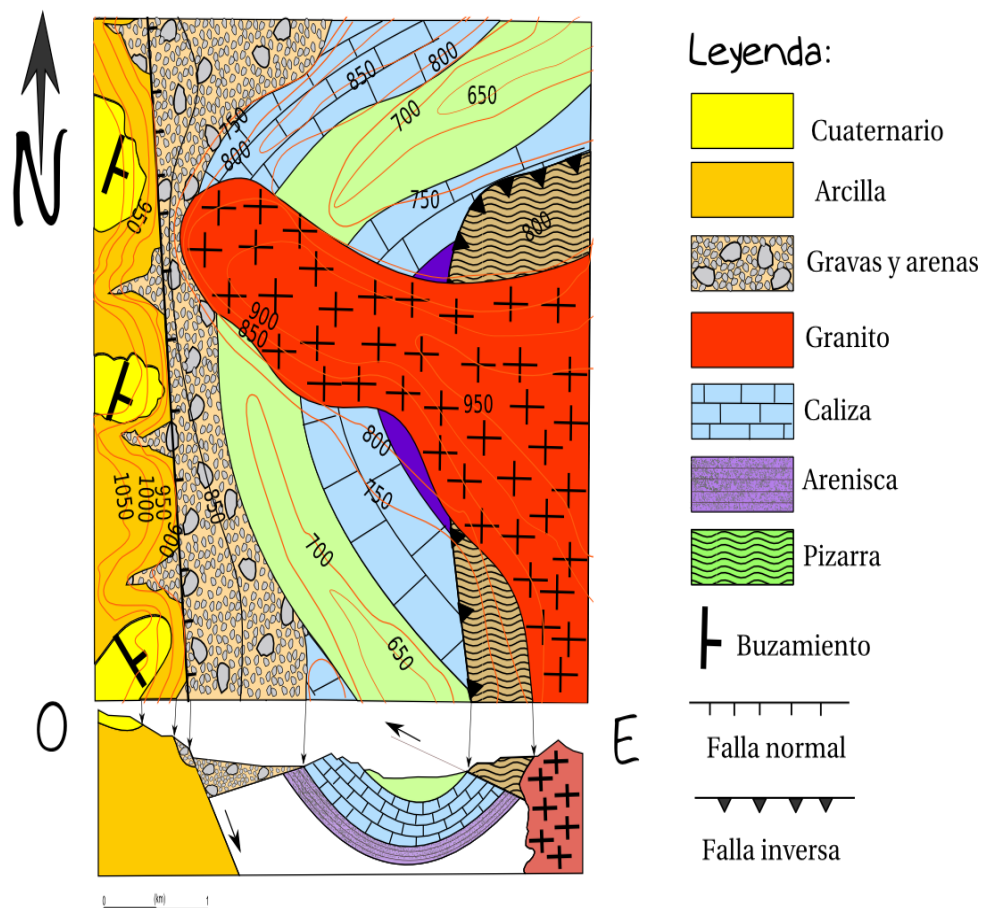
Representa la organización tridimensional de estructuras geológicas, tales como pliegues y fallas. Incorpora datos acerca de la dirección de las capas de rocas.

- Mapeo de Recursos Minerales

Explica la ubicación de recursos minerales, tales como depósitos de metales valiosos, minerales industriales, entre otros (Ver Figura 2).

Figura 2

Mapeo geológico de un afloramiento de caliza



Nota: Mapeo geológico (Escuela, 2024).



2.2.3.1 Muestreo por canales

La muestra por canales se caracteriza por ser un muestreo tabular que se emplea para conseguir una muestra uniforme y continua en una longitud determinada. El valor de la información se asemeja a un sondeo. La ubicación y la longitud de la canaleta estarán sujetas a la longitud y dirección de la característica a estudiar, manteniendo su anchura y profundidad inalterables. En nuestra situación, las medidas se situaron en 10 cm de ancho y 5 cm de profundidad, lo que garantizó un volumen adecuado de muestra para su preparación, análisis, química, almacenaje y revisiones (Lambert, 2006).

Cuando se busca obtener una muestra de tipo canaleta, la primera acción implica determinar en el área del afloramiento la dirección y la longitud, así como los intervalos en los que se recupera la muestra. A no ser que sea necesario de otra forma, la canaleta debe dirigirse de forma perpendicular a cualquier elemento lineal del conjunto, en caso de ser necesario. La longitud del intervalo de muestra a obtener depende de la potencia y litología de los elementos lineales, así como del nivel de precisión requerido (Ver Figura 1).

ejemplo:

3m: para cuerpos continuos y homogéneos.

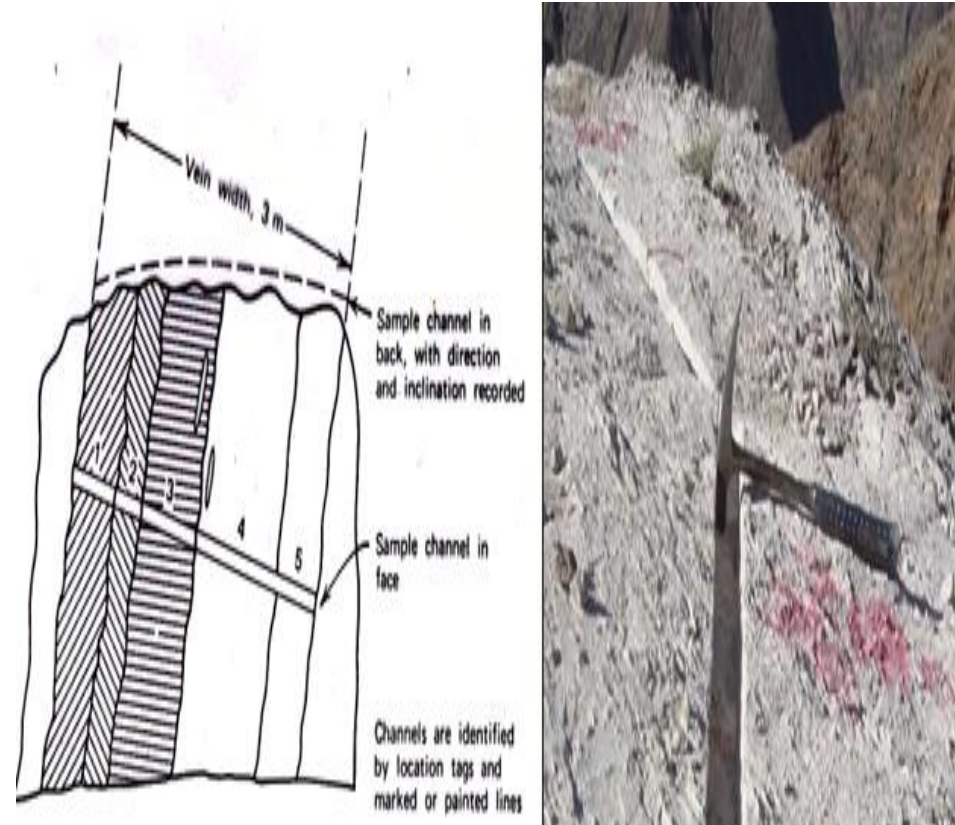
1-3m: en general, para los cuerpos homogéneos con cierto control estructural.

1m: en zonas con gran variabilidad y fuerte control estructural (vetas, fallas, etc.).

Una vez cortada la muestra, se recolecta a través de una lona, con el objetivo de reducir la contaminación al mínimo. Para una restitución topográfica futura, es necesario marcar en el terreno con pintura biodegradable en cada intervalo de muestreo, especificando el número de muestra y el metraje. Se procurará minimizar la contaminación ambiental de acuerdo con las regulaciones medioambientales y disminuir al mínimo la polución ambiental. (Lambert, 2006)

Figura 3

Muestreo por canales perpendicular a la estructura



Nota: Muestreo de Minerales , (Lambert, 2006).



2.2.3.2 Levantamiento topográfico con dron

Un levantamiento topográfico a través de drones es un método que emplea vehículos aéreos no tripulados, a menudo denominados drones, para recopilar información topográfica de una zona específica. Estos drones cuentan con cámaras y sensores específicos que capturan imágenes y datos geoespaciales, los cuales posteriormente se procesan para producir mapas en 3D y modelos digitales del suelo. (Cueva Bustamante, 2023)

Así pues, un levantamiento topográfico con dron es meramente un levantamiento que se lleva a cabo desde el cielo utilizando un dron.

- **Ventajas**
- **Eficiencia y rapidez**

Los drones tienen la capacidad de cubrir extensas áreas de territorio en un breve lapso de tiempo. A diferencia de los procedimientos convencionales de topografía, que requieren la asistencia de personal en el terreno durante extensos periodos, los drones facilitan la realización de levantamientos de forma más eficaz y veloz.

- **Precisión y detalle**

Los drones cuentan con cámaras de alta resolución y sensores de vanguardia, lo que facilita la captura de datos con una exactitud y minuciosidad sobresalientes. Esto conduce a mapas y modelos topográficos más exactos, lo cual optimiza la toma de decisiones en proyectos

- Seguridad

Al llevar a cabo una inspección topográfica con drones, se disminuye la necesidad de que el personal opere en áreas que podrían ser peligrosas. Esto incrementa la seguridad en el trabajo y reduce los peligros vinculados a la exposición a circunstancias complicadas o inaccesibles.

- Flexibilidad y adaptabilidad

Los drones proporcionan una amplia adaptabilidad en lo que respecta al acceso a zonas remotas o de acceso complicado. Son capaces de volar a diversas altitudes y ángulos, lo que facilita ajustarse a las exigencias particulares de cada proyecto y conseguir una visión integral del terreno (Ver Figura 4).

Figura 4

Levantamiento topográfico de una determinada área con dron.



Nota: Muestreo de Minerales , (Lambert, 2006).

2.2.4 Óxido de calcio

Que es para que se usa, aplicaciones etc.

Alca y Murillo, (2017), el óxido de calcio (CaO) es un compuesto químico natural que se origina de la roca caliza al ser expuesta a altas temperaturas, resultando en cal viva. Durante este proceso, el carbonato de calcio se transforma en óxido de calcio al liberarse el dióxido de carbono presente en la piedra.

- **Aplicación y usos del óxido de calcio**

- **Industria**

- Siderurgia; se utiliza como fundente y escorificarte.
- Metalurgia; Se utiliza en varios procesos industriales: durante la flotación, en la fundición de cobre, plomo y zinc, en la fabricación de magnesio (a través de métodos electrolíticos o de reducción térmica, en los cuales se emplea cal viva), en la producción de aluminio, y como agente escorificante para prevenir la formación de compuestos de aluminio y sílice.
- Alimentaria; se emplea en la industria azucarera; en ostricultura; en piscicultura; en la industria cervecera, en la industria láctea, etc; en la nixtamalización del maíz para obtener masa de maíz nixtamalizada para hacer tortillas mexicanas y todos los derivados de ella.
- Vidrio; su uso proporciona vidrios más brillantes y con mejor color. La fusión es más rápida, lo que se traduce en un ahorro económico durante la fabricación del vidrio.



- Curtidos; una de sus aplicaciones más antiguas, los baños de lechada de cal permiten suavizar las pieles antes de ser curtidas, facilitando la extracción de pelos y el hinchamiento de las mismas.

- **Construcción**
 - Infraestructura; en estabilización de suelos y principalmente en el tratamiento y/o remediación de suelos con presencia de arcilla.

 - Edificación; en la producción de casas prefabricadas se utiliza cal: hormigón celular u hormigón poroso, ladrillos silicocalcáreos y bloques de tierra comprimida.

- **Medio Ambiente**
 - Tratamiento de agua potable (purificación); Se utiliza para suavizar, purificar, eliminar turbidez, neutralizar ácidos y eliminar sílice y otras impurezas para mejorar la calidad del agua.

 - Tratamiento de aguas residuales y de lodos; se emplea frecuentemente en los tradicionales procesos químicos de tratamiento de aguas residuales industriales, principalmente de tipo inorgánico. También se emplea extensamente en el tratamiento o procesamiento de lodos en plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas o industriales con contaminantes orgánicos.

- **Agricultura**
 - Enmienda, la cal se utiliza como enmienda para mejorar las propiedades del suelo agrícola: acidez, porosidad y actividad biológica del suelo.



- Tratamientos fitosanitarios; se emplea en la elaboración de caldos con cobre destinados a los tratamientos que las plantas reciben con el propósito de protegerlas de los ataques de hongos, tales como mildiu de la vid, roña o moteado del peral y manzano, lepra del melocotonero, entre otros.
- Biosida; puede ser empleada como biosida, cuyo objetivo es aniquilar, neutralizar, evitar la acción o ejercer el control de otro tipo sobre cualquier organismo perjudicial por medios químicos o biológicos.
- Alimentación animal; la cal, debido a su alta velocidad de reacción, se emplea como reactivo en la producción de jabones cálcicos para la creación de aditivos y derivados de alimento para animales.

2.2.4.1 Proceso de elaboración

El proceso de extracción de roca caliza de las canteras se utiliza para la producción de cemento y cal viva (Ver Figura 5).

El cemento se produce mediante la calcinación de la caliza relativamente pura (usualmente de baja pureza), y se emplea en la edificación y en otras actividades civiles. También se puede obtener cal viva mediante la calcinación de la caliza de alta pureza a más de 2,000 oC, la cual se emplea en diversos procesos químicos en la industria contemporánea. El método de explotación que se emplea en las canteras generalmente es el banqueo con una altura de banco de 2 m a 10 m, con uno o varios niveles, y usualmente ubicados a nivel medio (Asqui Flores, 2019).

Figura 5

Explotación cantera de caliza.



Nota: <https://sanmartin.com/servicios/operacion-minera>.

Las operaciones unitarias de minado en el minado por circuito de las canteras no metálicas están comprendidas por:

- **Proceso de extracción de Caliza**

En las canteras no metálicas, la perforación se lleva a cabo mediante equipos de percusión neumática, de tipo martillo en cabeza como el track-drill y de tipo martillo en fondo, en los bancos de menor tamaño se emplea el jackleg. Los diámetros de los taladros que se emplean fluctúan entre 3" y 6" como máximo, permitiendo realizar trazos de cualquier estilo con dimensiones que oscilan entre 1.60 m y 4.50 m.



La operación de voladura en las canteras no metálicas se lleva a cabo de manera tradicional. La puesta en marcha de los taladros se realiza de manera pirotécnica. La carga de los taladros se realiza manualmente. La operación de carga en las canteras se lleva a cabo con equipos no de grandes tamaños, como las excavadoras con una capacidad que oscila entre; así como con equipos de acarreo mínimo, como los cargadores frontales (Asqui Flores, 2019).

- **Procesamiento de la roca caliza para el óxido de calcio**

Normalmente, la cal se produce mediante la descomposición térmica de materiales como la piedra caliza, que contiene carbonato cálcico (CaCO_3), un material obtenido de depósitos sedimentarios conocidos como caliches. Se expone a temperaturas extremadamente elevadas, que varían entre 900 y 1000 grados Celsius, en un horno. El procedimiento conocido como calcinación libera una molécula de dióxido de carbono (CO_2), lo que da como resultado el material conocido como óxido de calcio (CaO), de tonalidad blanca y altamente cáustica (quema los tejidos orgánicos). Usualmente también incluye óxido de magnesio, óxido de silicio y escasas cantidades de óxidos de aluminio e hierro (Sanga Huaracallo, 2019).

A. Chancado del mineral

La roca obtenida de la extracción se disminuye en tamaño y se categoriza de acuerdo a la granulometría necesaria para la calcinación. Esta roca es llevada a través de bandas hasta los stockpiles de los hornos. (Sanga Huaracallo, 2019).



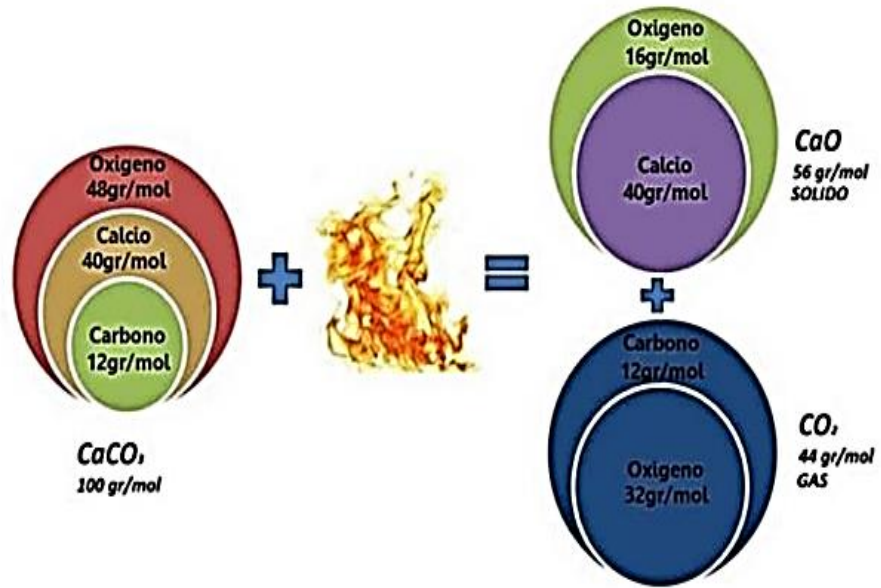
B. Calcinación de la caliza

Para Sanga Huaracallo (2019), el calor proporcionado a la caliza para su transformación genera un efecto inicial que implica la evaporación del agua de la cantera. Luego continúa elevando la temperatura hasta alcanzar la desintegración de la caliza. Se creía que el calor utilizado para evaporar el agua de cantera era calor disipado, sin embargo, Gay Lussac evidenció que la existencia de agua y del vapor generado por esta facilita el proceso de disociación.

- La cal se genera a través de la calcinación de las rocas calizas a través de corrientes de aire caliente que entra en las cavidades o poros de los fragmentos rocosos; las rocas liberan dióxido de carbono, generando así un producto principal.
- Óxido de Calcio (CaO), resultado de la conversión del Carbonato de Calcio (CaCO_3), también conocido como Cal Viva. Por el tamaño y forma uniformes de los fragmentos, la cocción se produce desde la periferia hasta el centro, resultando en una roca calcinada de manera perfecta (Ver Figura 6 y 7).

Figura 6

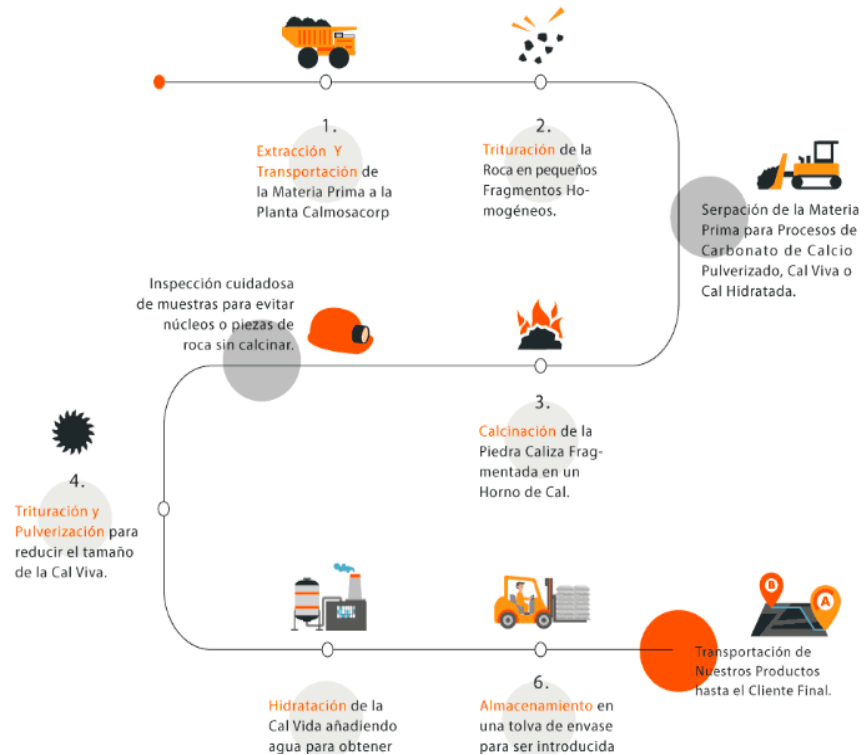
Resultado de la reacción.



Nota: Manual de competencias de calcinación, Calidra Perú.

Figura 7

Proceso de la obtención de la cal.



Nota: www.calmosacorp.com (cal y minerales).



2.2.5 Modelamiento explícito de un yacimiento

Para cubicar las reservas de un depósito mineral, se necesitan determinadas propiedades físicas deducidas del depósito mineral mediante la recolección de información, el análisis de los datos y el modelo geológico. Algunos de los factores pertinentes para la valoración del yacimiento son:

- La magnitud, la forma y la continuidad de las áreas del yacimiento.
- Frecuencia de mineralización parecida (áreas de mineralización constante vertical u horizontal).
- El cambio espacial en la mineralización (creación de modelos de bloques con mineralización particular).
- Elementos geológicos y estructurales como fisuras, forma del yacimiento, conexiones, entre otros.

Para calcular correctamente las reservas, es esencial poseer un entendimiento básico del procedimiento de minería a utilizar. Esto es importante dado que cada actividad minera posibilita la recuperación de volúmenes específicos de mineral (Contreras Menendez, 2017).

Los factores mineros más relevantes para el análisis de reservas son:

- La capacidad de mineralización que resulta económicamente lucrativa.
- El nivel de selectividad y la magnitud de la planta de procesamiento.
- Cambios en el depósito que perjudiquen la habilidad para obtener el mineral.



2.2.5.1 Trazado de secciones

Para Contreras Menendez, (2017) es el procedimiento que segmenta el yacimiento en secciones verticales o "cortes" paralelos entre sí para lograr cortes transversales del mismo (Ver Figura 8). Basándonos en estos cortes, podemos determinar el volumen y tonelaje de estéril y mena mediante las siguientes ecuaciones:

Para el cálculo de volumen (V) se emplea la ecuación 1

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} \times L1 \quad (1)$$

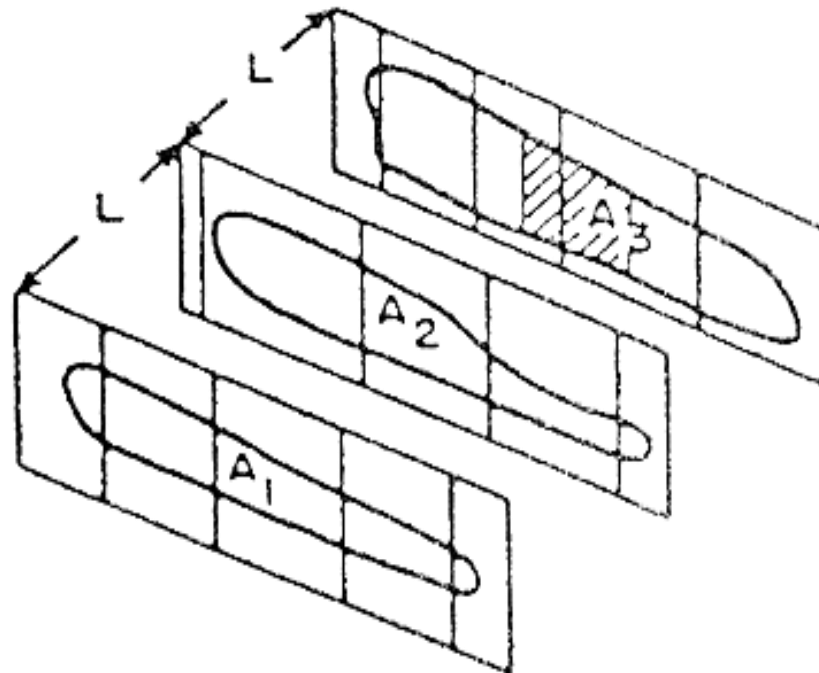
Para el cálculo del tonelaje (T) se aplica la ecuación 2

$$T = \frac{A_1 + A_2}{2} \times L1 \times t \quad (2)$$

Donde "t" es la densidad media del mineral (t/m³).

Figura 8

Secciones en un yacimiento y elementos del cálculo de reservas.



Nota: (Contreras Menendez, 2017)

Para implementar este procedimiento, es aconsejable que las secciones edificadas posean la mayor cantidad de perforaciones alineadas posibles, lo que proporcionará la mayor representación del depósito en las secciones. Cuantas más perforaciones haya en el yacimiento, más se podrán lograr secciones con menos separación y mayor exactitud en la representación del yacimiento en las secciones y en el cálculo de reservas utilizando estas. (Contreras Menendez, 2017)

2.2.5.2 Proyección de sólidos

Se trata de la ilustración en dos o tres dimensiones de un volumen de rocas. Este puede simbolizar la litología, mineralización, modificación u otros rasgos geológicos del macizo rocoso. Es un componente esencial



en el proceso de cálculo de reservas de un depósito. (Cueva Bustamante, 2023)

El procedimiento para elaborar un modelo incluye fundamentalmente:

- Determinar las unidades a modelar.
- Establecer la dirección del modelo, la distancia y la cantidad de juegos de secciones bidimensionales a analizar.
- Desarrollo de sólidos o litologías relevantes.
- Comprobar el modelo

El desarrollo de un sólido es una de las fases iniciales en la evaluación de recursos y demanda un profundo entendimiento del depósito y una base de datos verificada. Según los parámetros empleados en el modelado, como la cantidad de juegos de secciones, paredes compartidas y el respeto al intercepto del sondeo, el modelo presentará un nivel de incertidumbre más bajo o más alto. (Cueva Bustamante, 2023)

2.2.5.3 El modelo de bloques

Consiste esencialmente en representar el yacimiento como un conjunto de bloques o cubos de dimensiones idénticas, y con información particular en cada uno de ellos, como leyes, mena, ganga, entre otros. (Contreras Menendez, 2017)

El dimensionamiento de los bloques se basa en diversos factores, siendo los más relevantes los siguientes:



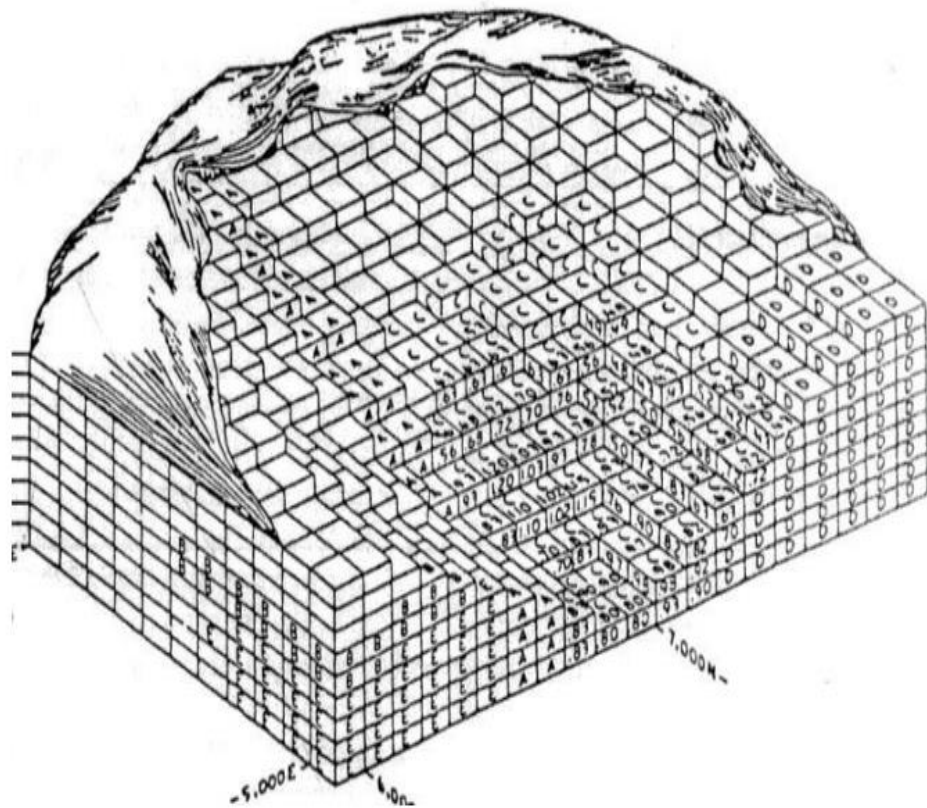
Cambiabilidad de las normativas.

- La persistencia geológica en el depósito.
- Dimensiones de las muestras o sondeos y la separación entre las mismas.
- Capacidad de los equipos de minería para su uso.
- Talud del diseño minero.
- Capacidad específica del equipo informático utilizado.

La elaboración de los bloques y las particularidades de cada uno se lleva a cabo a través de variogramas computarizados, basándose en sondeos o perforaciones y otros datos geológicos de importancia (Ver Figura 9).

Figura 9

Modelo de bloques de un yacimiento con iguales dimensiones



Nota: (Contreras Menendez, 2017)

2.2.5.4 El modelo de leyes

Se trata de la ilustración en dos o tres dimensiones de un volumen de los sondajes de leyes. Este puede simbolizar la litología, mineralización, modificación u otros rasgos geológicos del macizo rocoso. Es un componente esencial en el proceso de cálculo de reservas de un depósito.

Previamente, los ensayos reportados por el laboratorio se introducen como base de datos en el software correspondiente, donde la tabla ASSAY crea dos campos equivalentes, uno de las leyes originales, y otro en el que se ajustarán las leyes equivocadas. Igualmente, en la tabla



SURVEY se registra cada canal en función de su localización espacial (coordenadas Norte, Este y Cota). Para la obtención de bloqueo mineral, se requieren antes los siguientes datos: (Cueva Bustamante, 2023)

- **Promedio de Leyes de cada Taladro**

Usualmente, un taladro cuenta con más de una muestra, razón por la cual se debe calcular la media ponderada de las Leyes de cada canal. Las leyes de muestras muy bajas situadas en los costados del canal no se toman en cuenta para promediar.

- **Leyes Erráticas**

Si existen Leyes Erráticas, se deben sustituir por la media de las dos muestras previas y las dos muestras subsiguientes, que pertenecen a la misma banda donde se encuentra la muestra errática.

- **Calificación de Leyes taladro por taladro**

Una vez realizados los pasos previos, se realiza la evaluación de las leyes equivalentes diluidas de cada canal considerando los Cut-Offs establecidos. Esto permite determinar si su ley se alinea con el valor de Mena, Marginal, Submarginal o Baja Ley, para posteriormente establecer qué segmentos de canales se corresponden con Mena, etc. Indudablemente, en ciertos segmentos pueden considerarse partes estériles o de ley más baja que el Cut-Off correspondiente, siempre que no existan cinco canales seguidos con leyes inferiores a los valores de Mena, Marginal o Submarginal. En caso de que esto suceda, se procederá a dividir



el segmento de 5 canales en Mineral Submarginal o Baja Ley, dependiendo del caso (Cueva Bustamante, 2023)

- **Longitud Mínima y Máxima de Bloque de Mineral**

La Longitud Mínima requerida para formar un Bloque de Mineral se determinará en función de la longitud mineral, debido a la irregularidad en la continuidad de las vetas estrechas. Dentro de los bloques de Mena, según los casos, pueden existir o no Bloques Marginales, Submarginales o de Baja Ley (Cueva Bustamante, 2023)

2.2.6 Estimación de recursos

La aplicación de la estimación de Recursos abarca desde métodos basados exclusivamente en datos estadísticos convencionales (seccionales, polígonos, inverso de la distancia) hasta aquellos que incorporan las propiedades espaciales de los datos recolectados en el lugar (kriging y sus variantes). (Godoy, 2009)

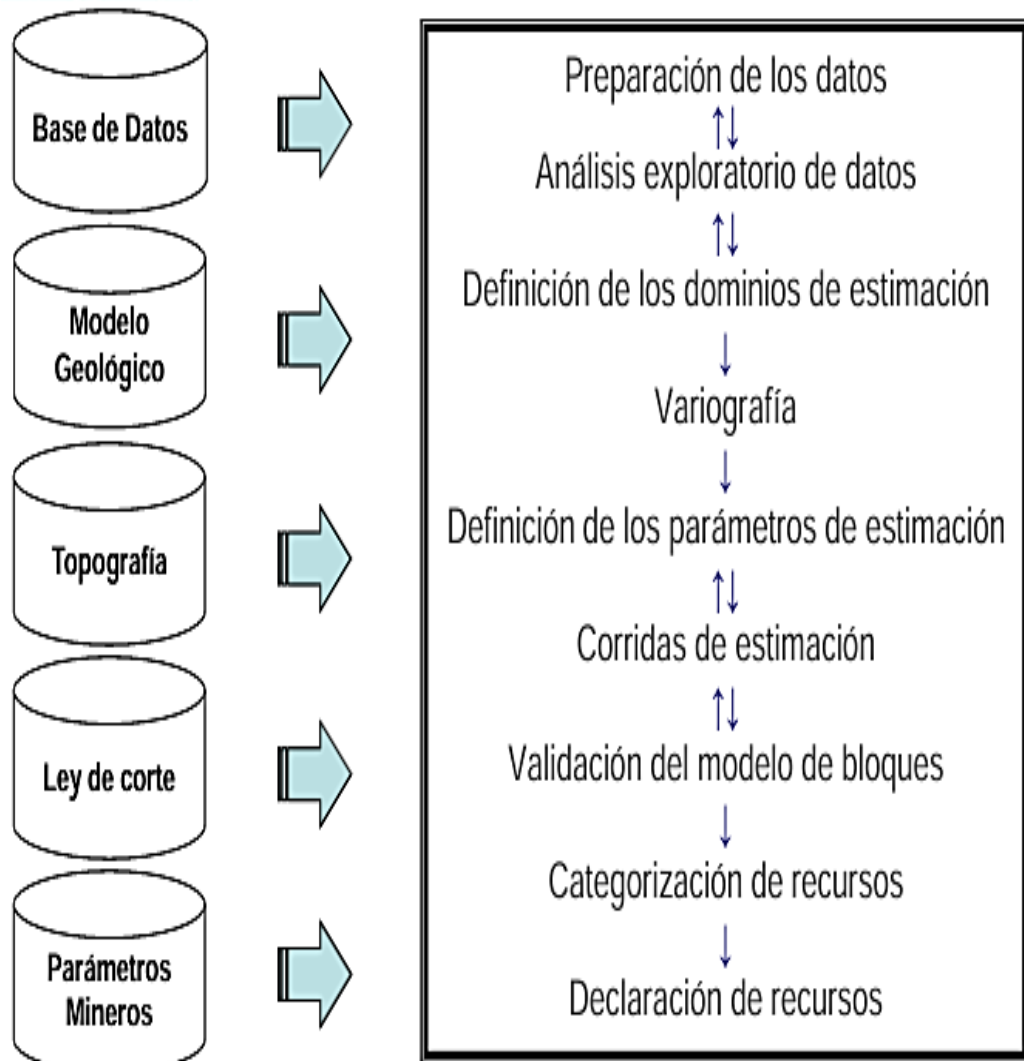
Importancia de hacer una estimación de recursos

- Obtener una estimación precisa en términos de volúmenes, leyes, tonelajes y cantidad de metal o mineral
- Efectuar la clasificación de los recursos en las categorías de Medido, Indicado e Inferido según el nivel de confianza en la estimación
- Elaborar un modelo de bloques apropiado para el desarrollo de Reservas Mineras

Godoy, (2009) las estimaciones no son determinaciones ni cálculos exactos, dado que la información recolectada y empleada es limitada. Estas proyecciones representan valores previstos (Ver Figura 10 y 11).

Figura 10

Procesos de estimación de recursos



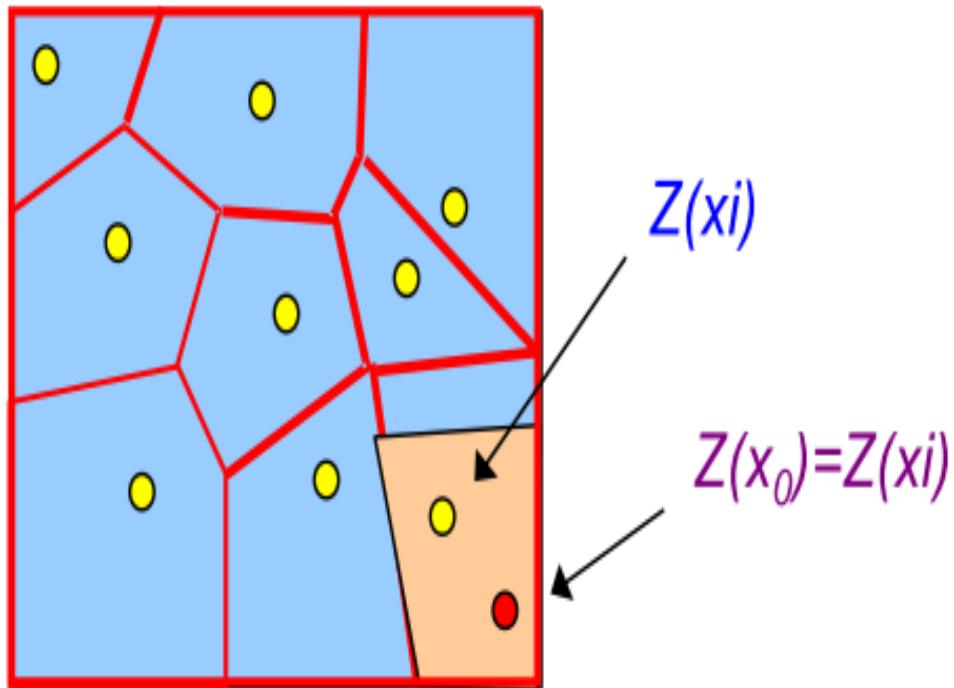
Nota: Godoy, (2009)

- **Métodos de Estimación**

• **Poligonal**

Figura 11

Estimación poligonal



Nota: Godoy, (2009)

• **Ventajas**

Implementación sencilla, contempla la agrupación de los datos.

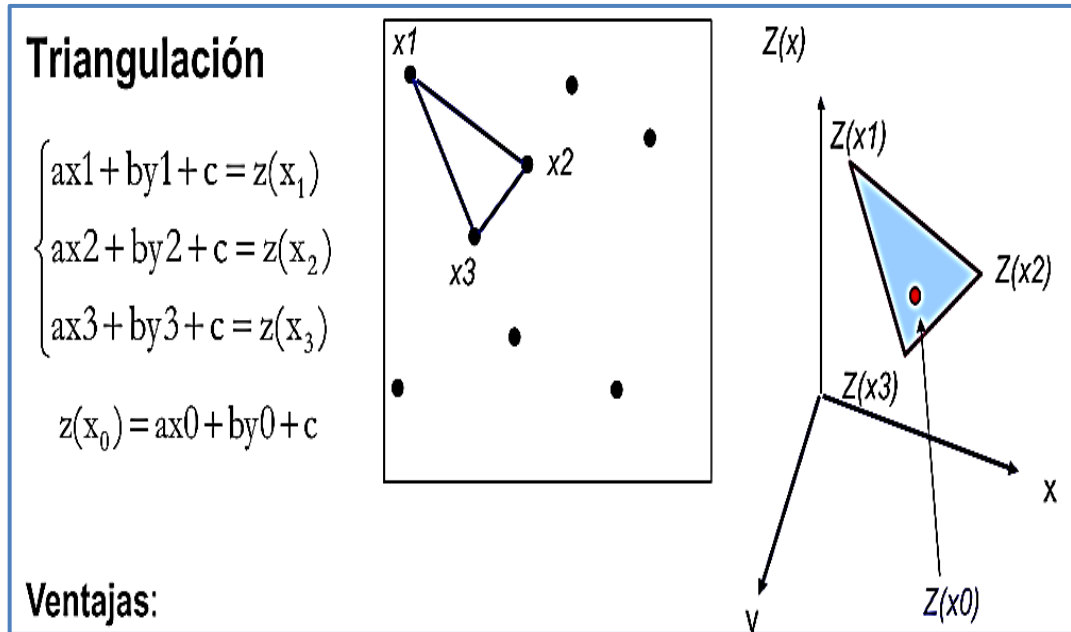
• **Desventajas**

Genera variaciones discontinuidades entre los polígonos. Necesita un volumen considerable de datos. No contempla una variación en el volumen de las muestras hacia el volumen superior de los polígonos (Ver Figura 12).

- **Triangulación**

Figura 12

Estimación por triangulación



Nota: Godoy, (2009)

- **Ventajas**

Sencillez, toma en cuenta la agrupación de los datos.

- **Desventajas**

Discrepancias entre triángulos. El peso de cada muestreo se establece mediante un criterio geométrico.

A. Recursos Inferidos

Es la sección de un Recurso Mineral cuyo tonelaje y ley pueden calcularse con un nivel de confianza reducido. Se estima e infiere basándose en pruebas geológicas, y se asume la continuidad geológica y la ley, pero no se verifica. Se fundamenta en la información recolectada, a través de técnicas adecuadas, de



afloramientos, trincheras, rajos, tareas y sondeos que pueden ser restringidos o de alta calidad y fiabilidad inciertas. (Cueva Bustamante, 2023)

Usualmente, la fiabilidad en la estimación de Recursos Minerales Inferidos no es suficiente para posibilitar que los resultados de la implementación de los parámetros técnicos y económicos sean utilizados en un planeamiento minucioso.

B. Recursos Indicados

Es la sección de un Recurso Mineral cuyo tonelaje, ley, densidad, forma, tamaño y otras propiedades geológicas pueden ser calculados con un nivel de confianza aceptable. Su proyección se fundamenta en datos de exploración, muestreo y análisis obtenidos a través de métodos adecuados en sitios como afloramientos, trincheras, tajos, tareas y sondeos. Los sitios de recolección de datos (muestreo, mediciones y otros) se encuentran tan distanciados o incorrectamente distanciados como para corroborar una continuidad geológica y de ley, sin embargo, este distanciamiento es suficiente para aceptar tal continuidad. El nivel de confianza es lo bastante elevado para aceptar la continuidad (Cueva Bustamante, 2023)

Es suficiente la confianza en la estimación para posibilitar la implementación de parámetros técnicos y financieros, así como una evaluación de la viabilidad económica.

C. Recursos Medidos

Se refiere a la sección de un Recurso Mineral cuyo tonelaje, ley, densidad, forma, tamaño y otras propiedades físicas pueden calcularse con gran fiabilidad. Se fundamenta en datos precisos y fiables de exploración, muestreo y pruebas



obtenidos a través de técnicas adecuadas en sitios como erupciones, trincheras, rajos, tareas y sondeos. Los sitios de recolección de datos (muestreos y otros), se encuentran lo bastante próximos para corroborar una continuidad geológica y legal. (Cueva Bustamante, 2023)

La confianza en la estimación es suficiente para permitir el uso de parámetros técnicos y financieros, y posibilitar una evaluación de la viabilidad económica, que posee un nivel de certeza superior a una evaluación fundamentada en un Recurso Mineral Indicado (Ver Figura 13).

Figura 13

Estimación de recursos y reservas



Nota: (Cueva Bustamante, 2023)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DISEÑO METODOLÓGICO

3.1.1 Tipo de investigación

La presente investigación fue de tipo aplicada - cuantitativa.

Fue aplicativo, ya que se utilizó el software de MinePlan, primeramente, para realizar el modelamiento geológico del proyecto Puya-Puya de modo que se pudo obtener un modelo de bloques tridimensional-compacto, en el cual ha almacenado todos los ítems provenientes de la exploración geológica del yacimiento calcáreo de afloramientos de roca caliza de la Formación Ayabacas del sector Caracoto. Luego se aplicó la herramienta del MS Reserve para estimar los recursos de cada cuerpo calcáreo.

En el capítulo de resultados, se describió a todo el procedimiento que conllevó el diseño del modelo de bloques 3D, la cubicación de recursos, y por último el proceso de estimación de reservas en base a las restricciones operativas y condiciones económicas del óxido de calcio que produce la empresa Calcesur.

3.1.2 Diseño de la investigación

La presente investigación tuvo un diseño de tipo descriptivo – transeccional, ya se manipuló la variable independiente (el modelamiento geológico con el software MinePlan) para estimar un determinado valor, es decir, las reservas de los afloramientos de roca caliza del proyecto Puya-Puya, el cual corresponde a la variable dependiente.



I. Procedimiento metodológico

El objetivo específico 1: para diseñar el modelo de bloques, se creó un archivo 10 (PCF) y un archivo 15 de nombre “QAMP15.dat”, estos archivos son necesarios y obligatorios para poder trabajar con el software MinePlan. El archivo 15 fue configurado con todos los ítems necesarios para que puedan almacenar la información geológica recopilada en el proceso de exploración del proyecto Puya-Puya.

Luego se procedió a realizar una codificación singular, particular y acorde de la realidad del proyecto Puya-Puya, con lo cual se ingresó la información de: tipo de roca caliza, el código de cada cuerpo calcáreo, las leyes por cada tipo de roca obtenidas por el mapeo por canales; la densidad de la roca, la topografía del yacimiento. Asimismo, se utilizó el procedimiento “multiple ore percentage” para poder reflejar los contactos de cada estrato por tipo de roca dentro del modelo de bloques 3D. Con toda esta configuración se pudo obtener **un modelo de bloques 3D del proyecto Puya-Puya.**

El objetivo específico 2: para estimar los recursos de cada cuerpo calcáreo presente en los afloramientos de roca caliza del proyecto Puya-Puya, se creó un archivo de extensión “xn. resLogic” mediante la herramienta MS Reserve, este archivo corresponde aún requisito necesario para utilizar dicha herramienta. Esta lógica de reservas fue denominado: RL_Res by OZ.resLogic. Entonces, con este archivo y utilizando los sólidos modelados se pudo estimar el tonelaje del mineral y la ley de óxido de calcio por cada tipo de cuerpo calcáreo y por tipo de roca caliza.



El objetivo específico 3: para determinar las reservas económicas del proyecto Puya-Puya, fue necesario realizar un análisis previo de la ley de corte, lo cual no se ajustaba a la realidad operativa en la empresa Calcesur, ni a las exigencias de la planta de procesamiento, por lo cual se optó por utilizar la ley de cabeza, dato de pureza del óxido de calcio predeterminado por planta. Esta ley de cabeza se tiene que ser mínima 52.00% de CaO máximo 53.50% de CaO. Entonces bajo este parámetro se clasifico las reservas, cumpliendo este requisito solamente la caliza Packstone, necesitando cierto blending, por lo cual también se tomó a la caliza Dolomítica como mena, por estar en contacto en muchos cuerpos calcáreos y porque su ley y tonelaje se ajusta a las necesidades de la empresa.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 La población

La población que comprende este estudio de investigación fue la campaña de exploración en superficie realizadas el año 2019 hasta el 2021, realizadas desde el año 2019 hasta el año 2022 en el proyecto Puya-Puya, ubicada en el sector Caracoto de la Formación de Calizas “Ayabacas”.

3.2.2 Las muestras

Las muestras para esta investigación fueron recolectadas conforme a la técnica de recolección que comprendió 3 fases y se realizaron desde el año 2019 hasta el 2022, estas muestras se organizaron por fases:

3.2.2.1 Fase de recopilación de la información.

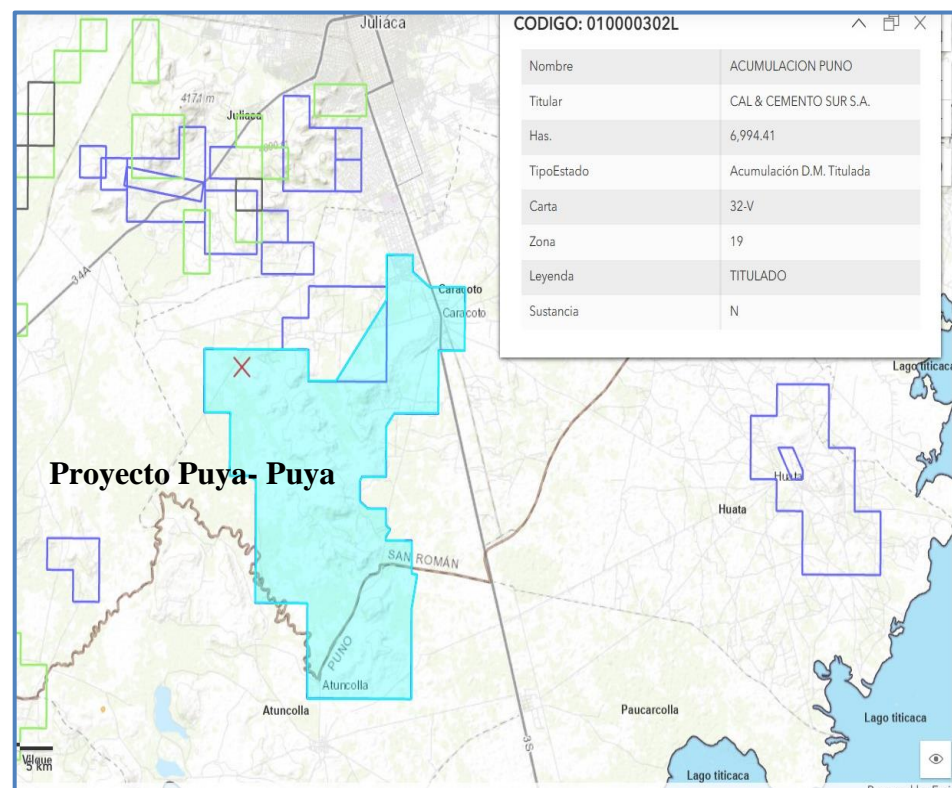
En esta fase se tuvo en cuenta información variada de distintas áreas operativas de la cantera Calcesur, así como, información proveniente de GEOCATMIN E INGEMMET. Esta información se detalla a continuación:

A. Concesión del proyecto Puya-Puya

Lo primero que se hizo fue reconocer el área de concesión que pertenece al proyecto Puya-Puya, para ello se utilizó el GEOCATMIN, el cual nos muestra la ubicación del proyecto Puya-Puya (Ver Figura 14).

Figura 14

Vista general de la concesión del Proyecto Puya-Puya



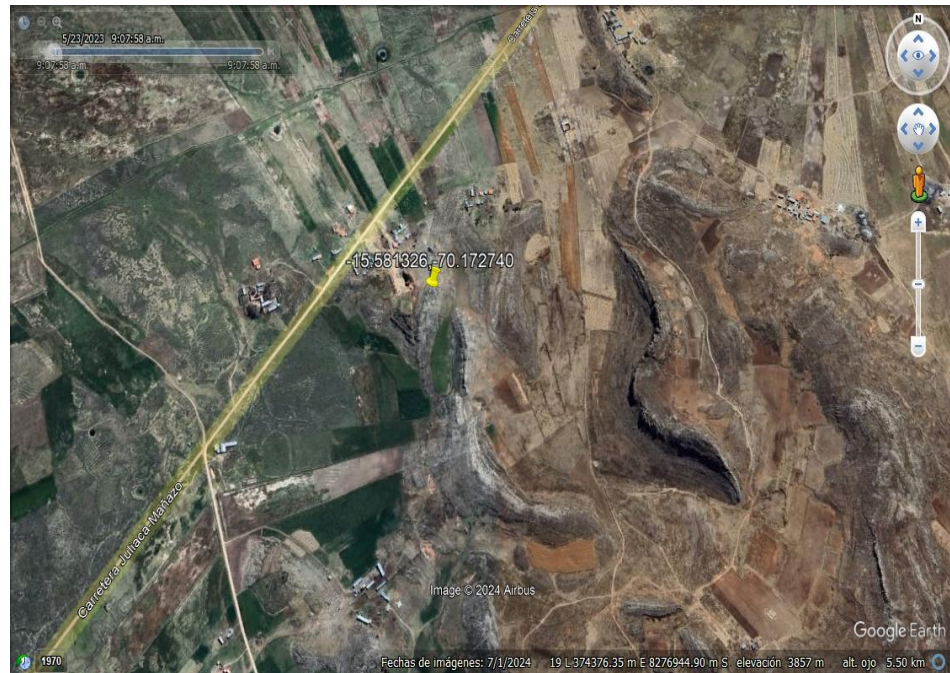
Nota: Cal y Cementos Sur S.A.

B. Imagen satelital del proyecto Puya-Puya

La imagen satelital fue la base para realizar el mapeo geológico de superficie del proyecto. Para ello se ingresó al Google Earth y obtener la información del proyecto Puya-Puya (Ver Figura 5).

Figura 15

Imagen satelital del Proyecto Puya-Puya



Nota: Google Earth.

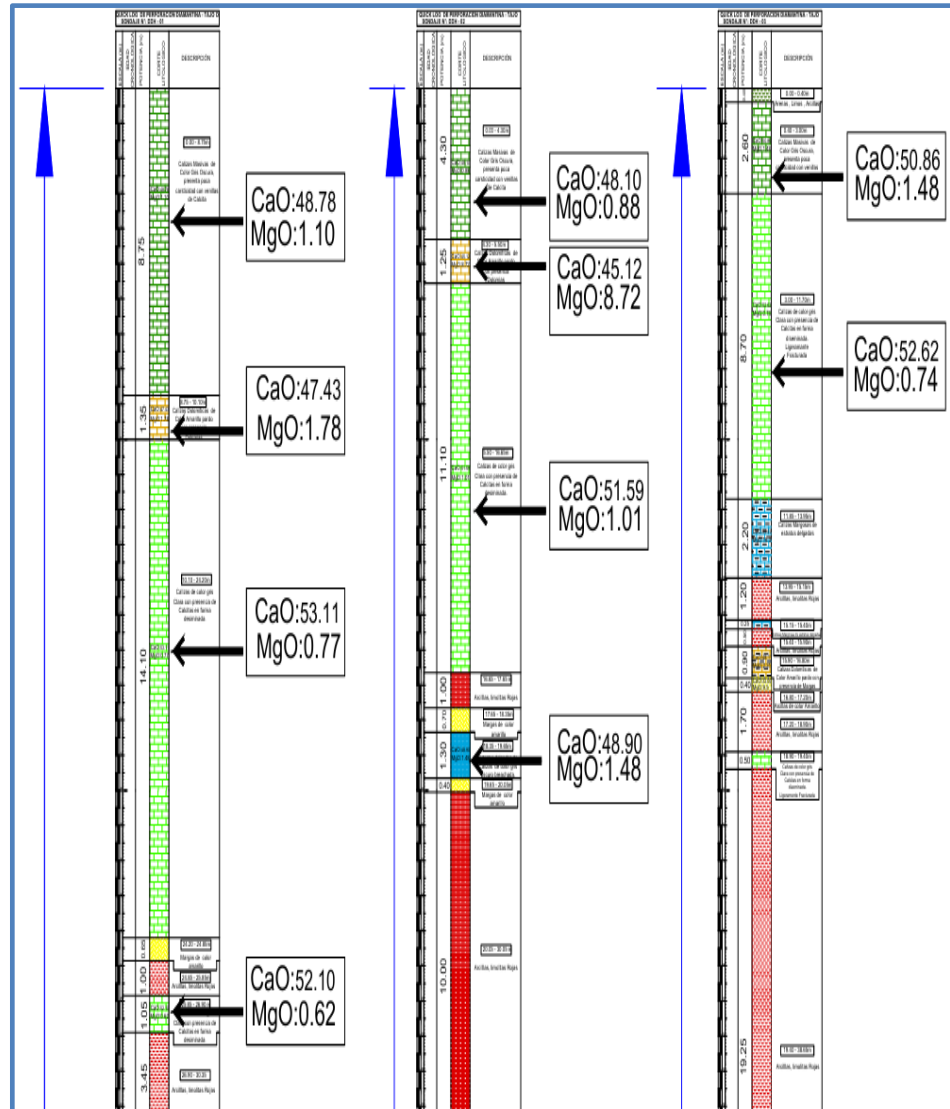
C. Exploraciones diamantinas del proyecto Ayacucho

El proyecto Ayacucho es un proyecto anterior al proyecto Puya-Puya, en el cual se realizaron exploraciones diamantinas para conocer la profundización de la litología de la Formación de Calizas “Ayabacas” en el sector Caracoto. Esta exploración fue base para conocer la profundización de los cuerpos calcáreos de modo que se pueda realizar una mejor proyección de un cuerpo calcáreo en futuros proyectos de exploración como el proyecto Puya-Puya (Ver Figura 16 y 17).

Figura 16

Interpretación geológica de los sondajes DDH 01 hasta 03 del proyecto

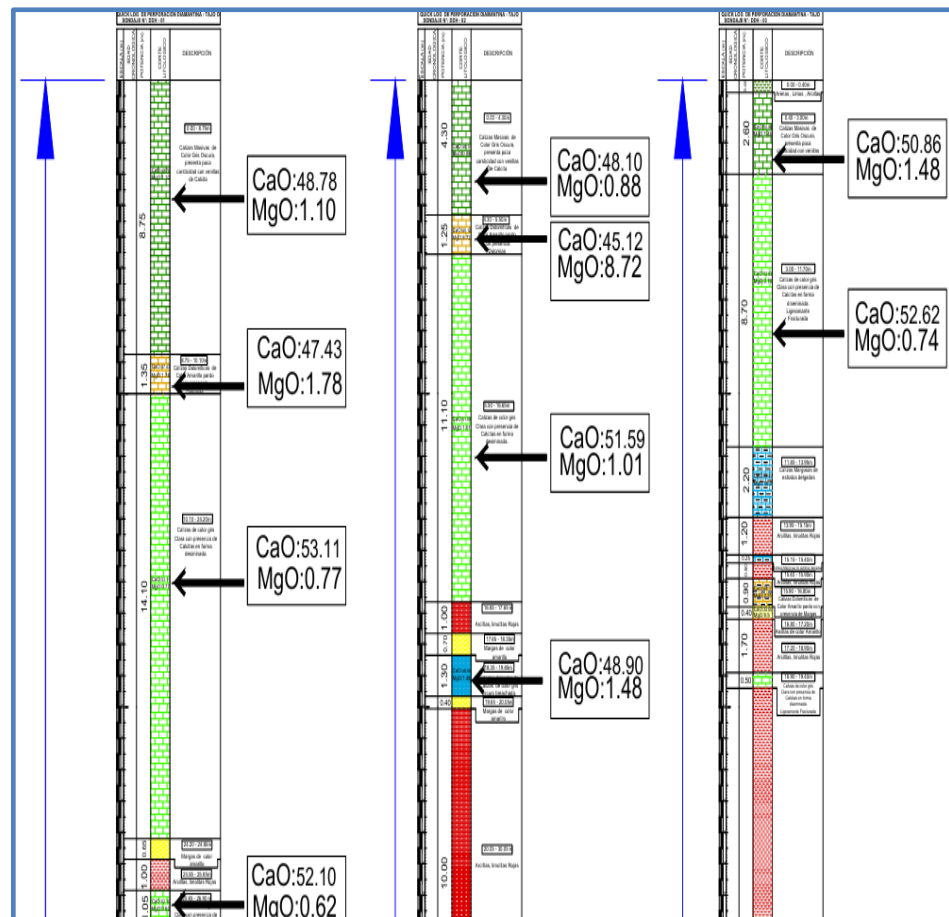
Ayacacucho



Nota: Calcesur.

Figura 17

Interpretación geológica



Nota: Calcesur.

D. Sistema del mapeo por canales en Calcesur:

El mapeo por canales en Calcesur es sistemático llevándose a cabo cada 2 m, en los cuales se traza canales sobre los cuerpos calcáreos para tomar muestras que son analizadas en los laboratorios para determinar las leyes del mineral de óxido de calcio (Ver Tabla 2).



Tabla 2

Características del muestreo por canal en Calcesur

Dimensiones del canal	Aspecto dimensional:	Unidades
	Canal de limpieza	0.30 m
	Canal de muestreo	
Ancho:	(mínimo)	0.20 m
	Canal de muestreo	
	(máximo)	0.30 m
Profundidad:	Mínimo	0.01 m
	Máximo	0.015 m
Longitud:	(Máxima)	0.40 m
	(Mínima)	1.00 m
Peso mínimo/m:	Muestra	2.0 Kg.

Nota: Calcesur.

Figura 18

Proceso del mapeo por canales en el proyecto Puya-Puya



Nota: Google Earth.



E. Datos de la planta de calcinación

Para la fase exploratoria de los cuerpos calcáreos fue necesario conocer la recuperación metalúrgica del proceso de calcinación de la caliza, así como la ley de cabeza los cuales son: 59% y 52 – 53.50 % de CaO respectivamente.

F. Costos operativos en Calcesur

Los costos operativos recolectados principalmente del informe de costos operativos del año 2023. Estos datos serán usados para el cálculo de ley de corte pase y su comparativa con la ley de cabeza (Ver Tabla 3).

Tabla 3

Resumen de los costos operativos de Calcesur

Código	COTIZACIÓN DE	US\$115.00
	LA CAL US\$/TM	
	UNIDADES DE	
	COSTOS	US\$/TM
	EXPLOTACIÓN	
M-01	TAJO ABIERTO	1.45
	PROCESAMIENTO	
P-01	PLANTA	28.10
G-01	COSTOS G&A	1.95
COSTO TOTAL DE OPERACIÓN:		31.50

Nota: Calcesur.



3.2.2.2 Fase de trabajo en campo

En esta fase se hizo todo el proceso exploratorio del proyecto Puya-Puya, en el cual se hizo todo el mapeo geológico de los cuerpos calcáreos que se encontraron en el área de concesión, el mapeo estructural y el levantamiento de la topografía con dron. Toda la data obtenida se detalla a continuación:

G. El mapeo geológico en superficie

Proceso que consistió en identificar y reconocer cada uno de los cuerpos calcáreos que se encontraron en la concesión del proyecto Puya-Puya, así como delimitar las zonas mineralizadas compuestas por las rocas calizas, así como las arcillas muy presentes y asociadas a este tipo de yacimiento (Ver Figura 19).

Figura 19

Reconocimiento de los cuerpos calcáreos y las arcillas colindantes



Nota: Tesista.

Asimismo, en este proceso se realizó la toma muestras de cada tipo de roca caliza presentes en los distintos cuerpos calcáreos. En ese sentido, también se hizo el trazado de los canales y su muestreo para el análisis de leyes (Ver Figura 20).

Figura 20.

Vista del cuerpo calcáreo para tomar muestras y trazar los canales



Nota: Calcesur.

H. El mapeo estructural

En el que se identificó las estructuras presentes y asociadas a la mineralización sedimentaria y calcárea de la roca caliza (Ver Figura 21).

Figura 21

Estratificación de los sedimentos presentes en el proyecto Puya-Puya



Nota: Calcesur.

I. Levantamiento topográfico con Dron

Proceso en el que se hizo el levantamiento de la superficie de toda la concesión del proyecto Puya-Puya utilizando un dron, el cual usó la técnica de fotogrametría para obtener las curvas de nivel a 1 m. Asimismo,

ese trazo y se plantó un punto geodésico para los trabajos de ingeniería en el futuro (Ver Figura 22).

Figura 22

Vuelo del dron para el levantamiento topográfico del proyecto Puya-Puya



Nota: Calcesur.

3.2.2.3 Fase de trabajo en gabinete

En esta fase se hizo un trabajo previo a la elaboración de la tesis concerniente a los trabajos rutinarios en Calcesur, trabajos que consisten en obtener las curvas de nivel, la interpretación geológica, el trazado de los cuerpos calcáreos en AutoCAD, y otros necesarios para realizar un

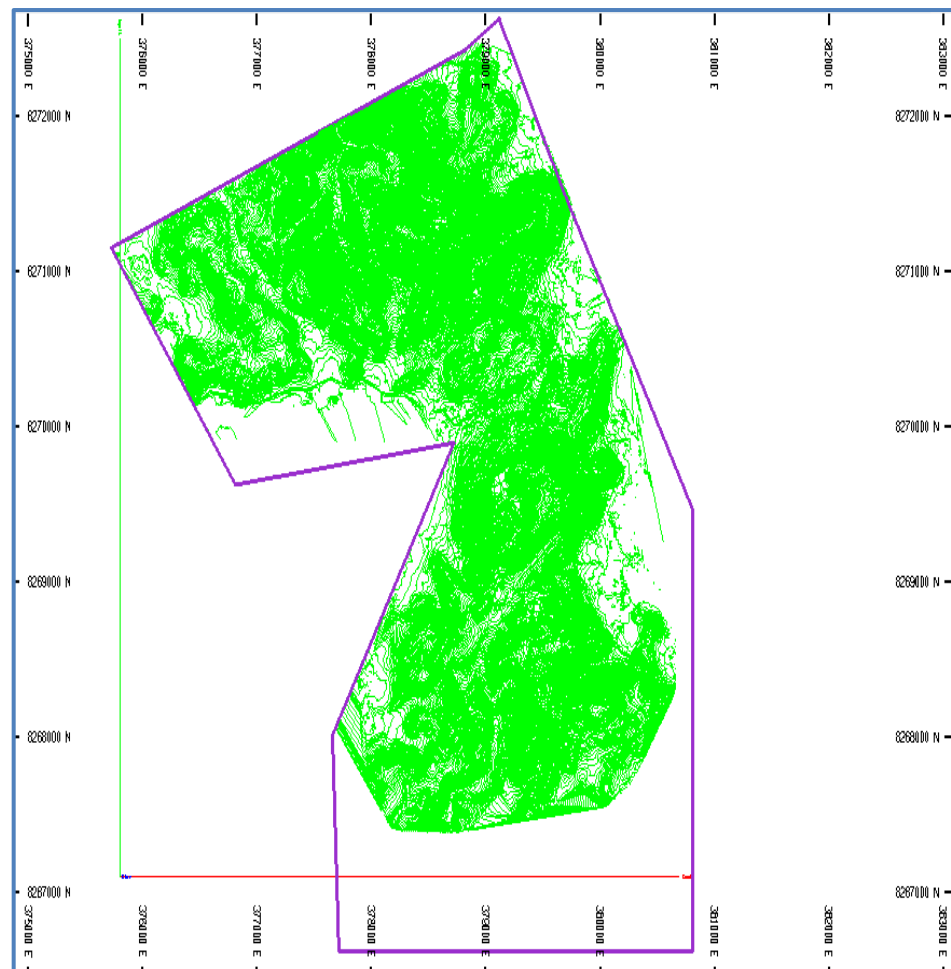
informe técnico geológico del yacimiento del proyecto Puya-Puya. Toda la data obtenida se detalla a continuación:

J. Curvas de nivel del proyecto Puya-Puya

Se obtuvo de una nube de puntos que se le descargó y proceso de levantamiento con dron. Este diseño se hizo directamente en el software MinePlan (Ver Figura 23).

Figura 23

Límite del proyecto Puya-Puya y sus curvas de nivel a 1 m



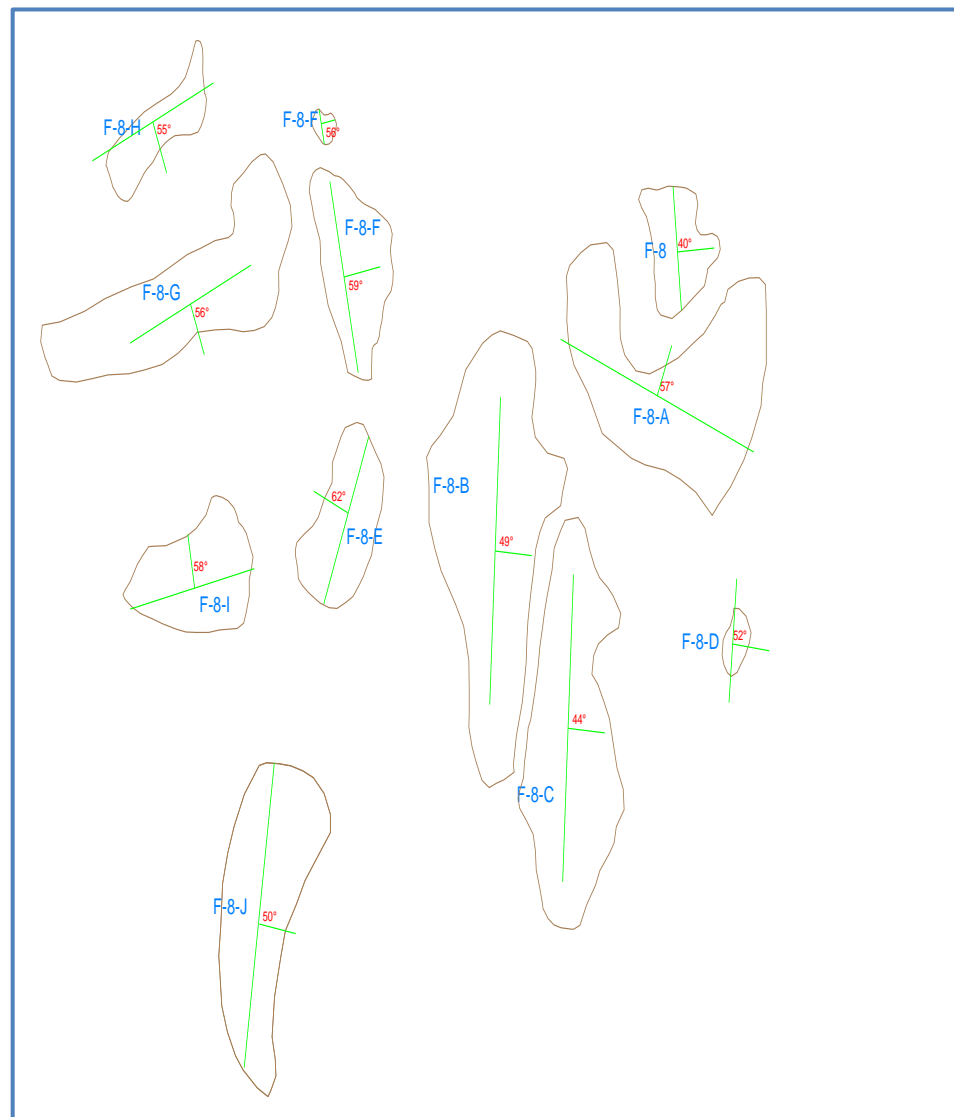
Nota: Calcesur.

K. Trazado de los cuerpos calcáreos

En este proceso a cada cuerpo calcáreo identificado se le nombró con un ID con su respectiva característica estructural, es decir, la dirección y el buzamiento del cuerpo. Este diseño se hizo en 2D para posteriormente obtener un sólido en el software MinePlan (Ver Figura 24).

Figura 24

Diseño de los cuerpos calcáreos en AutoCAD



Nota: Calcesur.

3.3 DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Las variables de esta investigación son:



- **Variable Dependiente → Las reservas de los afloramientos de roca caliza del proyecto Puya-Puya**

Las reservas: según refiere Llanque y Chambi (2012), son el bien más importante que posee una mina, ya que es la parte de mineral del yacimiento explorado que al extraer genero una ganancia a la empresa ejecutora o Dueña de la concesión.

- **Variable Independiente → El modelamiento geológico con el software MinePlan**

El modelamiento geológico: de acuerdo a Hustrulid y Kuchta (2006), es la interpretación geológica que se realiza a un yacimiento por medio de un proceso sistemático – recreativo, diferente del logueo geológico; el cual, tiene la finalidad de representar, por medio de un diseño estandarizado (perfil), todas las características, implicancias, formas y datos obtenidos en el proceso del mapeo y muestreo geológico del yacimiento. Para ello, es necesario una base de datos que lo conforman la topografía del yacimiento, el ensayo de leyes, el registro geológico y otra información recopilada en el proyecto.

3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos para realizar la presente investigación se realizó en tres fases comprendidas de la siguiente manera:

- **A: Fase recopilación de información**



Se llevó a cabo la organización de los trabajos de campo, la preparación de los equipos, la adquisición de permisos para llevar a cabo los trabajos de campo, además se creó una base de datos con datos acerca de la región.

- **Fase de campo**

Identificación general de la zona detectada, medición de estructuras, pendiente, dirección de estructuras geológicas y registro de datos. De esta forma, se recopila toda la información de la zona, además de recolectar muestras de manera sistemática en áreas estratégicas.

- **Fase de gabinete**

Durante el trabajo de campo, se llevó a cabo un análisis de muestras y otros datos. Con los resultados del laboratorio, se pudo realizar la interpretación adecuada de los datos para la creación de informes. De esta forma, se pudo realizar la estimación de las reservas, para posteriormente presentar los informes correspondientes.

Así, para llevar a cabo esta recopilación de datos, se pudieron emplear los siguientes medios y recursos:

3.4.1 Recursos

La información que proviene son de áreas externas y también de otras unidades operativas de la empresa CALCESUR, las cuales son:

- I. El mapa geológico.
- II. Plano topográfico de la zona.
- III. Plano de las Concesiones de la empresa.



- IV. Mapa Geomorfológico.
- V. Mapa Regional
- VI. Informes técnicos del Proyecto Puya Puya

3.4.2 Materiales

Los materiales utilizados para recopilar información de la fase de campo fueron los siguientes:

- Brújula.
- GPS.
- Cámara Fotográfica.
- Brújula Brunton.
- Lápices
- Lapiceros.
- Formatos de guía.
- Lupa y Flexómetro.
- Pintura y agua.
- Laptop core i7.
- Bolsa de muestras.
- Picota.
- Combo y cincel.
- Plano topográfico.
- Plano geológico.
- Libreta de Campo.
- Pizarra Acilica.



- Plumones Acrilicos.
- Tablero.
- Cuaderno de apuntes.
- Libros.
- USB.
- Camioneta.

Como personal adicional, se tuvo a:

- Ayudante de Muestreo.
- Topógrafo.
- Un conductor.



CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 UBICACIÓN Y ACCESO

Cal y Cementos Sur – Caracoto, una de las mayores fabricantes de cal en el país, cuenta con una capacidad de 700 KTM/año y está situada en el distrito de Caracoto, en la provincia de San Román, en el departamento de Puno. Sus coordenadas centroide UTM son: 378,220 en este lado y 8'275,140 en el norte, con una altura media de 3,850 metros sobre el nivel del mar. La imagen del anexo No 01 muestra la localización de Cal y Cementos Sur - Caracoto.

Para llegar a Cal y Cementos Sur - Caracoto, se recorre la vía Juliaca - Puno, cubriendo 11 Km desde la ciudad de Juliaca hasta el distrito de Caracoto. Aquí se encuentra un segmento asfaltado de 1.5 Km para llegar a la fábrica. Para llegar a la Cantera Ayacucho, se recorre una trocha carrozable de 1.5 a 2 Km que comienza desde la fábrica.

El plano de ubicación de la cantera Calcesur se encuentra en el Anexo 1.

4.2 ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y CLIMÁTICOS DE LA ZONA

4.2.1 Clima y vegetación

El clima el área de proyecto Puya Puya, de la en empresa cal y cementos del sur muestra vientos y lluvias durante la temporada de lluvias, principalmente desde diciembre hasta marzo, y a veces hasta algunos días de abril. La mayoría del tiempo es frío y seco desde mayo hasta noviembre, siendo muy notables las precipitaciones de mayo a octubre. Durante el año, la temperatura media es de 8 a



16 °C. La vegetación es muy limitada y se restringe a los pastizales naturales raquíuticos y la existencia del ichu en toda la zona.

4.2.2 Relieve y topografía

La cantera Caracoto o el área de estudio se caracteriza por ser suave y abrupto en su relieve principalmente por la Formación Ayabacas que se ubica en el altiplano en una dirección SE-NO, su terreno es adecuado para un análisis paleontológico, debido a la gran cantidad de vestigios fósiles, y también para un estudio astronómico, ya que hay vestigios de meteoritos que han impactado en el sitio. Se compone principalmente de calizas grises, micríticas, de textura fina y uniforme, con intercalaciones de limoarcillitas con un gran yeso, a veces en forma maciza, con espacios intraformacionales y estratos delgados fuertemente plegados (melange). En las zonas de Ancocollo y Challoyo se han observado niveles de carbono con numerosos nódulos calcáreos y residuos de tallos vegetales.

4.3 GEOLOGIA DEL YACIMIENTO

4.3.1 Geología regional

El área de estudio se caracteriza en su mayoría, por la Formación Ayabacas que se ubica en el altiplano en una dirección SE-NO. Se compone principalmente de calizas grises, micríticas, de textura fina y uniforme, con intercalaciones de limoarcillitas con un yeso abundante, a veces en forma maciza, con espacios intraformacionales y estratos delgados fuertemente plegados (melange).

Hacer una definición acerca de la deformación que ocurrió durante el Cretáceo, que originó el olistostroma de la Formación Ayabacas. Este es de tipo distensible, restringido hacia el Este por superficies emergentes situadas en zonas

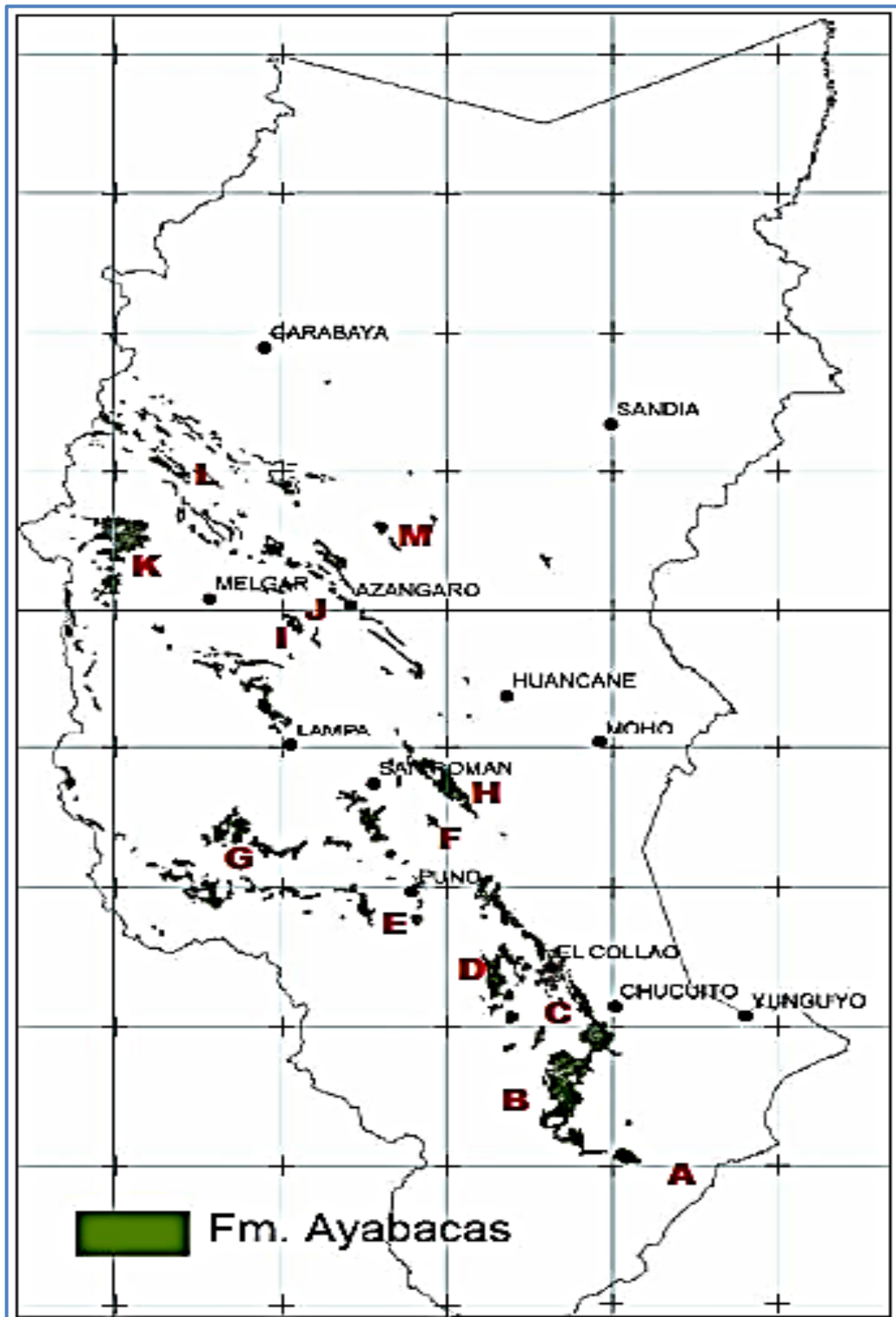


del lago Titicaca actual, que funcionaron como plataforma epicontinental desde el Jurásico Inferior y gran parte del Cretáceo; La cuenca Putina experimentó un mayor crecimiento como depósito durante el Cretáceo. Estas dos cuencas se separaron por un área de subsidencia reducida, conocida como "Eje Santa Lucía", creando una "zona de plataforma" restringida en sus extremos por fallas regionales de crecimiento, conocidas como fallas Laraqueri y Chupa, que se reactivaron durante un periodo de tectónica distensiva. Esta área de la plataforma epicontinental fue el sitio de deposición de los sedimentos, predominantemente carbonatados, del Ayabacas previo a su forma.

Para, se han identificado la forma (morfología),(colinas y lomadas bajas estructuralmente replegadas), así como las propiedades sedimentarias y estratigráficas que les otorgan la clasificación de epistolitas, la distribución espacial de las Calizas Ayabacas (Ver Figura 25).

Figura 25

Distribución de afloramientos de olistolitos en la Fm. Ayabacas en Puno



Nota: (Carrión Zavala & De La cruz Matos, 2016).



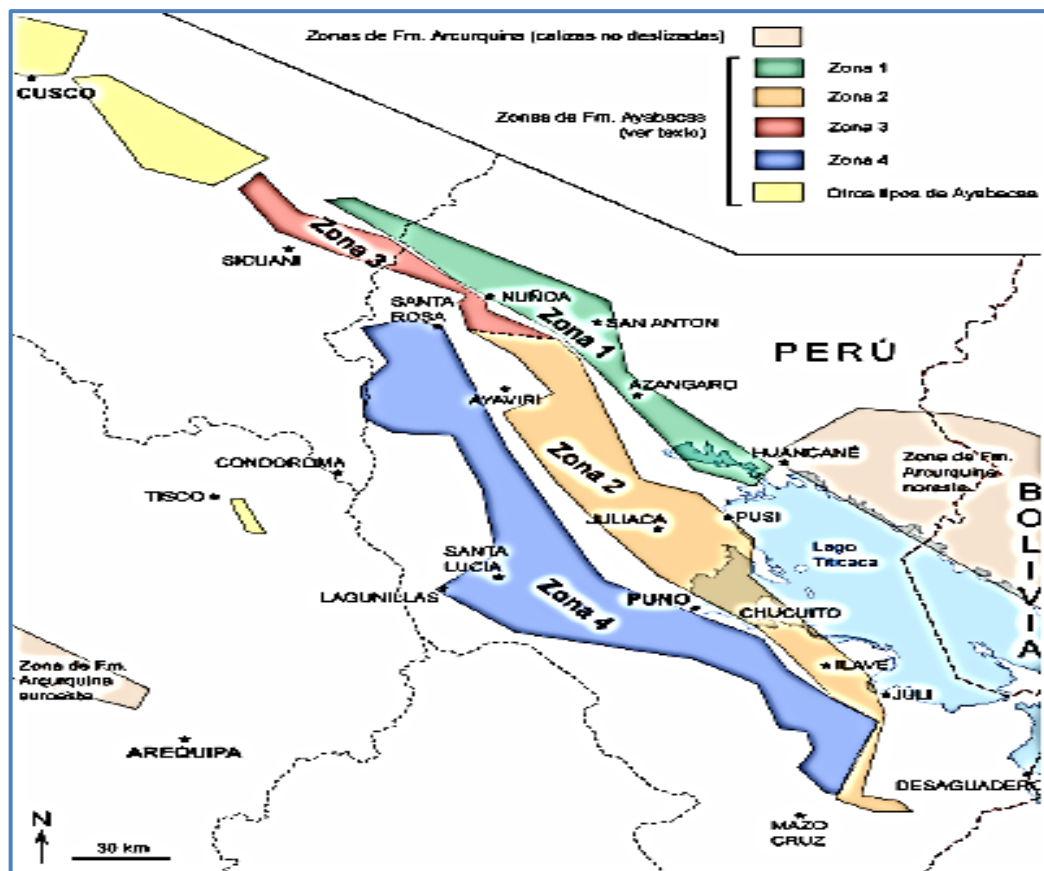
- A: 13 km al SO de Huacullani, sector Humacata-Salviani (Hoja Pizacoma/Juli).
- B: Franja alargada en la Margen derecha del río Huenque (Hojas Mazocruz-Ilave) que se prolonga hasta el oeste de Pilcuyo-Juli.
- C: Alrededores de Ilave; colinas bajas o lomadas con calizas replegadas (Hoja Ilave).
- D: Sector Cachincollo-Tarucamarca-Sutuallani (al oeste de Huaychane, Ilave). Hoja Ilave
- E. Cerro Micarape al oeste de la ciudad de Puno (Hoja Puno).
- F. Sector Caracoto, entre Puno y Juliaca (Hoja Puno). G. Margen izquierda del río Cabanillas, sector Santa Lucía-Maravillas (Hoja Lagunillas).
- H. Franja adyacente al lago Titicaca entre Chupa-Pusi- Samán-Ayabacas (península de Pusi, Hojas Acora- Huancané).
- I. Margen izquierda del río Pucará entre Tirapata y Santiago de Pupuja (cuadrángulo Azángaro-Juliaca).
- J. Franja discontinua entre Azángaro y Balsapata, Hoja Azángaro.
- K. Sector Macarí –Santa Rosa, al noroeste de Ayaviri, Hoja Ayaviri.
- L. Franja alargada NO-SE adyacente al poblado de Nuñoa, Hoja Nuñoa.
- M. Valle del río San Juan, sector NO de San Antón, Hoja Azángaro.
- N. Franja Este-Oeste al sur de Tinajani, Ayaviri (Hoja Ocuvi).

La Formación Ayabacas (~Turoniano) es una unidad antigua resedimentada que se puede apreciar en una extensión que supera los 50000 km² en el Altiplano y la Cordillera Oriental del sur de Perú.

Diferentes fases en la Formación Ayabacas (Ver Figura 26).

Figura 26

Zonas de afloramientos de la Fm. Ayabacas en Puno



Nota: (Pierre, 2006)

Es posible identificar cuatro áreas faciales en el área de distribución de la Fm Ayabacas, considerando que esta se origina principalmente por el deslizamiento de la Fm Arcuquina.

- **Zona 1:** Son afloramientos que se dan NE provincia de Huancané, en su mayoría son de poco espesor. Los cortes estratigráficos de las rocas de esta



región son parecidos, su grosor es reducido, entre 10 y 20 metros, y se pueden identificar 5 niveles propios cuando está en un bloque intacto.

- **Zona 2:** En esta zona la Fm Ayabacas se extiende desde el E de Mazo Cruz hasta Juli, Ilave, la Península de Chucuito, Pusi, Juliaca hasta el E de Santa Rosa. Su espesor es considerable y suelen tener bloques de calizas muy adheridos.
- **Zona 3:** Esta zona se da al norte de la vía que une Santa Rosa y Cusco la Fm Ayabacas presenta un espesor considerable y una condición muy caótica, con una combinación de bloques cretáceos (pelitas rojas y calizas), junto con grandes bloques de estratos litificados de las Fms Huancané, Muni, Sipín, Grupo Mitu y Paleozoico.
- **Zona 4:** Es un zona que está situada más al S de las tres previas, que atraviesa la vía Mazo Cruz-Ilave, al E de Ilave, en Lagunillas y Santa Lucía, y finalmente al S de Santa Rosa. Frecuentemente, la Fm Ayabacas se manifiesta presentando un aspecto ondulado. Se trata de bloques de calizas de mayor grosor pero de menor tamaño que en la zona 2. Los bloques pueden tener una dirección específica (especialmente en el intenso surgimiento de Ayabacas al S de Santa Rosa), pero usualmente esta área es más desestructurada que las previas. Específicamente, nunca se perciben pliegues alargados. En ciertos lugares existen grandes volúmenes de vacíos hidropláticos.

4.3.2 Estratigrafía Regional

La estructura suele ser caótica en la Formación Ayabacas.



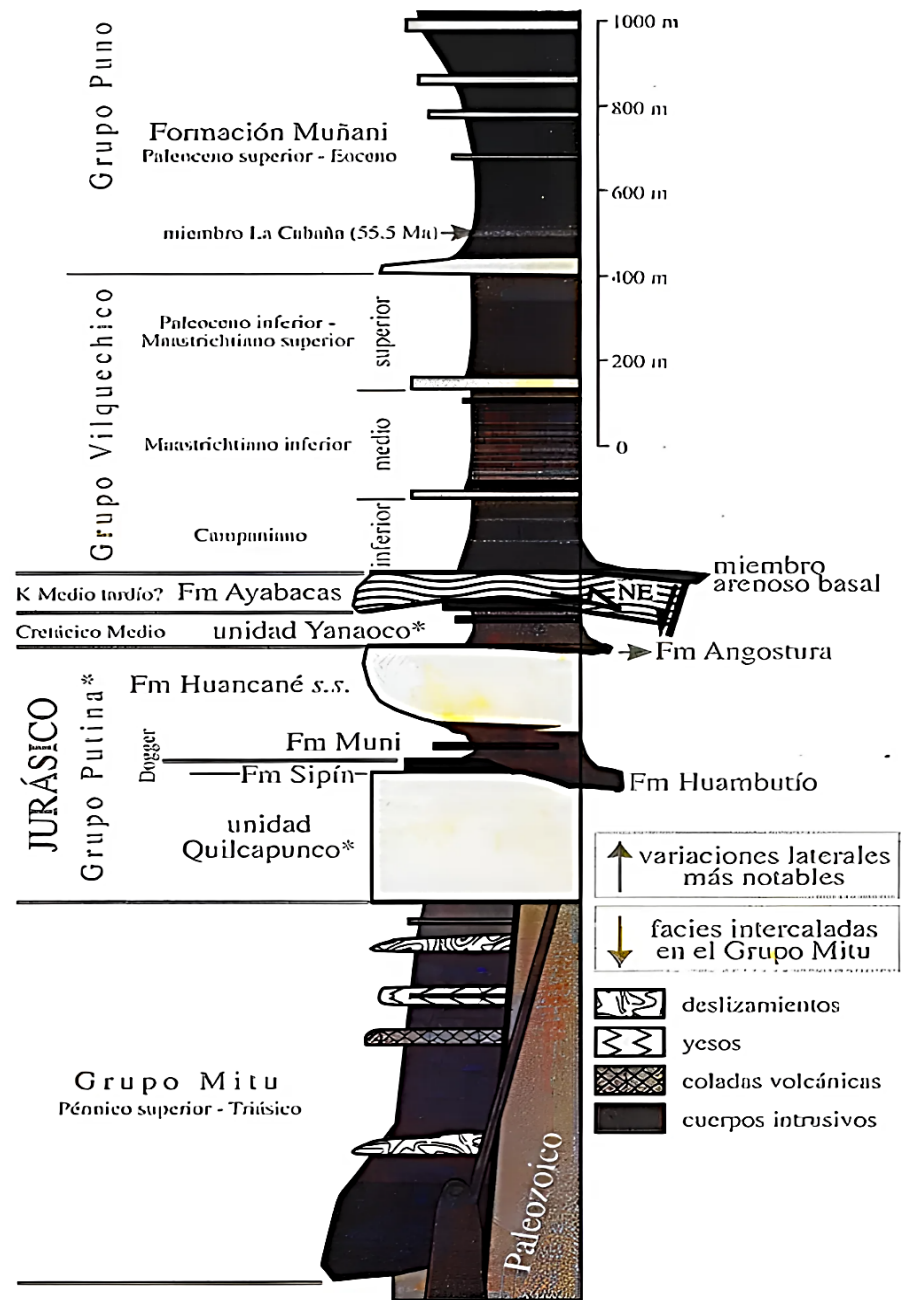
Los grupos 'Grupo Titicaca', Muni, Huancané y Moho La Caliza Ayabacas se ubican en bloques de gran tamaño (50-500 m) que parecen flotar dentro de una matriz más suave. Los bloques próximos pueden derivarse de formaciones muy distantes en la columna estratigráfica (Ver Figura 27). Aunque algunos bloques se encuentran extremadamente fracturados, en otros la estratificación se encuentra casi uniforme. Pero en otros está arreglada y probablemente algunos están invertidos. La matriz circundante a los bloques es una grieta con grandes y pequeños grupos de calizas y areniscas fracturadas, e incluye partículas extremadamente fragmentadas de pelitas de colores variados y areniscas. Los clastos de gran tamaño pueden llegar a 12 m, y es habitual notar un cambio constante entre los tamaños de los bloques más grandes y los más pequeños.

Los estratos relacionados muestran que, en la mayoría de las zonas, la formación está extremadamente junta y fracturada en un caos extremo. Por lo tanto, las directrices estructurales generales pueden ser identificadas en la masa compleja de caliza triturada solo mediante un trabajo de campo minucioso.

Mapa estratigráfico del proyecto Puya-Puya se encuentra en el Anexo 2.

Figura 27

Estratificación de la formación de calizas Ayabacas en Puno



Nota: (Sempere & Jacay, 2000)

4.3.3 Geología local del proyecto Puya Puya

Los bloques calcáreos no están sujetos a ninguna disposición estratigráfica ni hay una estratificación continua, lo que impide la realización de una correlación estratigráfica. En ciertos bloques, la estratificación se encuentra casi horizontal,

en cambio, en otros se encuentra subvertical y posiblemente algunos están invertidos.

Se ha identificado tres clases de caliza en los bloques de caliza; la que presenta en los afloramientos una carsticidad avanzada, con una carsticidad de baja a nula, y la Dolomita calcárea con una carsticidad media.

- **CALIZA PACKSTONE (TEXTURA CÁRSTICA - CALIZA ALTA)**

Caliza gris clara, generalmente caliza de alta ley, presenta un relieve abrupto y cárstico, de laderas empinadas (Ver Figura 28).

Figura 28

Calizas KARSTICAS en la cantera Puya Puya



Nota: Imágenes tomadas en el campo propias.

- **CALIZA MUDSTONE MASIVA (KMT)**

Caliza, gris oscura, fina, masiva, considerada caliza baja, presenta un relieve suave, homogéneo, forma ladera de pendiente baja (Ver Figura 29).

Figura 29

Calizas masivas



Nota: Imágenes tomadas en el campo propias.

- **CALIZA DOLOMÍTICA (KMT)**

Está caracterizado por un terreno moderadamente abrupto y cárstico. Sus facetas se manifiestan tanto en la base como en la punta de la secuencia, o a menudo en áreas de transición hacia las calizas Mudstone y las calizas Packstone. Posee un color singular pardo amarillento (Ver Figura 30).

Figura 30

Calizas dolomíticas



Nota: Imágenes tomadas en el campo propias.

Las calizas que surgen en el área de Juilalaca y Toncoyo, muy próximas a la ciudad de Acora (departamento de Puno), presentan una replegada intensa, posiblemente debido al impacto del "Alto Cabanillas", que funcionó como soporte a los esfuerzos de compresión posteriores, provocando que la masa de calcárea desplazada chocara y se replegara

Mapa de la geología local del proyecto Puya-Puya se encuentra en el Anexo 3.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 MODELO DE BLOQUES 3D UTILIZANDO EL SOFTWARE MINEPLAN PARA EL PROYECTO PUYA-PUYA

Este estudio de investigación fue diseñado un modelo de bloques 3D utilizando el software MinePlan que se almaceno todas las características geológicas de los afloramientos de roca caliza explorados en el proyecto Puya-Puya. Para ello, se generó un proceso particular y específico para el yacimiento Puya-Puya, este proceso se resume a continuación:

5.1.1 Interpretación geológica del yacimiento

Este proceso consistió en proyectar los sólidos de los cuerpos calcáreos y separarlos por cada unidad geológica o tipo de roca caliza, de esta manera estos sólidos tienen la posibilidad de ser codificados dentro de un modelo de bloques con un respectivo código y volumen.

A: Análisis para la proyección vertical

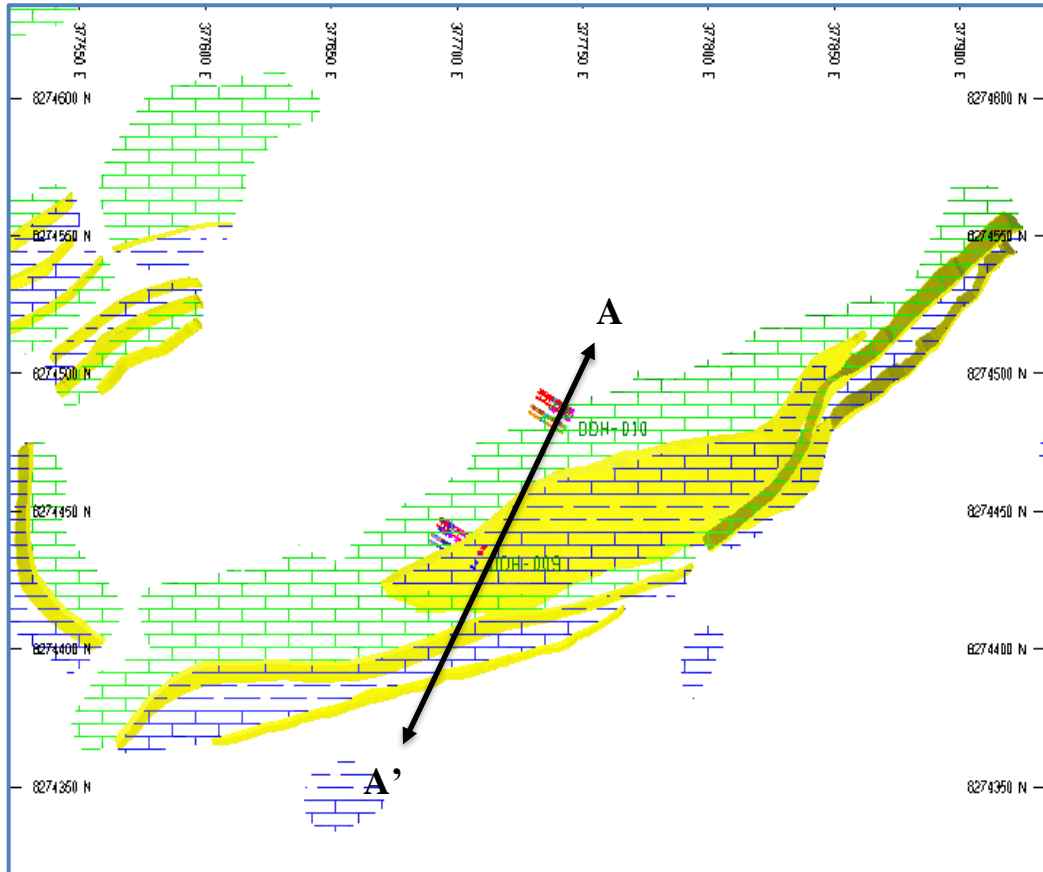
Cómo se mencionó en la descripción, geológica los cuerpos calcáreos no tienen una correlación estratigráfica, ya que algunos cuerpos pueden ser horizontales, otros sub verticales y hasta algunos invertidos, lo cual hizo muy difícil la proyección vertical de cada cuerpo calcáreo.

Si bien la proyección vertical se hizo en base al “dip direction” de cada cuerpo mapeo en el proceso de exploración, cada cuerpo tiene una forma particular haciendo difícil la tarea de proyección vertical. Para realizarlo de forma

satisfactoria, se usó el análisis de secciones del proyecto Ayacucho, el cual fue la base de para los proyectos posteriores como el de Puya-Puya (Ver Figura 31).

Figura 31

Vista en planta de la sección A-A' del cuerpo calcáreo G-18-A

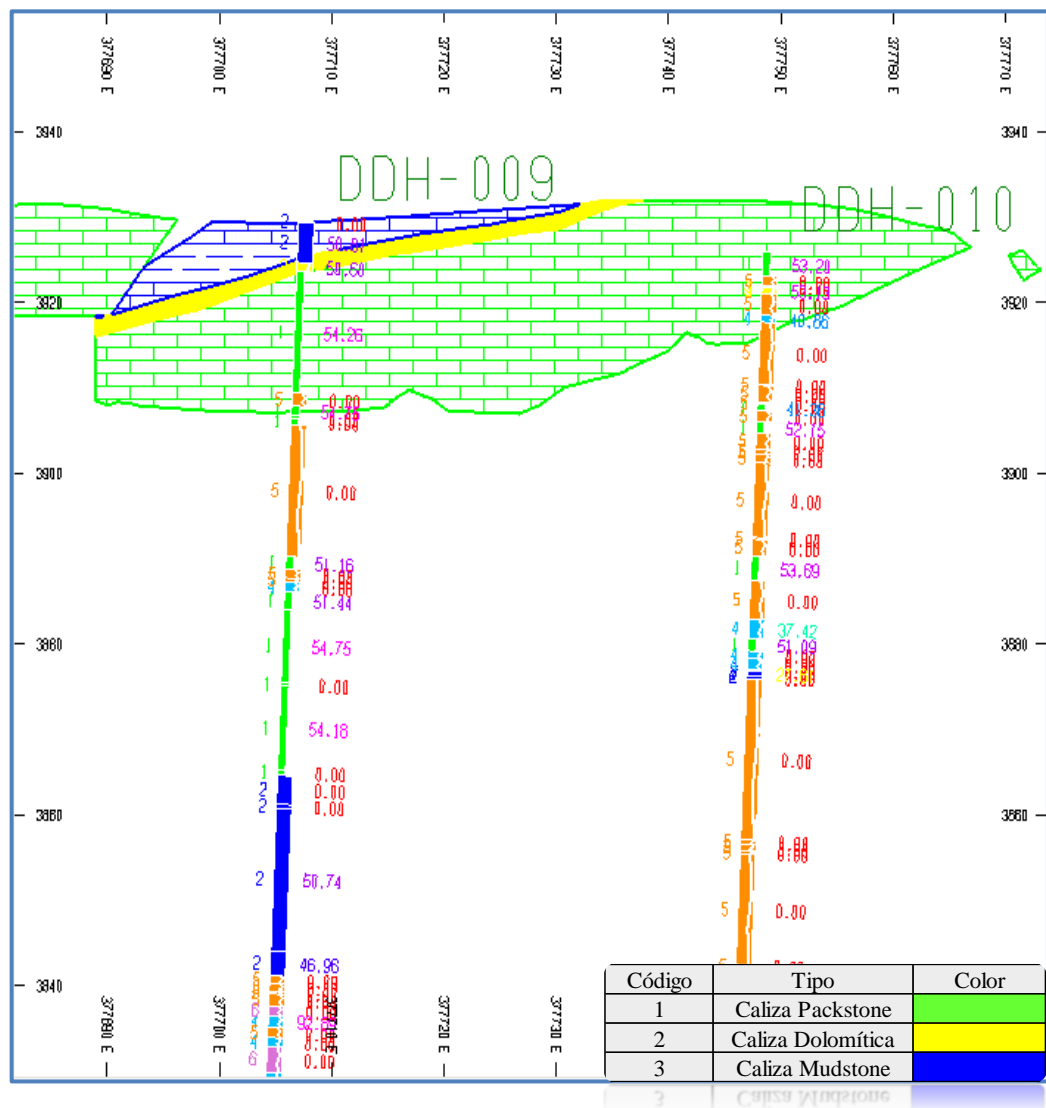


Nota: Calcesur.

Como se puede apreciar en la figura 31, hay 2 sondajes diamantinos DDH-009 y DDH-010 que se perforaron sobre el cuerpo calcáreo G-18-A, y de acuerdo al logueo geológico, pueden dar una información acerca de la profundización del cuerpo calcáreo (Ver Figura 32).

Figura 32

Sección vertical A-A' del cuerpo calcáreo G-18-A

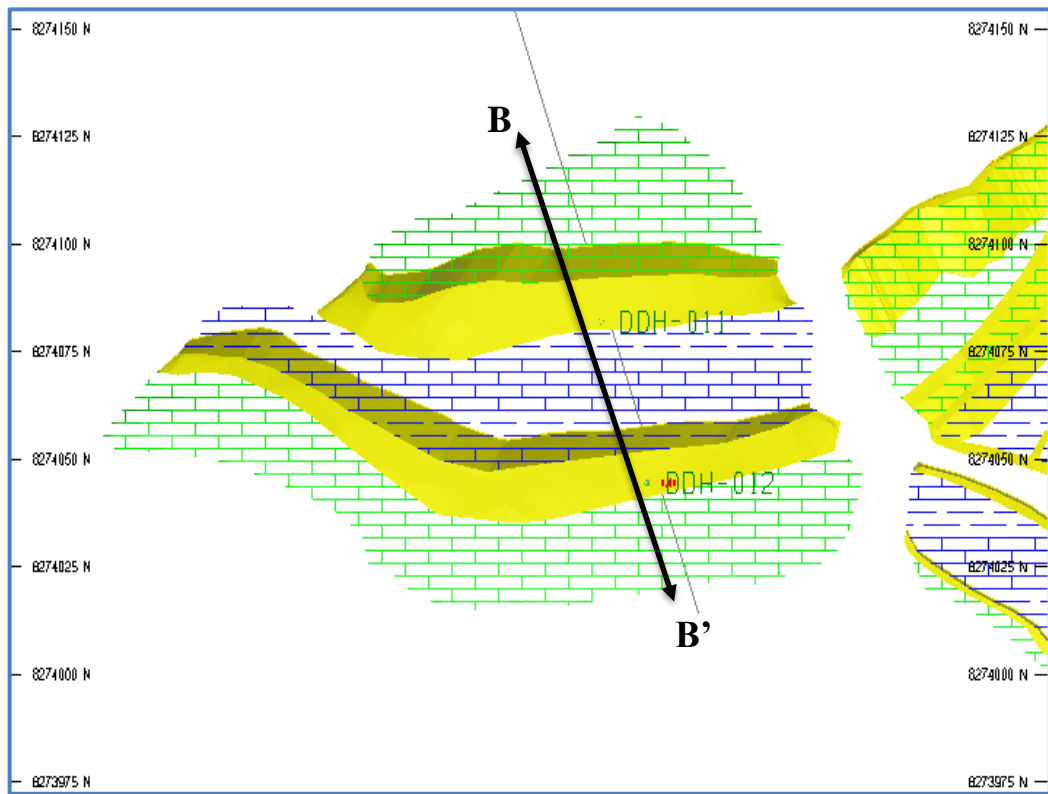


Nota: Calcesur.

Cómo se muestra en la figura 33, el cuerpo calcáreo G-18-A es de forma horizontal y de acuerdo al logeo del sondaje diamantino DDH-009, el cuerpo calcáreo profundiza 20.45 m, siguiéndole un estrato de arcilla de 15.65 m, para luego presentarse nuevamente la caliza packstone a una profundidad de 39.90. Asimismo, se puede notar que esta profundización no es constante, sino que variable y se presenta con intercalaciones de caliza y arcilla, tal y como lo muestra el sondaje DDH-010 (Ver Figura 33).

Figura 33

Vista en planta de la sección B-B' del cuerpo calcáreo I-06-A

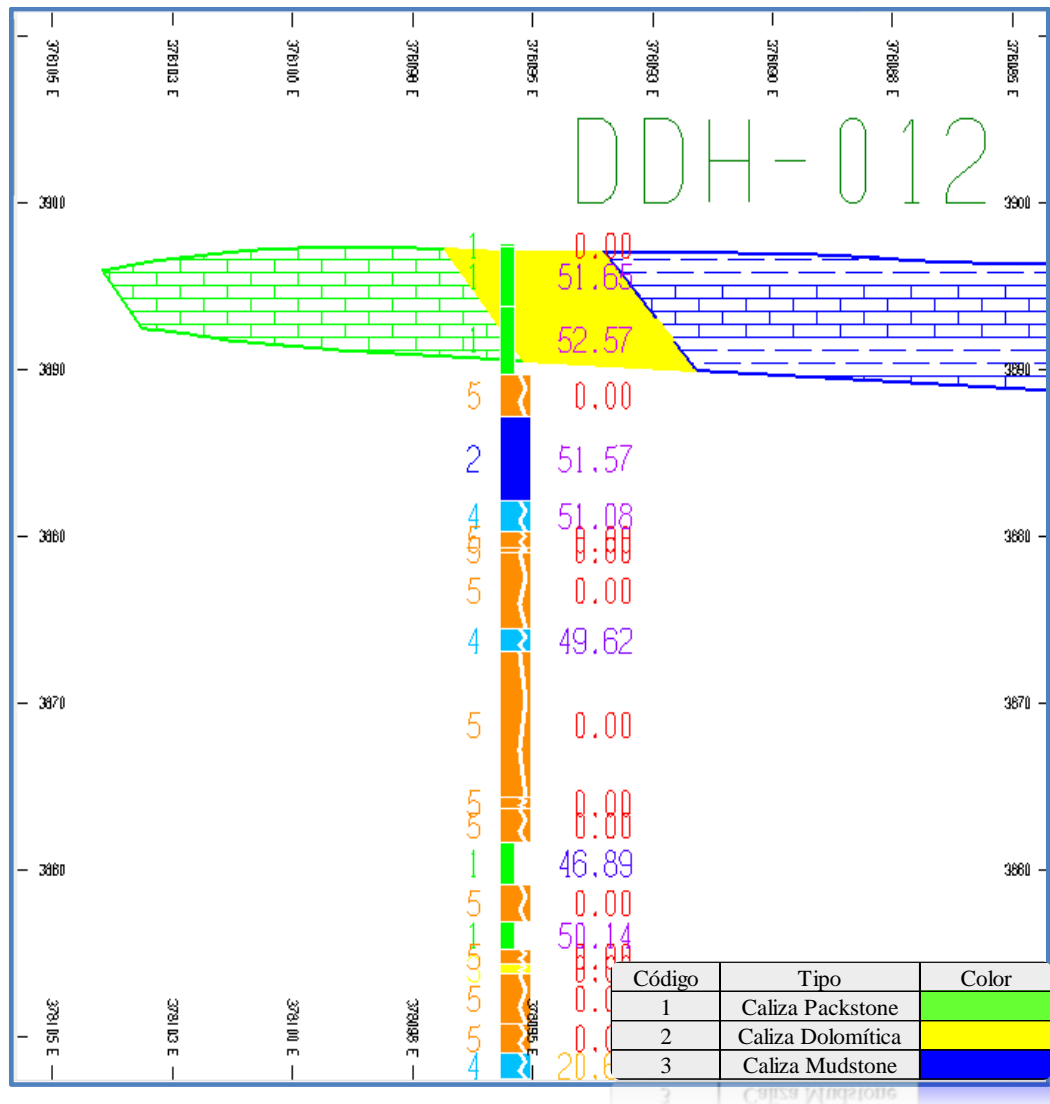


Nota: Calcesur.

Como se puede apreciar en la figura 33, también hay 2 sondajes diamantinos DDH-011 y DDH-012 que se perforaron sobre el cuerpo calcáreo I-06-A, y de acuerdo al logueo geológico, también pueden brindar una información acerca de la profundización del cuerpo calcáreo (Ver Figura 34).

Figura 34

Sección vertical B-B' del cuerpo calcáreo I-06-A



Nota: Calcesur.

Como se puede notar en la figura 34, a diferencia del cuerpo calcáreo G-18-A, el cuerpo calcáreo I-06-A posee una inclinación SE -46.15° , y de acuerdo al logueo del sondaje diamantino DDH-012 un sondaje totalmente vertical, el cuerpo calcáreo profundiza 7.80 m, intercalándose nuevamente con arcilla de 2.55 m, para luego presentarse nuevamente la caliza mudstone a una profundidad de 15.35, cabe recalcar que es una caliza contaminada y de menor calidad. Asimismo, se puede notar que esta profundización no es constante, y que a profundidad existe



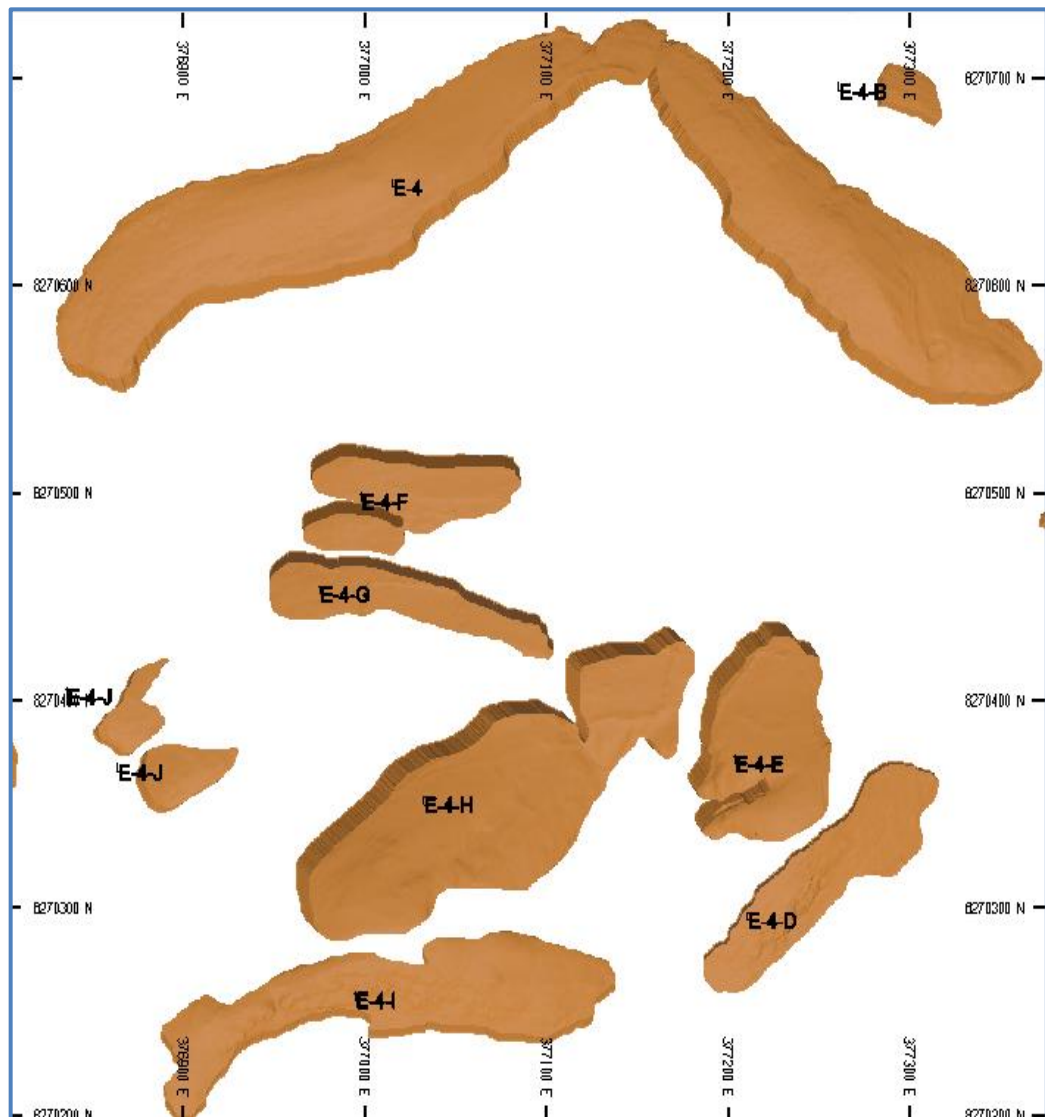
una intercalación entre la arcilla y potencias menores de caliza, predominando más la arcilla.

B: Proyección de los cuerpos calcáreos

En base al análisis anterior, y a la pericia del equipo de geólogos a cargo de la exploración del proyecto, se hizo la proyección de cada uno de los cuerpos calcáreos identificados dentro del proyecto Puya-Puya. Pasando de los diseños en 2D de AutoCAD, a sólidos en 3D dentro del software MinePlan, siendo necesario recalcar que, esta proyección se hizo de forma conservada y conociendo la explotación por años de los cuerpos calcáreos de proyectos anteriores o predecesores (Ver Figura 35).

Figura 35

Vista de los sólidos proyectados en base a los diseños 2D



Nota: Calcesur.

Como se aprecia en la figura 36, los sólidos construidos de los cuerpos calcáreos poseen una distribución espacial en dirección XY, como una especie de cuerpo satélites. Este espaciamiento puede ser de varios metros pudiendo llegar a kilómetros, asimismo, tienen formas variadas, con diferentes inclinaciones.

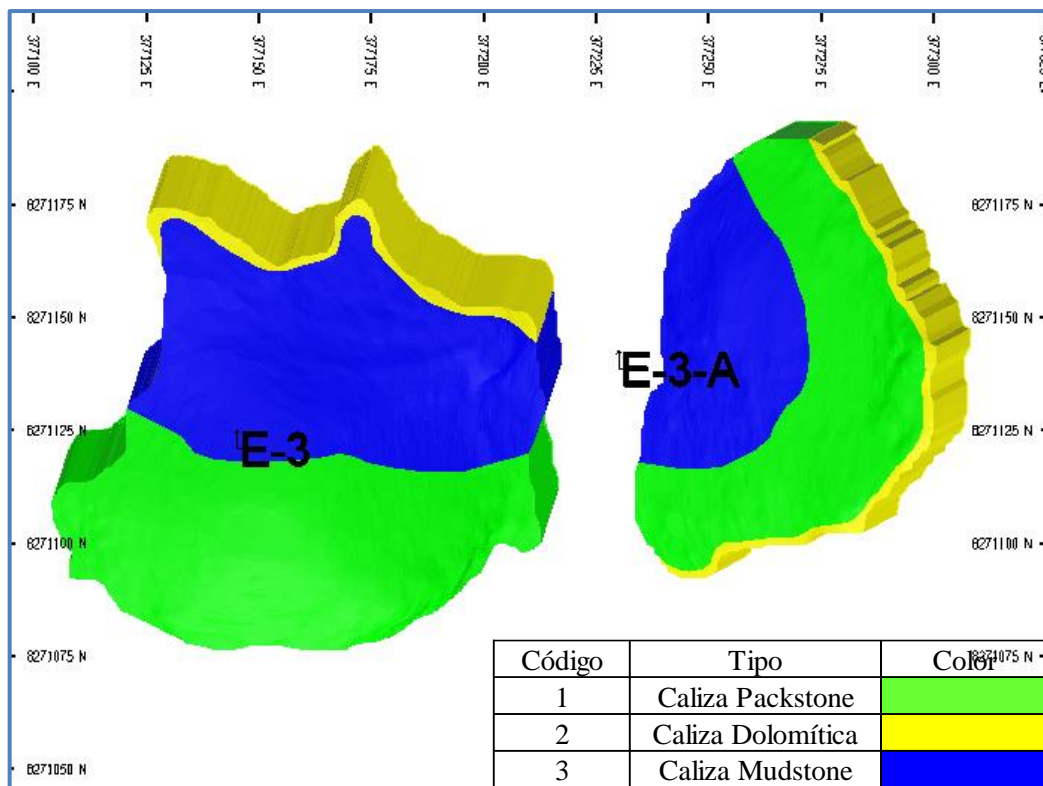
Todos los cuerpos modelados en 3D, se pueden ver en el Anexo 6.

C: Unidades geológicas por tipo de roca caliza

Una característica especial en el yacimiento calcáreo del proyecto Puya-Puya, es que existen 3 tipos de roca caliza muy bien identificadas y definidas, los cuales pueden estar presentes en cada uno de los cuerpos calcáreos, en algunos casos éstas se alternan pudiendo o no estar presentes en los cuerpos calcáreos (Ver Figura 36).

Figura 36

Vista de los tres tipos de roca caliza presentes en el proyecto Puya-Puya

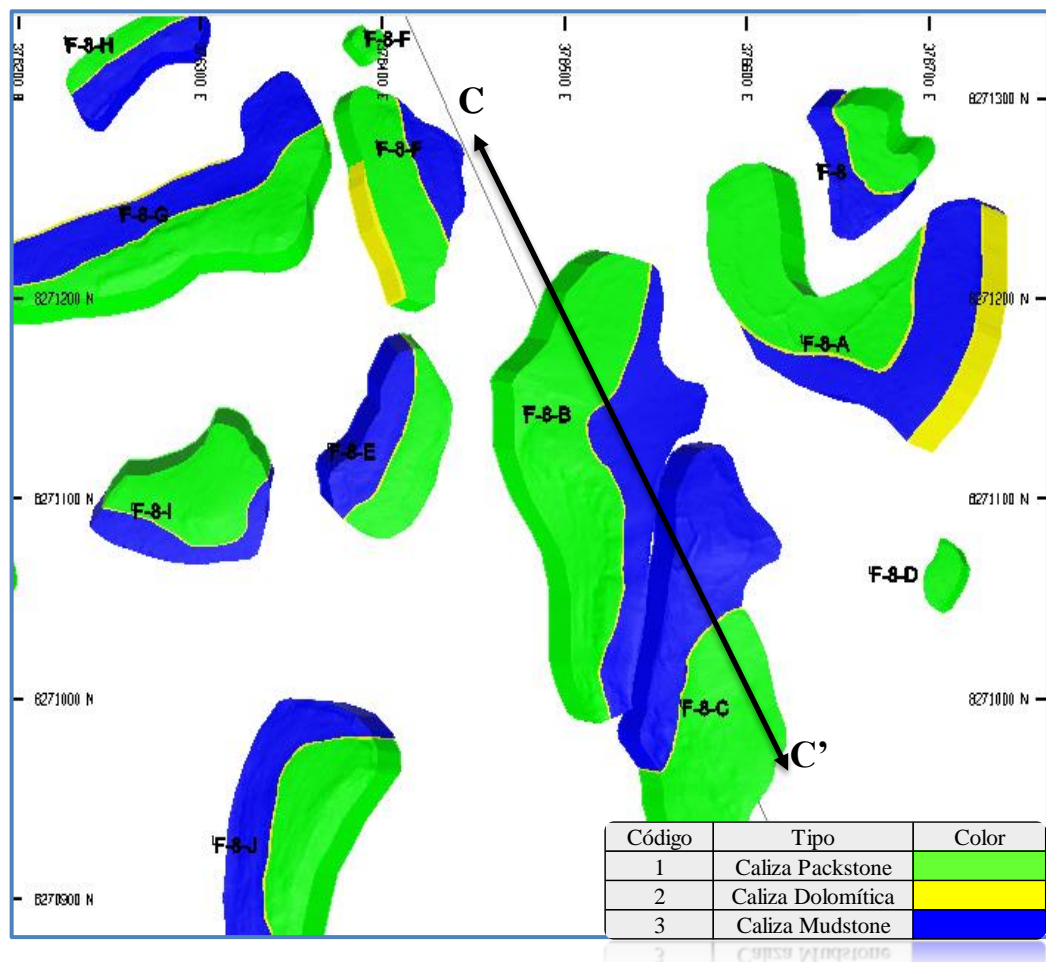


Nota: Calcesur.

De acuerdo a la figura 36, la Caliza Packstone (CP) es de color verde claro y es de mayor pureza en cuanto a % de CaO; la Caliza Dolomítica (CD) es de color amarillo y es pureza variable generalmente media; y Caliza Mudstone (CM) es de color azul y es pureza baja y comprende también a la caliza masiva negra con intercalaciones de otros estratos o contaminantes (Ver Figura 37).

Figura 37

Vista en planta de la sección C-C' de los cuerpos calcáreos F-8-B y F-8-C

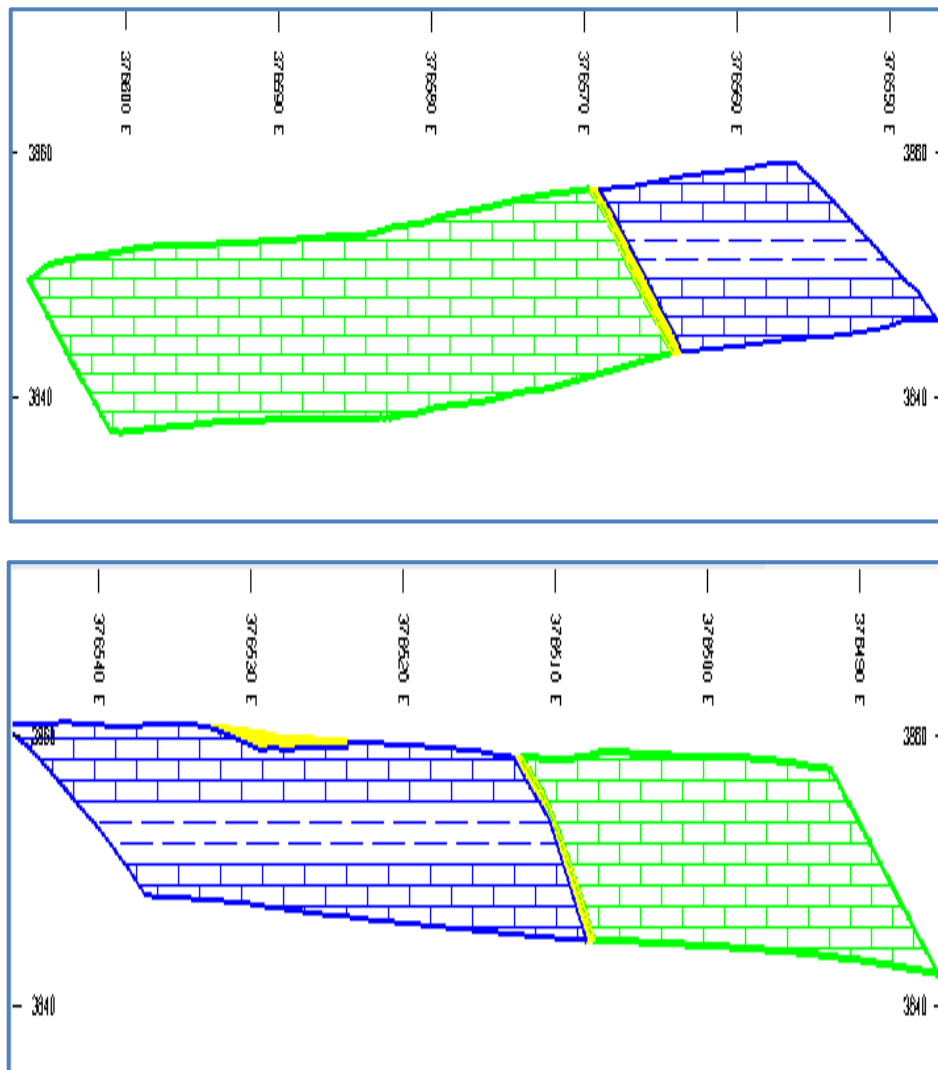


Nota: Calcesur.

Como se puede apreciar en la figura 38, la forma de las intercalaciones de los 3 tipos de roca caliza varía en cuanto a la forma ya la proporcionalidad del total del cuerpo calcáreo, pudiendo existir mayor presencia determinada. La caliza Dolomítica, generalmente se presenta en el medio y las otras calizas a los extremos; no obstante, este tipo de formación puede cambiar en otros cuerpos calcáreos existiendo mayor presencia de la caliza Dolomítica, como por ejemplo el cuerpo calcáreo F-8-A (Ver Figura 38).

Figura 38

Sección vertical C-C' de los cuerpos calcáreos F-8-B y F-8-C



Nota: Calcesur.

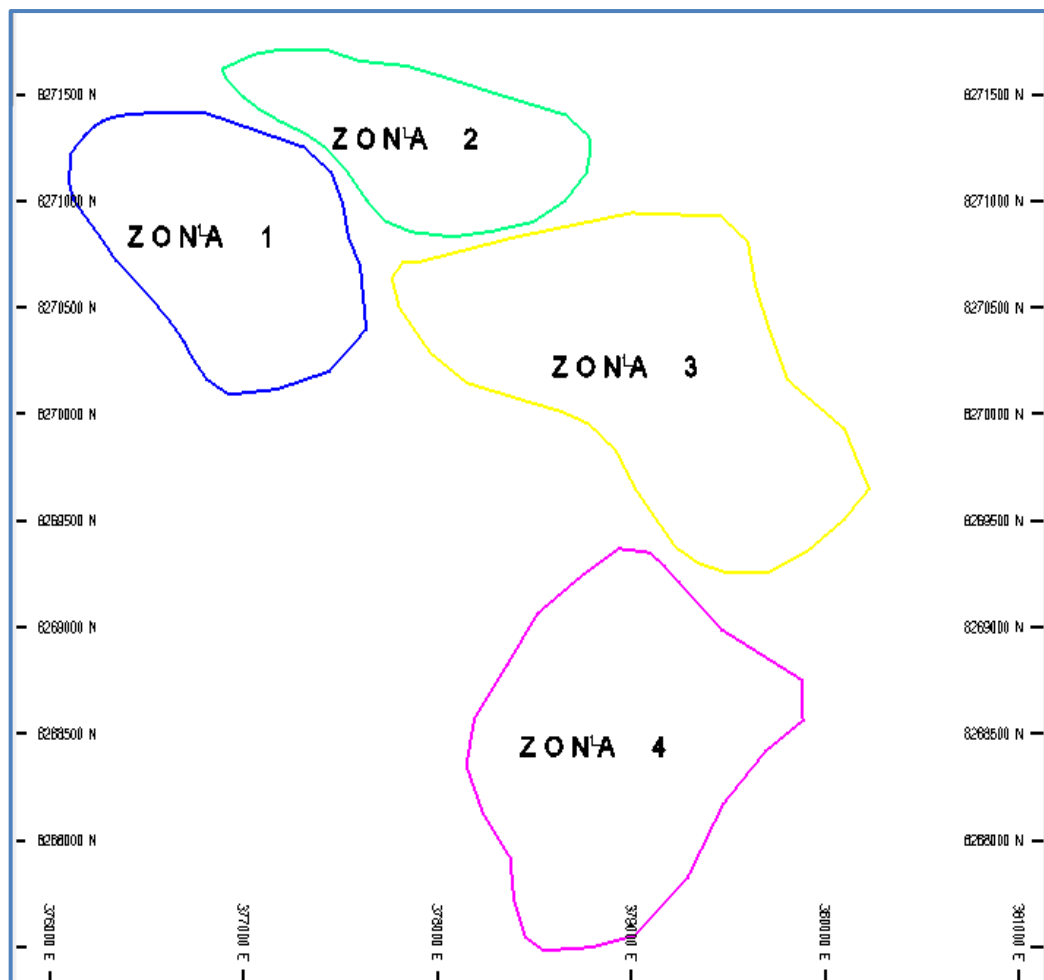
En la figura de arriba se aprecia la sección del cuerpo calcáreo F-8-B, el cual tiene mayor presencia de la caliza Packstone, mientras que, la figura de abajo, la sección del cuerpo calcáreo F-8-C, el cual tiene una distribución relativamente paritaria entre la caliza Packstone y Mudstone.

D: Zonificación de los cuerpos calcáreos

Este fue un aspecto importante para realizar la exploración en superficie del proyecto, así como para facilitar la interpolación las leyes en los distintos cuerpos calcáreos, ya que estos permitieron concentrar los esfuerzos del equipo de exploración, el almacenamiento de la data y la retroalimentación de la misma (Ver Figura 39).

Figura 39

Vista de las 4 zonas de exploración del proyecto Puya-Puya



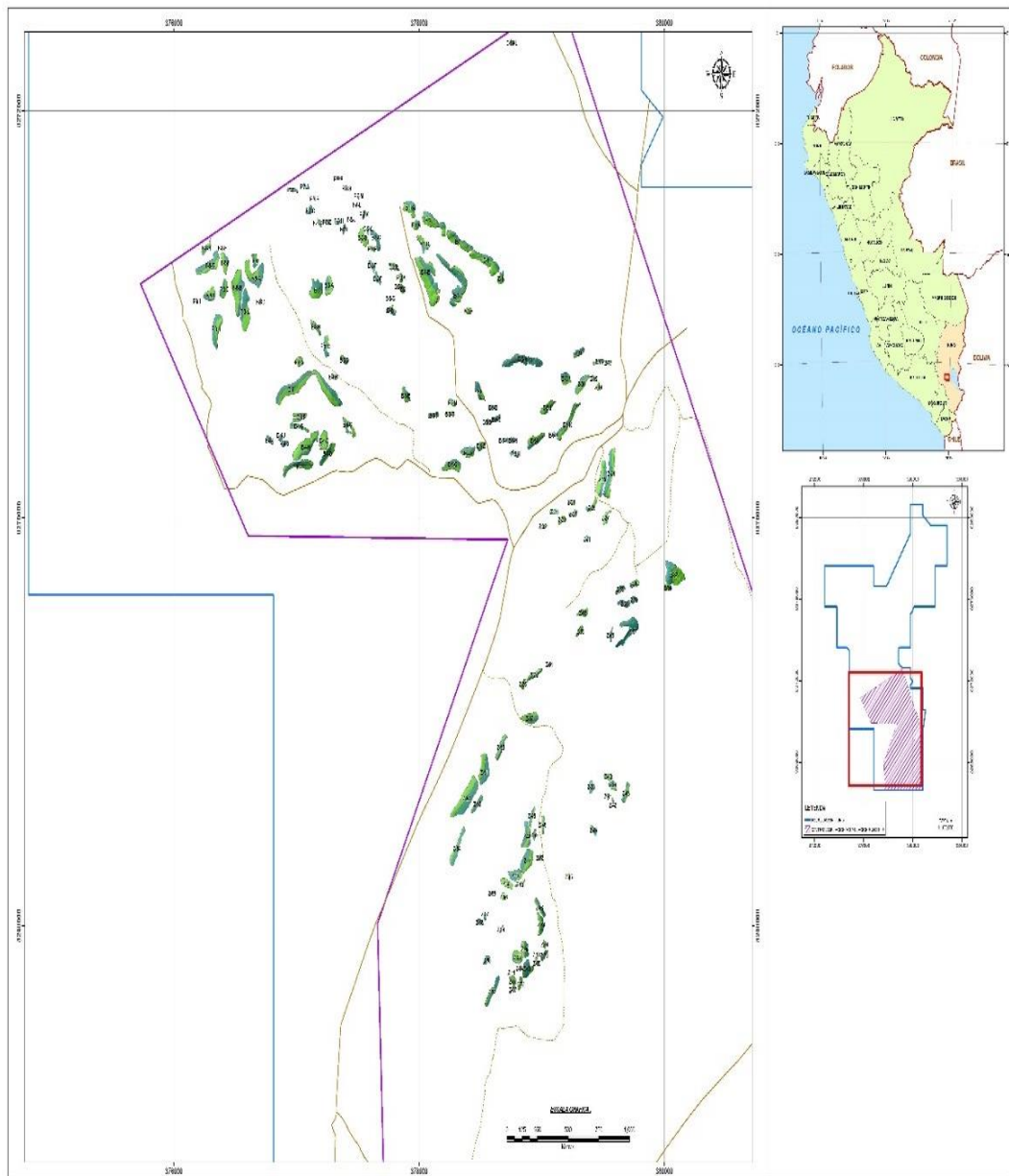
Nota: Calcesur.

Con esa configuración se culminó la fase de interpretación geológica del yacimiento, obteniéndose el modelado de 144 cuerpos calcáreos. Los cuales son

sólidos de cada cuerpo calcáreo separados por los 3 tipos de caliza (Ver Figura 40).

Figura 40

Vista global de los sólidos modelados del proyecto Puya-Puya



Nota: Calcesur.

5.1.2 Codificación del modelo de bloques

El proceso de codificación del modelo de bloques es un proceso muy amplio y laborioso, por lo que se hará un breve resumen de todo este proceso el cual se muestra a continuación:

1. Creación del archivo 15 para Puya-Puya

El software MinePlan principalmente trabaja con dos archivos, el archivo 10, que es como su cerebro, y el archivo 15 en dónde se almacena o se guarda toda la información del modelo de bloques 3D.

Para este yacimiento o proyecto, el archivo 15 contiene los siguientes ítems (Ver Figura 4).

Tabla 4

Resumen de los costos operativos de Calcesur

Ítem	Valor mínimo	Valor máximo	Precisión	Dato que almacena
TOPO	0	100	1	Topografía del proyecto
CAO1	0	100	0.01	Ley de óxido de calcio CP
MGO1	0	100	0.01	Ley de óxido de magnesio CP
CAO2	0	100	0.01	Ley de óxido de calcio CD
MGO2	0	100	0.01	Ley de óxido de magnesio CD
CAO3	0	100	0.01	Ley de óxido de calcio CM
MGO3	0	100	0.01	Ley de óxido de magnesio CM
EQCAO	0	100	0.01	Ley de óxido de calcio Equivalente
EQMGO	0	100	0.01	Ley de óxido de magnesio Eq
ORTYP	0	5	1	Tipo de roca caliza (CP, CD y CM)
ORE%	0	100	1	% codificado de la roca total
CODE1	0	5	1	Tipo de roca caliza = CP



Ítem	Valor mínimo	Valor máximo	Precisión	Dato que almacena
PER%1	0	100	1	% codificado de la roca CP
CODE2	0	5	1	Tipo de roca caliza = CD
PER%2	0	100	1	% codificado de la roca CD
CODE3	0	5	1	Tipo de roca caliza = CM
PER%3	0	100	1	% codificado de la roca CM
CATEG	0	5	1	Tipo de recurso
LITHO	0	10	1	Dominio de roca
ZONE	0	10	1	Zonas
OZ1	0	100	1	Códigos por zona 1
OZ2	0	100	1	Códigos por zona 2
OZ3	0	100	1	Códigos por zona 3
OZ4	0	100	1	Códigos por zona 4
SG	0	5	0.01	Densidad de la roca

Nota: Calcesur.

Cómo se aprecia en la tabla 4, para efectos del modelamiento del yacimiento del proyecto Puya-Puya se han considerado 25 ítems más 4 ítems adicionales para efectos auxiliares. En estos hay ítems se han almacenado todos los datos exploratorios.

2. Codificación cruzada por cuerpo calcáreo y zona

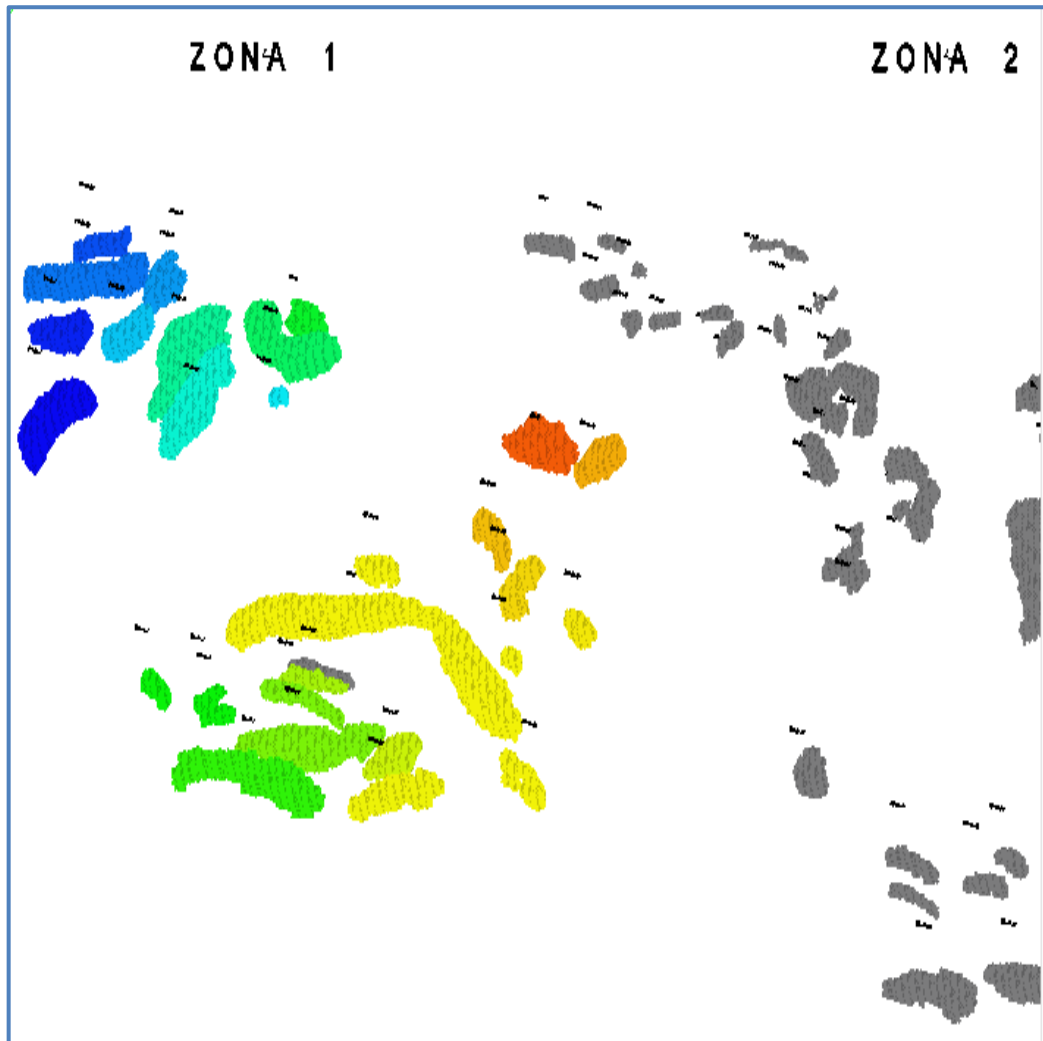
Esta codificación se hizo para almacenar un código asignado a un cuerpo calcáreo y asociarlo a una zona específica. Es decir, que:

Si un cuerpo calcáreo de ID $N \rightarrow i$, donde i puede tomar valores de 1 hasta máximo 44, y según la ubicación del cuerpo calcáreo, a este le corresponde una Zona $M \rightarrow j$, donde j puede tomar valores de 1 hasta máximo 4, todo esto con la finalidad de ordenar los cuerpos calcáreos y poder asignarles una ley promedio

conforme al análisis de laboratorio, ello en un proceso posterior que se verá más adelante (Ver Figura 41).

Figura 41

Vista de la codificación del modelo de la zona 1 del proyecto Puya-Puya



Nota: Calcesur.

Como se aprecia en la figura 41, los cuerpos calcáreos codificados poseen una escala de colores asignados hacia la zona 1, mientras que los cuerpos calcáreos de la zona 2 están en color gris, lo cual significa que aún no fueron codificados.

Todos los cuerpos modelados en 3D, se pueden ver en un mapa en el Anexo 6.

Este proceso se repite para la zona 2, 3 y 4, logrando codificar todos los cuerpos calcáreos en el modelo de bloques.

3. Codificación por tipo de roca caliza

Esta codificación se hizo para almacenar el tipo de roca caliza identificado ya en el yacimiento, recalcando que esta codificación fue:

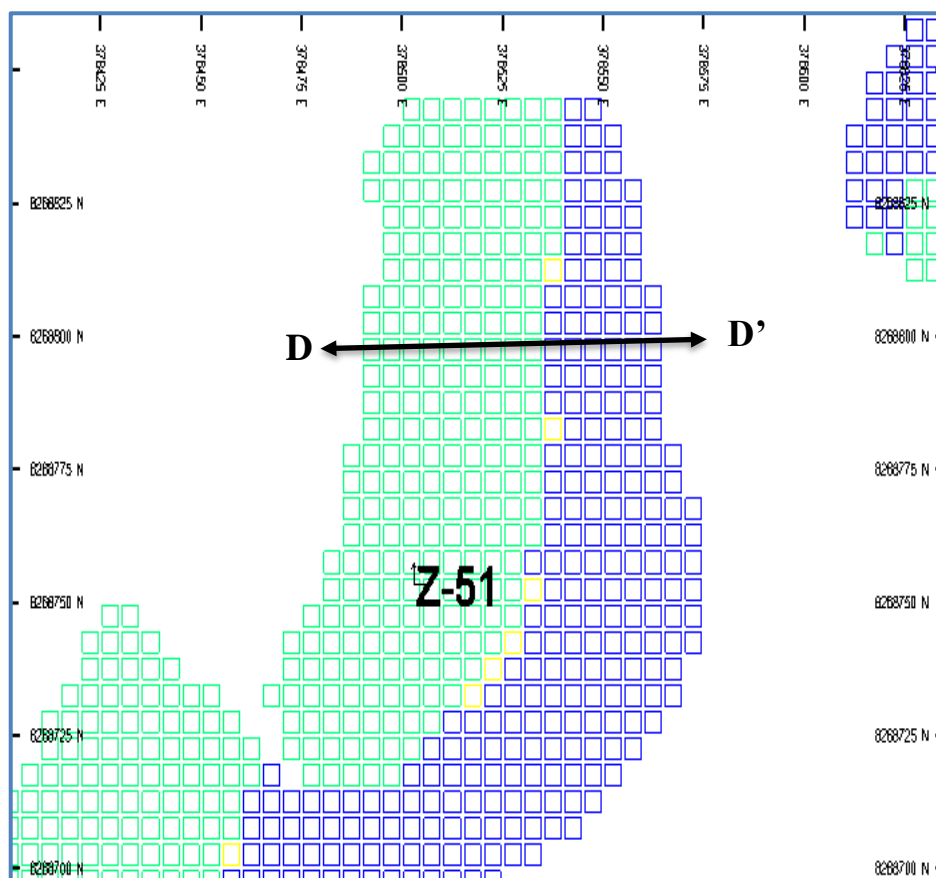
Caliza Packstone (CP), de color verde claro → ORTYP = 1

Caliza Dolomítica (CD), de color amarillo → ORTYP = 2

Caliza Mudstone (CM), de color azul → ORTYP = 3

Figura 42

Vista en planta de la sección D-D' del cuerpo calcáreo Z-51

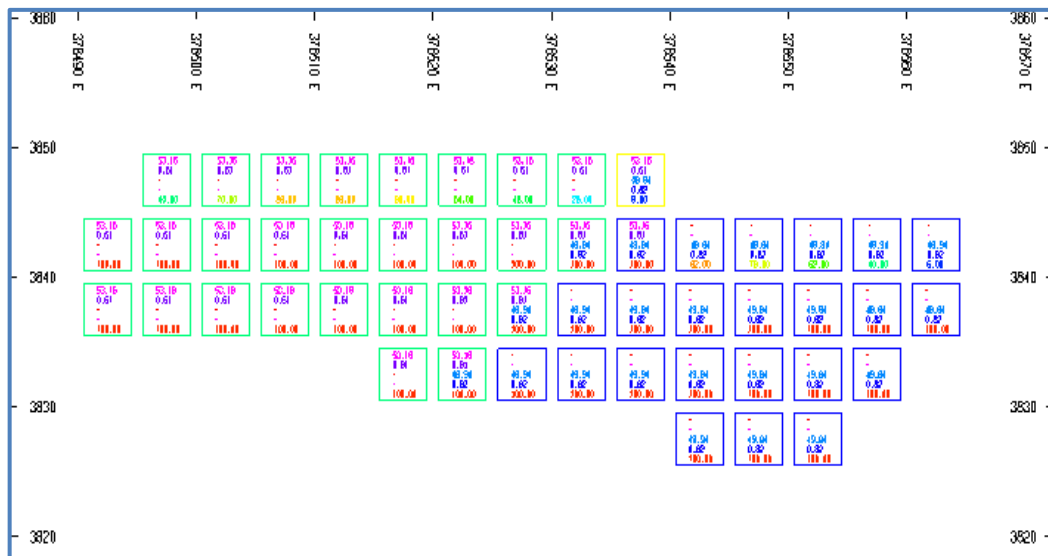


Nota: Calcesur.

Como se puede apreciar en la figura 42, el modelo de bloques ha tomado forma y color por tipo de roca caliza. Esto también se puede ver en su sección vertical:

Figura 43

Sección vertical D-D' del cuerpo calcáreo Z-51



Nota: Calcesur.

El software MinePlan no posee o no trabaja con sub celdaje, así como lo haría el Datamine, este software trabaja con el ORE% de forma general, sin embargo, los estratos de roca caliza muchas veces son pequeños en especial la caliza dolomítica y también están en contacto unas a otras, lo cual significa un gran problema para precisar el modelo de bloques cuanto porcentaje de un tipo de caliza este contenido en un bloque.

Por tal motivo, para el proyecto se optó por una codificación de múltiple “Ore Percentage”, es decir, un solo bloque puede contener los tres tipos de caliza en diferente porcentaje. Al ser una codificación especial, se tiene que:

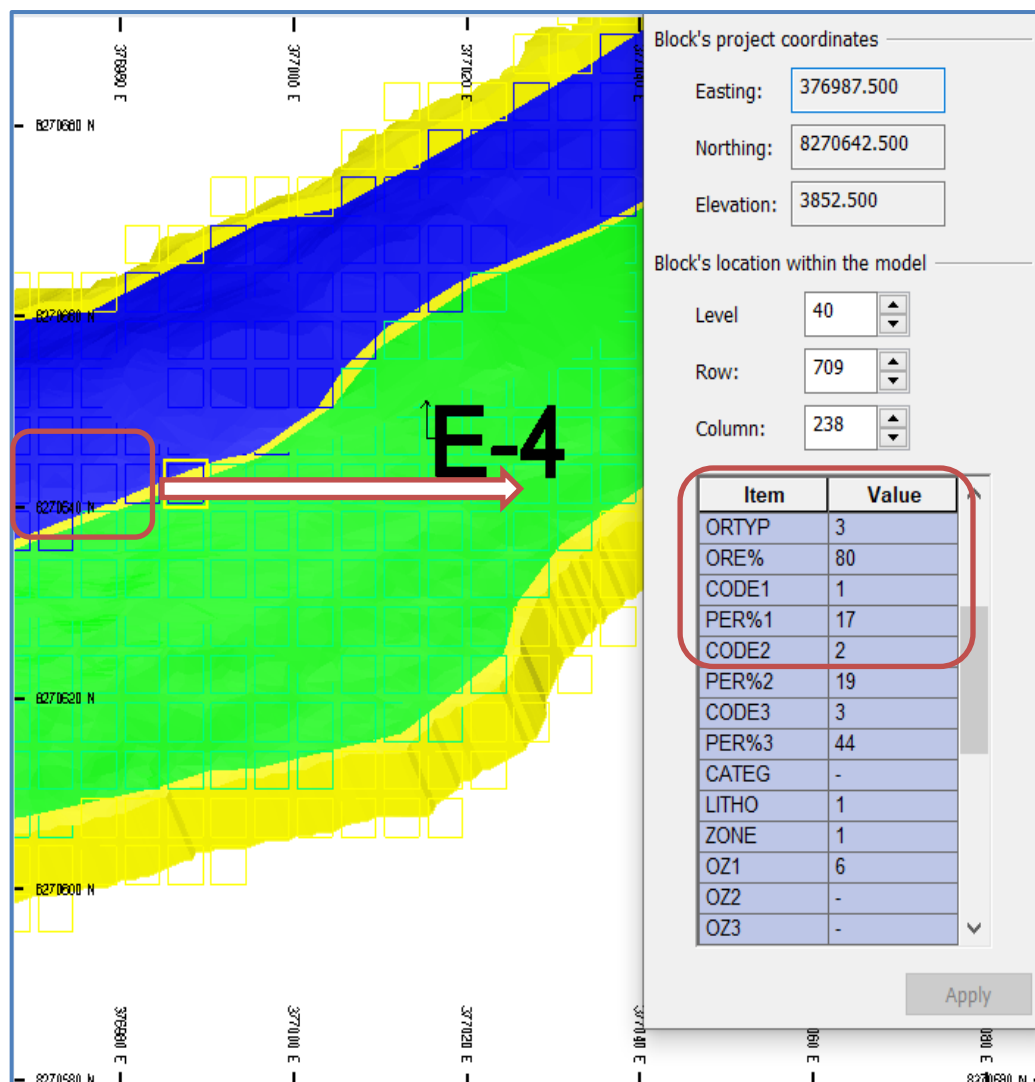
Caliza Packstone (CP), de color verde claro → CODE1 = 1 y PER1% = variable

Caliza Dolomítica (CD), de color amarillo → CODE2 = 2 y PER2% = variable

Caliza Mudstone (CM), de color azul → CODE3 = 3 y PER3% = variable
(Ver Figura 44).

Figura 44

Vista de la codificación por MOP del proyecto Puya-Puya



Nota: Calcesur.



En la figura 44, se puede ver un bloque que está en contacto con los 3 tipos de calizas por lo que contiene un cierto porcentaje de ellas, la técnica de múltiple “Ore Percentage” ha permitido asignar con precisión cuánto porcentaje de cada caliza hay contenida en ese bloque. Según la consulta al software este tiene:

Para el bloque xn hay

Caliza Packstone (CP), de color verde claro → CODE1 = 1 y PER1% = 17%

Caliza Dolomítica (CD), de color amarillo → CODE2 = 2 y PER2% = 19%

Caliza Mudstone (CM), de color azul → CODE3 = 3 y PER3% = 34%

Este tipo de codificación permitirá calcular con precisión los recursos del yacimiento, no solamente por el cuerpo calcáreo sino por cada tipo de roca caliza presente en dicho cuerpo.

4. Otras codificaciones

Otras codificaciones que se hicieron fueron: la topografía del yacimiento, y la información de la densidad, siendo estas:

1 → caliza Packstone = 2.20 TM/m³

2 → caliza Mudstone = 2.20 TM/m³

3 → caliza Dolomítica = 2.20 TM/m³

4 → Lo que engloba a los cuerpos Arcilla o Desmorte, densidad seca = 1.74 TM/m³

Con ello, se culminó la codificación geológica del proyecto Puya-Puya.

5.1.3 Interpolación de leyes

Para realizar la interpolación de leyes en cada cuerpo calcáreo por cada tipo de roca caliza, primeramente, se hizo un análisis estadístico, tanto de las muestras tomadas en los canales, así como los sondajes diamantinos realizados anteriormente y que no tenía ningún tipo de análisis. Esto con la finalidad de interpolar las leyes de forma satisfactoria.

A) Análisis estadístico de las leyes

En laboratorio químico ha reportado leyes del mineral de interés, ósea la calcita, así como otras composiciones mineralógicas de los distintos tipos de roca caliza (Ver Figura 45).

Figura 45

Leyes reportadas por laboratorio químico

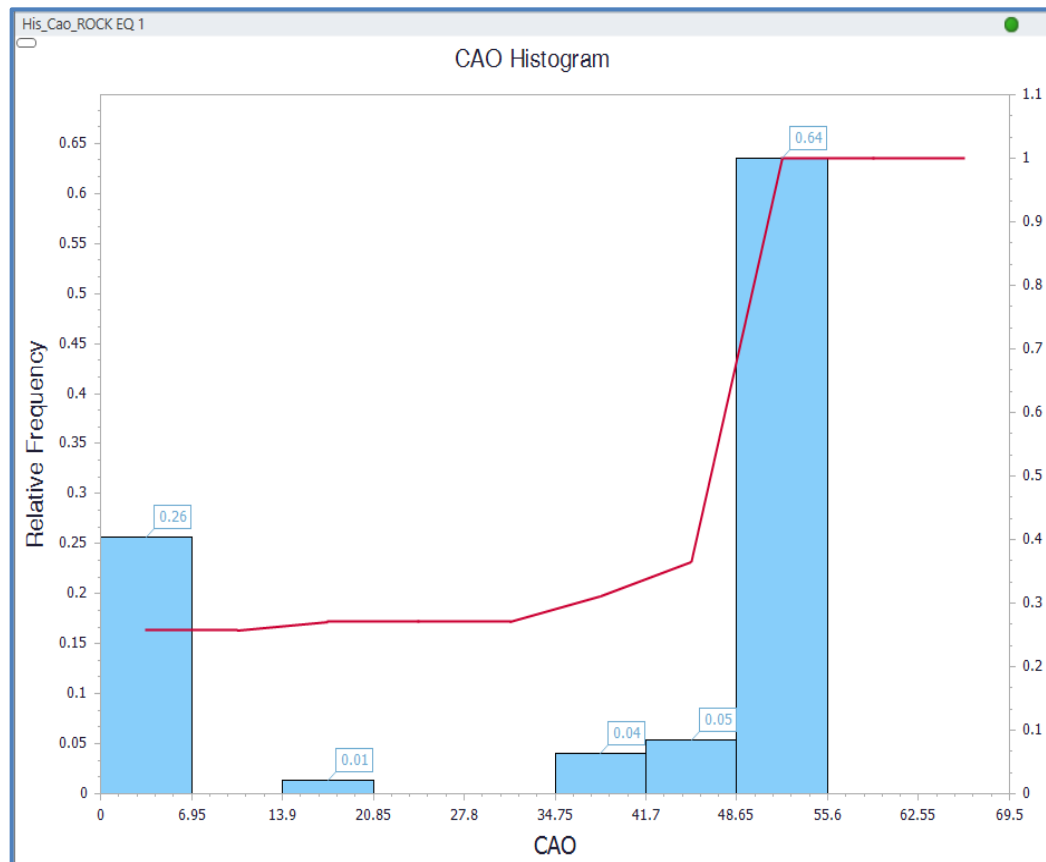
F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Muestra N°	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CO ₃ Ca	CO ₃ Mg
M-SL02-T9-4B-C	3.82	0.45	0.27	51.94	0.72	0.04	0.058	0.273	92.62	1.79

Nota: Calcesur.

De este reporte de leyes y de las leyes de los sondajes diamantinos se obtuvo un análisis (Ver Figura 46).

Figura 46

Histograma de leyes para la caliza Packstone CP



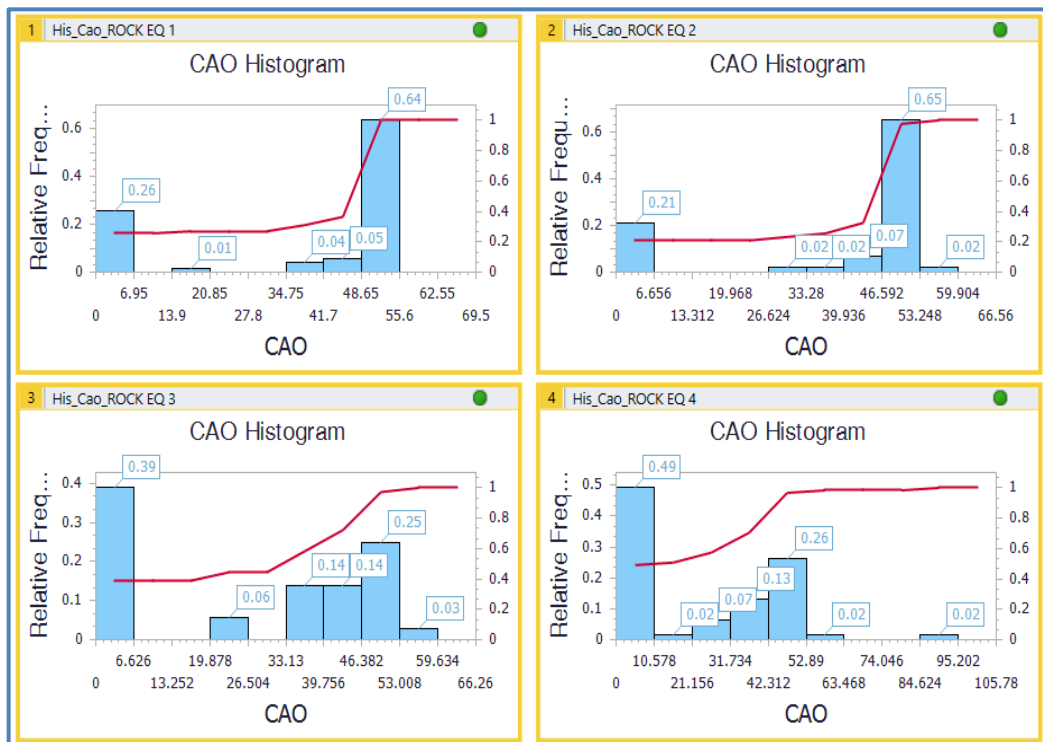
Nota: Calcesur.

De acuerdo a la figura 46, para un análisis selectivo de las muestras se puede notar que la caliza Packstone CP posee mayor pureza, teniéndose una frecuencia relativa de 64% para leyes entre 48.65% de CaO hasta 55.60% de CaO, lo cual en conjunto o en promedio para los cuerpos calcáreos, entrega una ley promedio alta.

El resumen para las demás calizas se muestra (Ver Figura 47).

Figura 47

Comparativo de Histogramas de leyes de las calizas analizadas

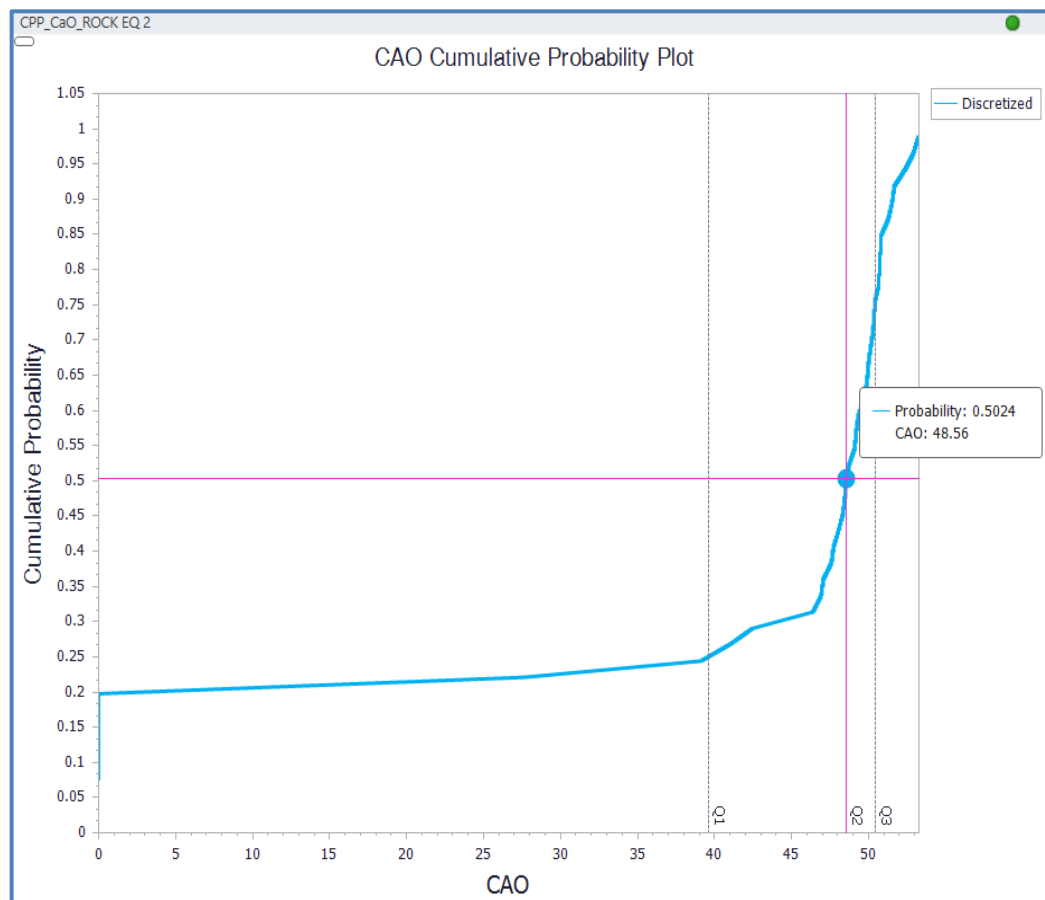


Nota: Calcesur.

Un valor representativo en el análisis estadístico, es la mediana y también los cuartiles. Este análisis también se hizo con las muestras selectivas (Ver Figura 48).

Figura 48

Probabilidad acumulada de las leyes para la caliza Dolomítica CD



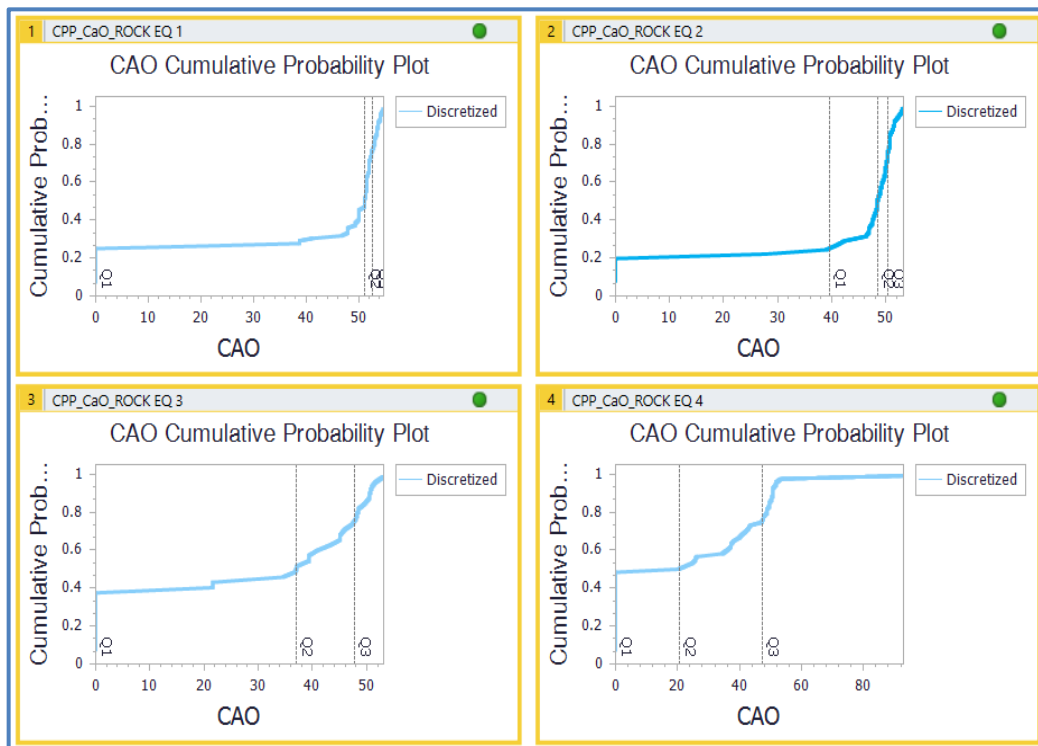
Nota: Calcesur.

De acuerdo a la figura 48, se puede notar que la caliza Dolomítica CD posee una pureza variable, ubicando su mediana con una probabilidad de 0.5024 para una ley promedio según la mediana de 48.56% de CaO y un tercer cuartil de 53.24% de CaO, lo cual en conjunto o en promedio para los cuerpos calcáreos, entrega una ley promedio medio.

El resumen para las demás calizas se muestra (Ver Figura 49).

Figura 49

Comparativo de la probabilidad acumulada de las calizas analizadas



Nota: Calcesur.

B) El modelo de leyes para Puya-Puya

Para generar el modelo de leyes, se procedió a ordenar el análisis de laboratorio químico mediante leyes promedio por cada zona y por cada tipo de roca caliza en hojas Excel. En base a este ordenamiento y codificación se procedió a interpolar leyes por un método de cálculo simple, el cual consistió en asignar leyes a cada cuerpo calcáreo por tipo de roca caliza (Ver Tabla5).

Tabla 5

Ordenamiento de leyes por cada cuerpo calcáreo y tipo de roca caliza

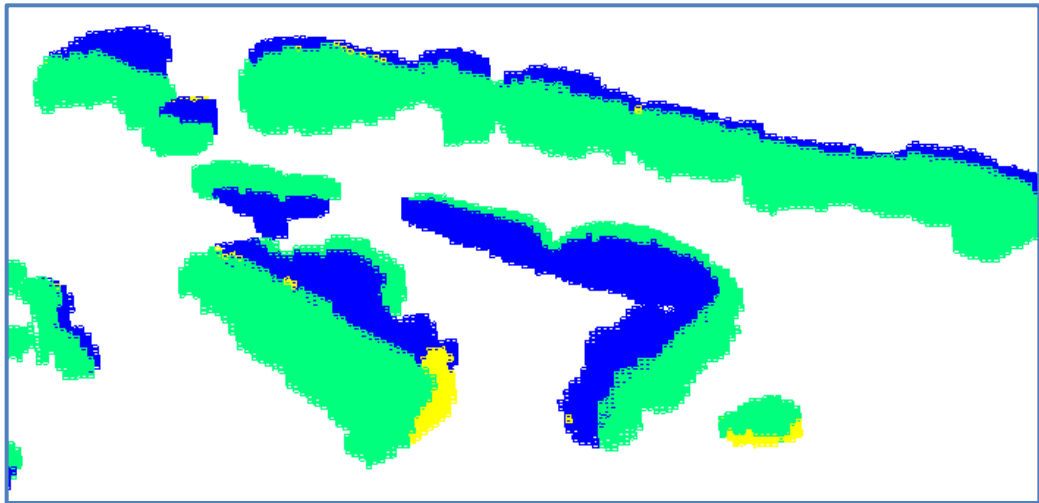
N°	AFLORAMIENTO	<i>Kmt-ay1</i> (Caliza Alta)		<i>Kmt-ay2</i> (Caliza Media - Mg)		<i>Kmt-ay3</i> (Caliza Baja)	
		CaO ≥ 52.00%		CaO 51.90% - 45.00%		CaO ≤ 50.00%	
		CaO	MgO	CaO	MgO	CaO	MgO
1	D-19-L	54.35	0.54	49.53	3.38	50.37	0.76
2	E-1	53.82	0.57	50.92	0.60	51.22	0.60
3	E-1-A	53.94	0.51	49.28	0.54	50.11	1.12
4	E-1-B	54.64	0.49	49.36	1.77	50.86	0.67
5	E-1-C	52.80	0.51	49.48	0.45	51.53	0.50
6	E-1-D	53.05	0.63	50.04	0.85	50.78	0.60
7	E-1-E	52.54	0.54	50.31	1.28	50.55	0.54
8	E-1-F	54.37	0.60	47.09	0.70		
9	E-2	53.53	0.82	46.13	4.61	50.59	0.63

Nota: Calcesur.

El software MinePlan te ofrece la herramienta “User-Cals”, el cual se utilizó para ingresar las leyes a través de “multi-run”. El resultado obtenido fue muy bueno (Ver Figura 50, 51 y 52).

Figura 50

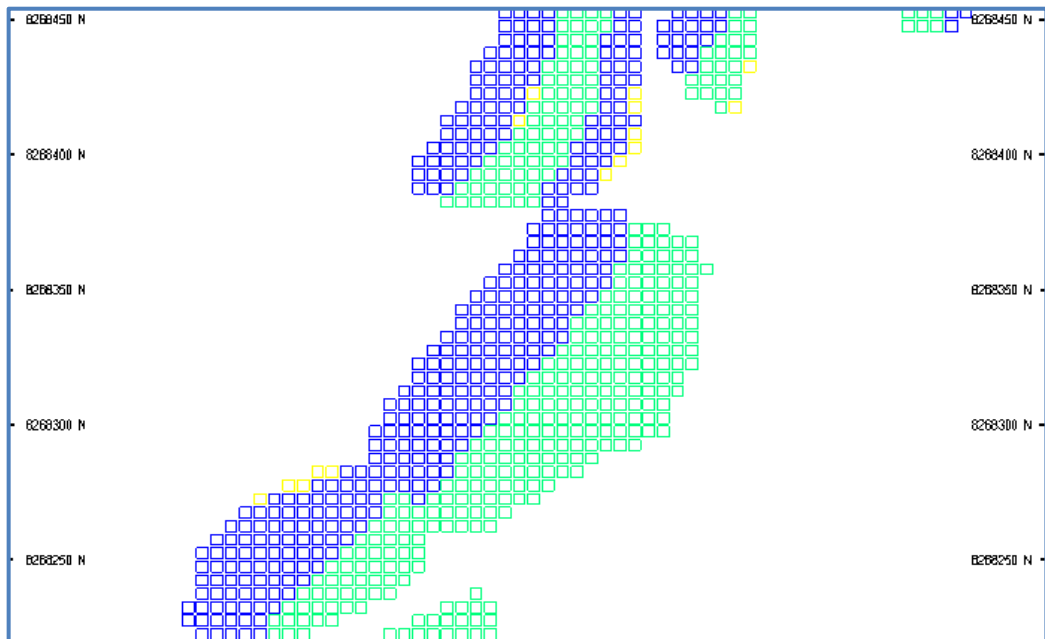
Vista isométrica del modelo de leyes del proyecto Puya-Puya



Nota: Calcesur.

Figura 51

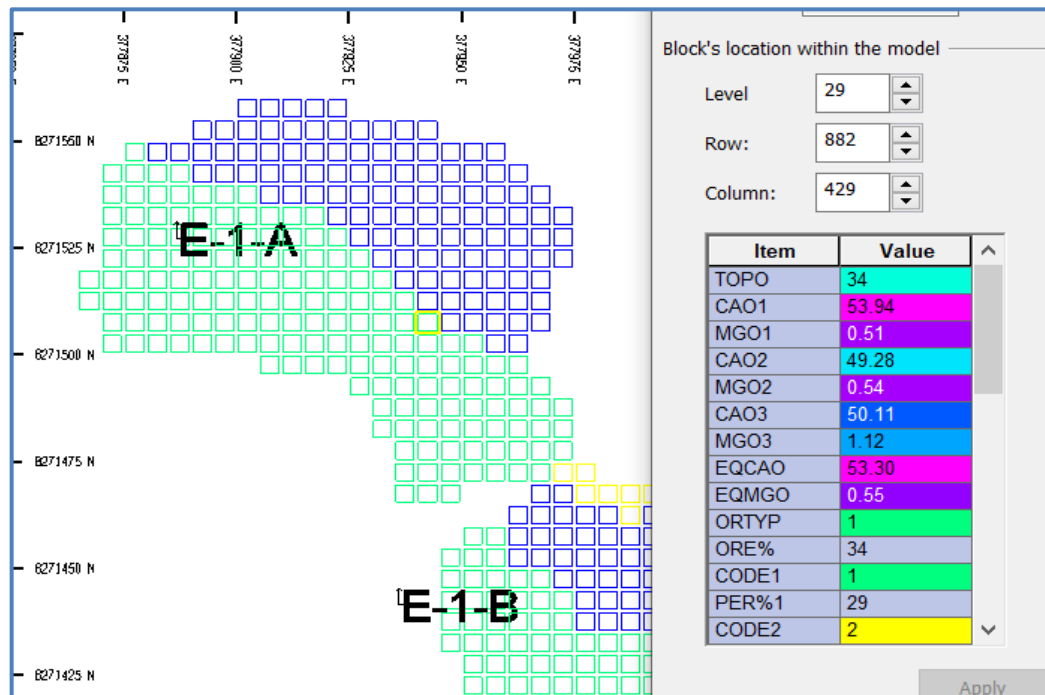
Vista del plano 3,879.80 del modelo de leyes del proyecto Puya-Puya



Nota: Calcesur.

Figura 52

Vista del plano 3,879.80 del modelo de leyes del proyecto Puya-Puya



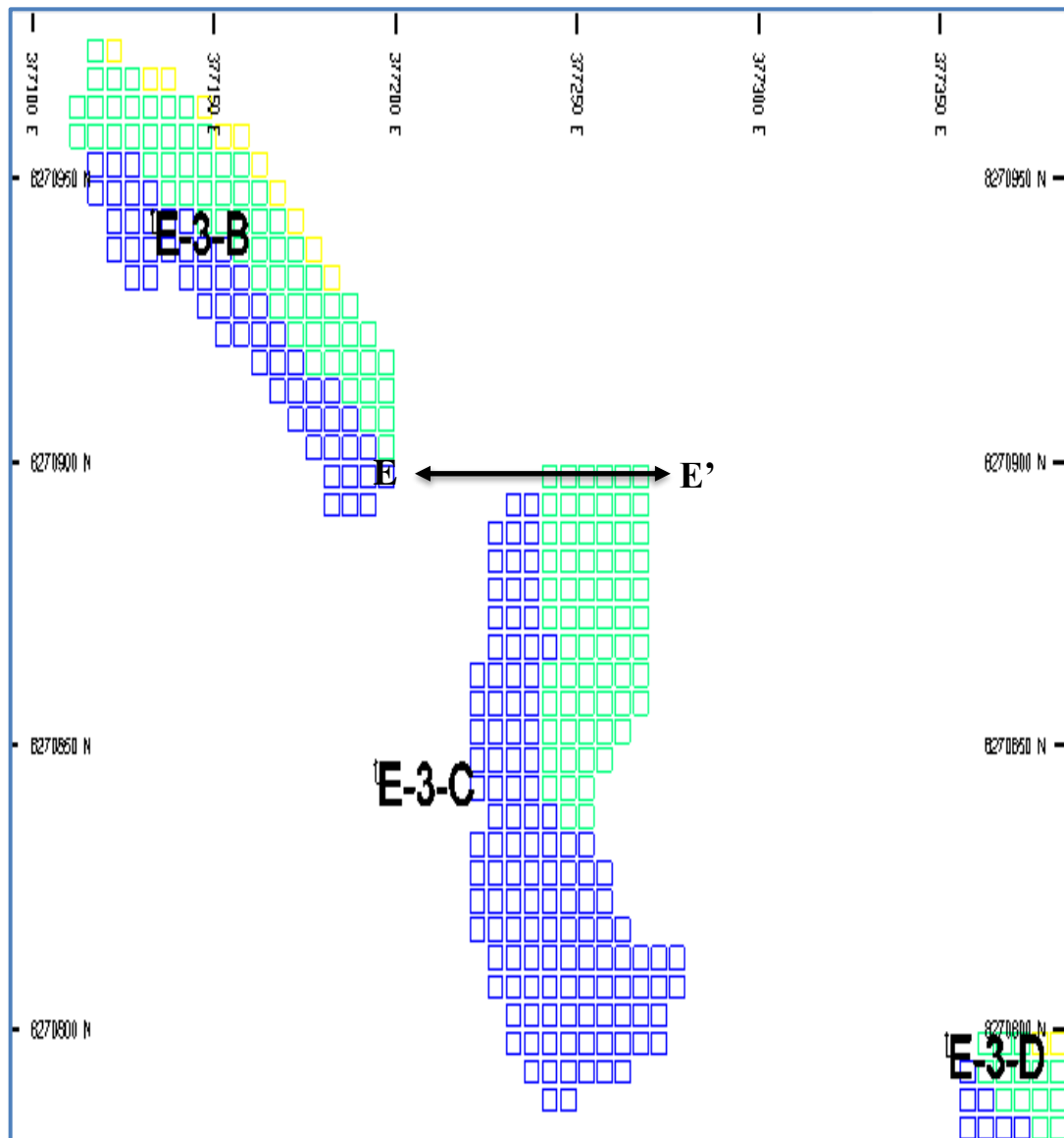
Nota: Calcesur.

Como se puede ver en la figura 52, al realizar la consulta al modelo de leyes a determinado bloque del cuerpo calcáreo E-1-A, las leyes corresponden a los valores mostrados en la tabla x, esto aún en los contactos de múltiple “Ore percentage”, donde el bloque tiene más de una roca caliza también tiene más de una ley. Esta consulta **valida al modelo de leyes del proyecto Puya-Puya**.

También se hizo un análisis de sección (Ver Figura 53).

Figura 53

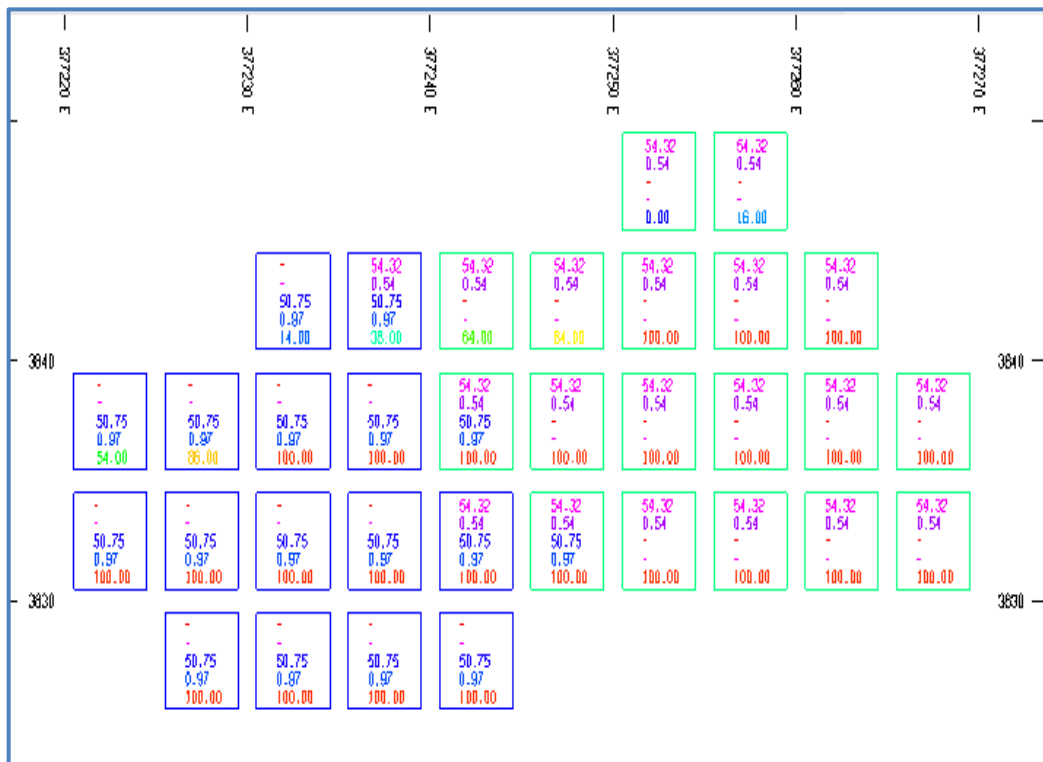
Vista en planta de la sección E-E' del cuerpo calcáreo E-3-C



Nota: Calcesur.

Figura 54

Sección vertical E-E' del cuerpo calcáreo E-3-C



Nota: Calcesur.

Así como se puede ver en la figura 54, las leyes en profundidad también respetan la asignación conforme al tipo de roca caliza, en algunos bloques sólo se tiene leyes para un tipo de caliza mientras que, en los contactos, se tiene leyes hasta los 3 tipos de roca caliza.

De esta manera, se culminó el diseño del modelo de bloques para el proyecto Puya-Puya.

5.2 RECURSOS DE CADA CUERPO CALCÁREO PRESENTE EN EL PROYECTO PUYA-PUYA

El segundo objetivo desarrollado en este estudio de investigación fue la estimación de los recursos de cada cuerpo calcáreo presente en los afloramientos de roca

caliza del proyecto Puya-Puya utilizando el MS-Reserve del software MinePlan. El MS-Reserve es una herramienta muy útil para estimar el tonelaje, el volumen y la ley, ya sea de un sólido o un polígono con el cual se esté trabajando. Esta herramienta utiliza una lógica de reserva para lo cual se debe crear un archivo de extensión “xn. resLogic”, y te permite reportar de forma sencilla los recursos o reservas de cierto elemento: que puede ser un pit, un sólidos o un polígono cualquiera. Esta herramienta reemplazo el tan cuestionado y difícil reporte de la herramienta “Pitres.res”.

Para el proyecto Puya-Puya se creó la lógica de reservas denominado: RL_Res by OZ.resLogic. El cual dio un extenso reporte que se adjunta a detalle en el Anexo B. Un reporte para la zona 1 (Ver Tabla 6).

Tabla 6

Reporte de 10 cuerpos calcáreos de la zona 1

Sub Zones	Outcrops 1	PACKSTONE CP_1			DOLOMITA CD_2			MUDSTONE CM_3			Total de Mineral por tipo de roca Caliza		
		Tonnes	CaO (%)	MgO (%)	Tonnes	CaO (%)	MgO (%)	Tonnes	CaO (%)	MgO (%)	Tonnes	CaO (%)	MgO (%)
ZONE_1	OZ1_1	102,225.32	54.33	0.5	5,032.85	50.21	0.8	71,160.82	49.91	1.62	178,418.98	52.45	0.96
	OZ1_2	84,199.16	53.12	0.72	7,999.51	49.33	4.25	56,285.46	50.56	0.69	148,484.13	51.95	0.9
	OZ1_3	40,127.09	54.26	0.55	4,916.19	45.2	4.32	21,356.21	50.9	1.15	66,399.50	52.51	1.02
	OZ1_4	28,719.78	54.32	0.54				66,329.36	50.75	0.97	95,049.14	51.83	0.84
	OZ1_5	14,244.33	54.74	0.58	1,558.95	50.14	0.9	7,220.78	51.72	2.01	23,024.06	53.48	1.05
	OZ1_6	436,140.26	53.04	0.84	73,742.10	47.86	3.19	335,111.45	48.39	2.26	844,993.81	50.74	1.61
	OZ1_7	18,829.53	53.78	0.84	7,313.76	48.34	2.14	7,399.70	51.41	0.97	33,542.98	52.07	1.15
	OZ1_8	8,177.27	54.79	0.52	1,174.58	48.69	2.52	5,735.05	50.88	0.83	15,086.90	52.83	0.79
	OZ1_9	33,632.71	54.65	0.5	2,360.35	50.17	1.81	14,359.19	51.3	0.67	50,352.25	53.48	0.61

Nota: Calcesur.

Como se aprecia en la tabla 6, el reporte que genera MS-Reserve del software MinePlan es muy detallado, otorgando el tonelaje, el volumen y la ley de CaO% y MgO% por cada tipo de roca caliza presente en los cuerpos calcáreos, así como una separación por tipo de cuerpo o código.

Cabe mencionar algo muy importante, que debido a restricciones de la empresa solo se pueden mostrar códigos a los diferentes cuerpos calcáreos.

En general, los recursos cubicados en el proyecto Puya-Puya por tipo de zona explorada y por tipo de roca caliza fue realizado (Ver Tabla 7).

Tabla 7

Reporte de recursos por zonas y tipo de roca caliza

Sub Zonas	Tipo de roca	Material Code	Tonnes	Volume	CaO (%)	MgO (%)
ZONE_1	Dolomítica	CD_2	212,810.85	96,728.58	48.27	2.62
	Mudstone	CM_3	1,963,814.89	892,572.47	49.83	1.83
		Packstone	CP_1	2,674,844.51	1,215,741.51	53.57
ZONE_1 Total			4,851,470.25	2,205,042.56	51.83	1.22
ZONE_2	Dolomítica	CD_2	100,056.20	45,465.44	49.81	1.36
	Mudstone	CM_3	1,469,709.01	667,918.28	50.61	0.79
		Packstone	CP_1	1,902,356.52	864,531.14	53.57
ZONE_2 Total			3,472,121.73	1,577,914.87	52.21	0.69
ZONE_3	Dolomítica	CD_2	98,382.66	44,713.59	48.62	2.27
	Mudstone	CM_3	1,523,024.59	692,142.80	50.5	0.8
		Packstone	CP_1	1,447,574.88	657,759.63	53.72



Sub Zones	Tipo de roca	Material Code	Tonnes	Volume	CaO (%)	MgO (%)
ZONE_3 Total			3,068,982.13	1,394,616.02	51.96	0.78
ZONE_4	Dolomítica	CD_2	100,826.93	45,828.56	48.72	2.14
	Mudstone	CM_3	1,418,972.08	644,937.53	50.18	0.86
	Packstone	CP_1	1,492,335.35	678,244.94	53.23	0.7
ZONE_4 Total			3,012,134.36	1,369,011.03	51.64	0.83
Grand Total			14,404,708.46	6,546,584.48	51.91	0.92

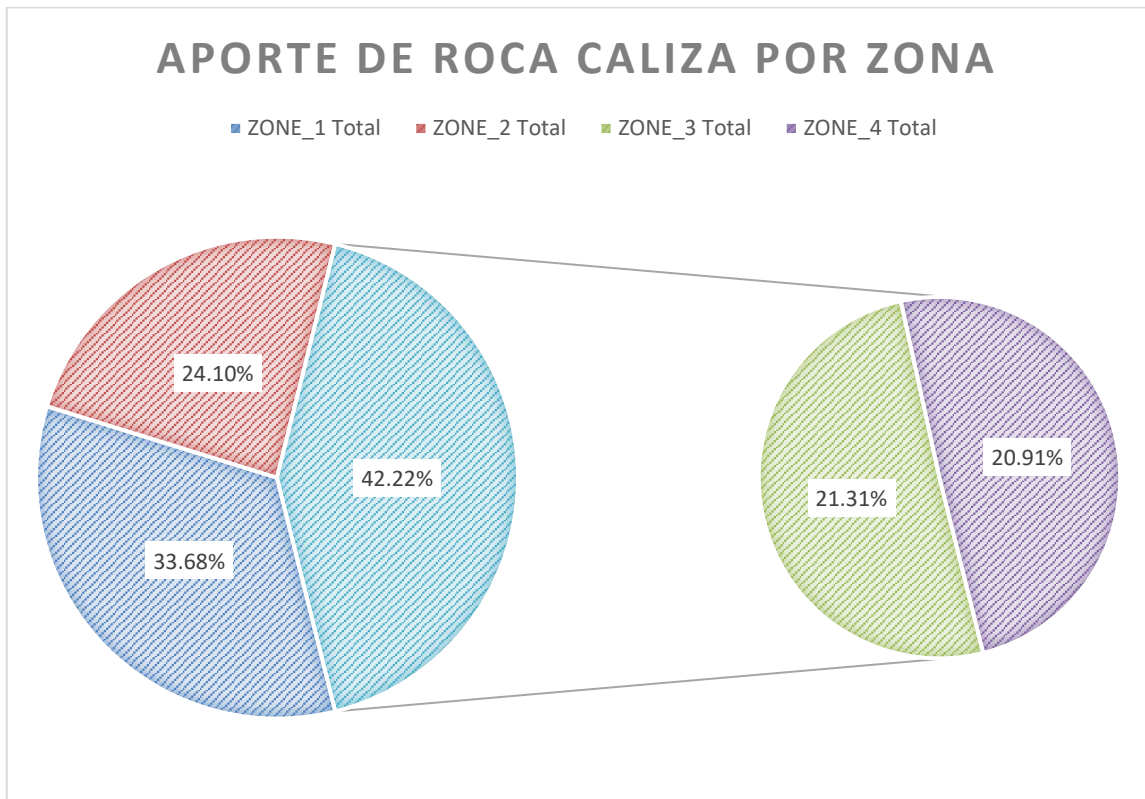
Nota: Calcesur.

De acuerdo a la tabla 7, en el proyecto Puya-Puya se han podido cubicar por cada zona explorada: 4,851,470.25 TM de roca caliza con una ley promedio de 51.83% de CaO y 1.22% de MgO en la zona 1; 3,472,121.73 TM de roca caliza con una ley promedio de 52.21% de CaO y 0.69% de MgO en la zona 2; 3,068,982.13 TM de roca caliza con una ley promedio de 51.96% de CaO y 0.78% de MgO en la zona 3; y 3,012,134.36 TM de roca caliza con una ley promedio de 51.64% de CaO y 0.83% de MgO en la zona 4.

En forma proporcional comparativa entre cada zona se tendría (Ver Figura 55).

Figura 55

Porcentaje de mineral de roca caliza por zona



Nota: Calcesur.

De acuerdo a la figura 55, la zona con mayor aporte es la zona 1, seguido de la zona 2, con menor aporte la zona 3 y 4 respectivamente.

Algo muy importante en esta cubicación de recursos, es que no se hizo teniendo en cuenta la confidencialidad o certeza de recurso, sino que se ha priorizado el tipo de roca caliza; ya que este influye directamente en la calidad del óxido de calcio, el cual es el producto principal de la empresa Calcesur. En ese sentido, la cubicación general por tipo de roca caliza se puede observar (Ver Tabla 8).

Tabla 8*Reporte general por tipo de roca caliza*

Tipo de roca	Material Code	Tonnes	Volume	CaO (%)	MgO (%)
Packstone	CP_1	7,517,111.26	3,416,277.23	53.53	0.65
Mudstone	CM_3	6,375,520.57	2,897,571.09	50.25	1.13
Dolomítica	CD_2	512,076.63	232,736.17	48.73	2.21
Grand Total		14,404,708.46	6,546,584.48	51.91	0.92

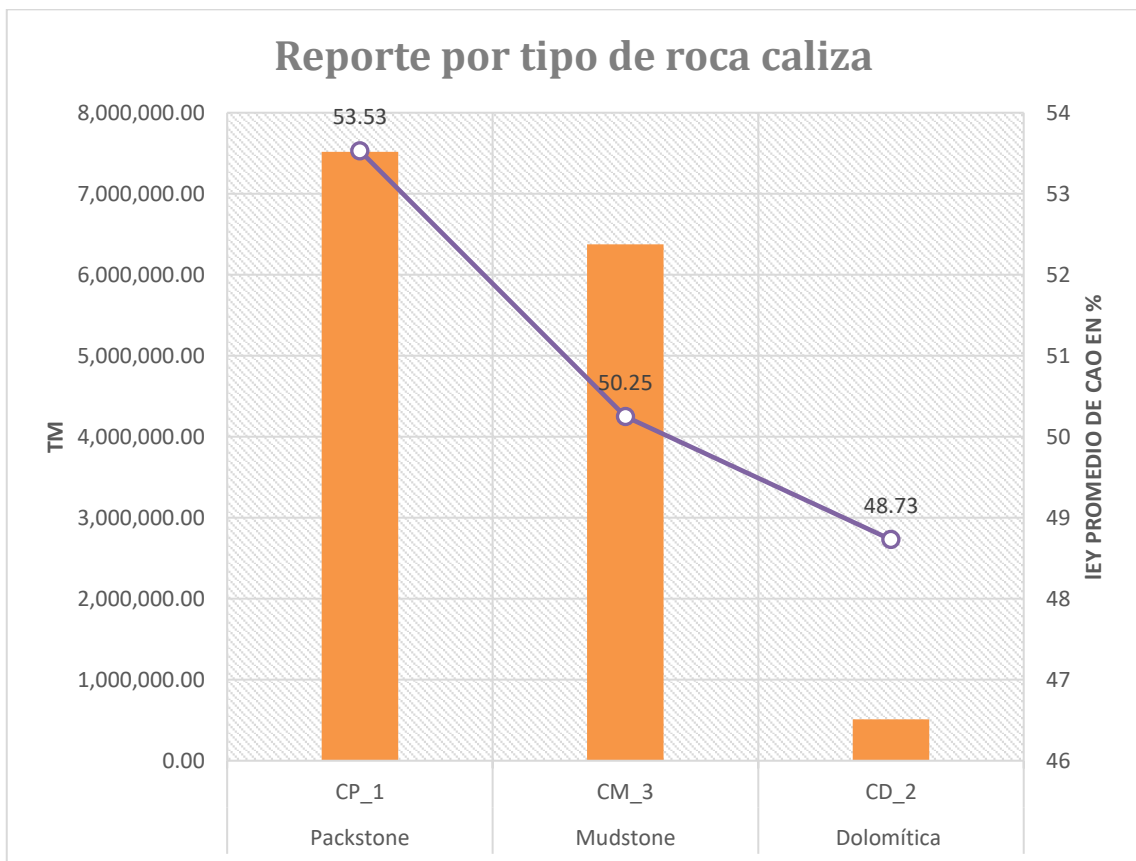
Nota: Calcesur.

Según la tabla 8, se han estimado: 7,517,111.26 TM de caliza Packstone con una ley promedio de 53.53% de CaO y 0.65% de MgO; 6,375,520.57 TM de caliza Mudstone con una ley promedio de 50.25% de CaO y 1.13% de MgO; 512,076.63 TM de caliza Dolomítica con una ley promedio de 48.73% de CaO y 2.21% de MgO; dando un **total de 14,404,708.46 TM de roca caliza con una ley promedio de 51.91% de CaO y 0.92% de MgO.**

Gráficamente este se puede observar (Ver Figura 56 y 57).

Figura 56

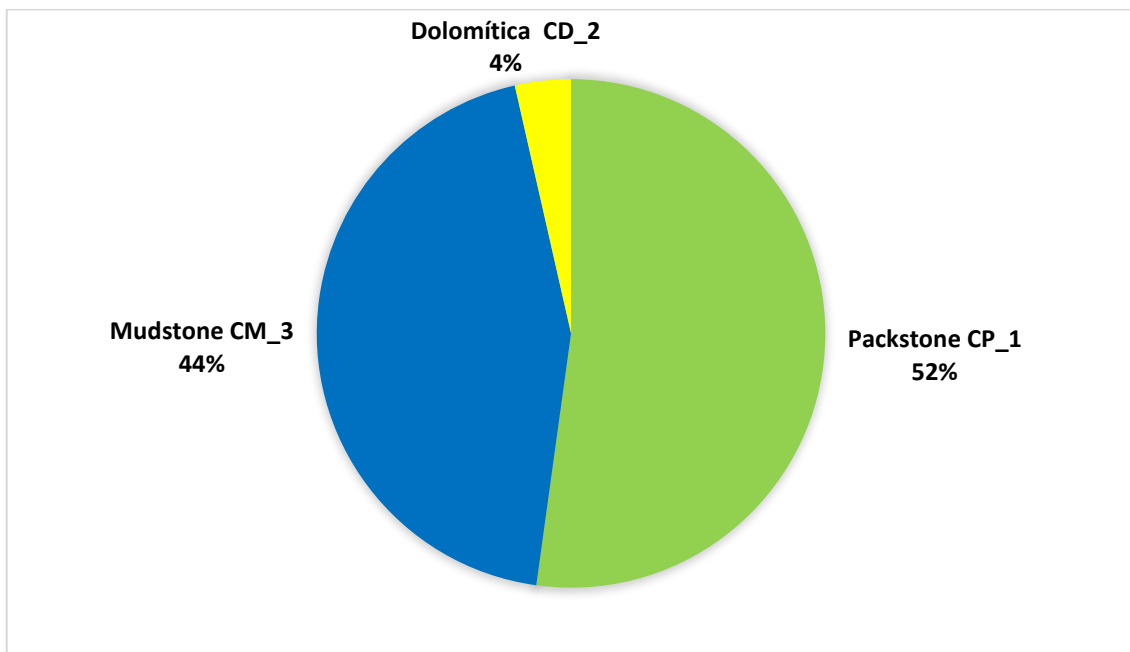
Tonelaje y ley por tipo de roca caliza



Nota: Calcesur.

Figura 57

Porcentaje por tipo de roca caliza



Nota: Calcesur.

De acuerdo a la figura 57, la caliza Packstone tiene mayor tonelaje con 52% del total de mineral estimado, seguido de la caliza Mudstone con 44%, con menor aporte caliza Dolomítica con solo 4%.

5.3 LAS RESERVAS ECONÓMICAS DEL PROYECTO PUYA-PUYA

Como tercer objetivo de este estudio fue determinar las reservas económicas del proyecto Puya-Puya en base a las condiciones económicas y restricciones operativas de la empresa Calcesur. Para ello, se usó la técnica establecida por el método computacional o de los softwares comerciales que basan su estimación en el modelado 3D y el modelo de bloques 3D. Todo este proceso se vio resumido en los puntos anteriores 5.1 y 5.2.

Es importante mencionar que: una ley de corte económica sería inadecuada para este tipo de yacimiento, ya que en la pureza del óxido de calcio es más importante para lograr el proceso de la cal, lo cual no se podría lograr con una caliza de baja pureza, por

lo tanto: La ley de cabeza de la planta de calcinación es el parámetro que se usa en la empresa Calcesur para separar una caliza económica o mena, de otra no.

Entonces, en base a la ley de cabeza se tiene Ley mínima CaO 52.00% máximo 53.50%, por lo que:

→ Para CaO \Rightarrow 52.00% and \leq 53.50% = Mena

→ Para CaO $<$ 52.00% = Desmonte

→ Para CaO $>$ 53.50% = Necesidad de Blending

Para realizar el análisis usaremos el siguiente reporte (Ver Tabla 9).

Tabla 9

Reporte por tipo de caliza con un rango de cutoff

Caliza	Cutoff [CaO (%)]	TM	Volumen	CaO (%)	MgO (%)
	52	1,827,605.36	830,615.97	52.59	0.76
Packstone					
	53	3,514,705.24	1,597,342.29	53.49	0.67
CP_1					
	54	2,174,800.67	988,318.96	54.4	0.52
CP_1 Total		7,517,111.26	3,416,277.23	53.53	0.65
	46	2,038.42	926.55	46.19	2.29
Mudstone					
	47	200,189.76	90,988.12	47.52	6.04
CM_3					
	48	602,387.94	273,792.01	48.4	1.59



Caliza	Cutoff [CaO (%)]	TM	Volumen	CaO (%)	MgO (%)
	49	1,017,216.05	462,314.49	49.62	1.11
	50	3,285,519.30	1,493,227.99	50.55	0.93
	51	1,268,169.11	576,321.92	51.3	0.65
CM_3 Total		6,375,520.57	2,897,571.09	50.25	1.13
	41	16,383.89	7,446.95	42.88	4.5
	44	35,431.54	16,102.92	45.51	4.21
Dolomítica	46	159,074.73	72,302.27	47.32	3.02
CD_2	48	126,417.49	57,457.99	49.42	1.99
	50	169,764.00	77,151.72	50.65	1.02
	52	5,004.98	2,274.32	52.45	0.93
CD_2 Total		512,076.63	232,736.17	48.73	2.21
Grand Total		14,404,708.46	6,546,584.48	51.91	0.92

Nota: Calcesur.

Cómo se puede ver en la tabla 9, la caliza Packstone posee leyes desde 52% de CaO como mínimo, hasta un máximo de 54%, mientras la caliza Mudstone posee leyes desde 46% hasta un máximo de 51.3%, y la caliza Dolomítica posee leyes desde 41% hasta un máximo de 52%.

Si aplicamos la ley de cabeza a raja tabla, solamente la caliza Packstone sería mena, lo cual no sería conveniente porque también posee leyes mayores a 53.50, lo cual necesitaría un blending. Necesitando una caliza para mezclar.

Ahora, si la empresa mezcla con la caliza Mudstone y caliza Dolomítica, la ley promedio baja demasiado hasta un 51.91% de CaO, haciendo **no económico** el yacimiento. Por lo que, por la masa presente solamente la caliza Dolomítica se explota al 100%, generándose un mejor blending aun cuando se espera un 10% de dilución operativa con la caliza Mudstone. Por lo que las reservas del proyecto Puya-Puya son (Ver Tabla 10).

Tabla 10

Reporte reservas del proyecto Puya-Puya

Caliza	Cutoff [CaO (%)]	TM	Volumen	CaO (%)	MgO (%)
Packstone CP_1	52	1,827,605.36	830,615.97	52.59	0.76
	53	3,514,705.24	1,597,342.29	53.49	0.67
	54	2,174,800.67	988,318.96	54.4	0.52
CP_1 Total		7,517,111.26	3,416,277.23	53.53	0.65
Dolomítica CD_2	41	16,383.89	7,446.95	42.88	4.5
	44	35,431.54	16,102.92	45.51	4.21
	46	159,074.73	72,302.27	47.32	3.02
	48	126,417.49	57,457.99	49.42	1.99
	50	169,764.00	77,151.72	50.65	1.02
	52	5,004.98	2,274.32	52.45	0.93
CD_2 Total		512076.63	232736.17	48.73	2.21
Grand Total		8,029,187.89	3,649,013.39	53.23	0.75

Nota: Calcesur.



Según la tabla 10, combinando con la caliza dolomítica la ley promedio solo baja hasta 53.23% de CaO el cual está por encima de la ley mínima de cabeza, calificándose como mena.

Por lo tanto: las reservas cubicadas en el proyecto Puya-Puya son: 7,517,111.26 TM de caliza Packstone con una ley promedio de 53.53% de CaO y 0.65% de MgO; 512,076.63 TM de caliza Dolomítica con una ley promedio de 48.73% de CaO y 2.21% de MgO; dando un **total de reservas potenciales minarse de 8,029,187.89 TM de roca caliza con una ley promedio de 53.23% de CaO y 0.75% de MgO.**

5.4 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Esta discusión se realizó en base a las hipótesis planteadas en el presente estudio:

- Todas las características geológicas exploradas en los afloramientos de roca caliza del proyecto Puya-Puya se almacenaron de forma sistemática y eficaz dentro del modelo de bloques 3D diseñado en el software MinePlan. Ello ha permitido administrar mejor toda la base de datos el proceso de exploración de los cuerpos calcáreos del proyecto Puya-Puya. Esto también concederá la posibilidad de preservar los datos en el tiempo, ya que la empresa Calcesur demora años en explotar sus proyectos y los profesionales en la ingeniería geológica, así como el equipo de geólogos cambia en el tiempo, por lo que fue imperioso encontrar un método para preservar mejor la fidelidad de los datos de exploración tomados del campo.
- Los recursos de cada cuerpo calcáreo presente en los afloramientos de roca caliza del proyecto Puya-Puya se estimaron de forma sistema y dinámica utilizando el MS-Reserve del software MinePlan. Este este logro permitió administrar mejor la cubicación de todos los cuerpos calcáreos identificados en el proyecto Puya-Puya.



Asimismo, el MS-Reserve del software MinePlan, trabaja con un archivo que también se puede exportar y compartir, lo cual significa mantener y auditar el proceso de cubicación en el tiempo.

- Los cuerpos calcáreos con una ley de CaO mayores a la ley de corte y la ley de cabeza se cubican como reservas económicas del proyecto Puya-Puya. Esto fue un proceso muy particular para el yacimiento del proyecto Puya-Puya, ya que una ley de corte económica que tiene en cuenta los costos de minado y procesamiento, no fueron adecuados para clasificar los recursos cubicados como reservas. Para el caso del proyecto Puya-Puya fue más importante utilizar la ley de cabeza, de esta manera la empresa Calcesur se asegura de obtener una calidad determinada de su producto, es decir, el óxido de calcio o cal, el cual se comercializa a diferentes clientes.



VI. CONCLUSIONES

- Se logró diseñar el modelo de bloques específico para el yacimiento calcáreo del proyecto Puya-Puya, pasando del modelo geológico, el modelo por tipo de roca caliza usando la técnica de “multiple ore percentage”, y el modelo de leyes que implicó un análisis de leyes selectiva; determinándose que la caliza Packstone CP posee mayor pureza, teniéndose una frecuencia relativa de 64% para leyes entre 48.65% de CaO hasta 55.60% de CaO, seguido de la caliza Dolomítica CD con una frecuencia relativa de 65% para leyes entre 46.59% de CaO hasta 53.24% de CaO, y finalmente la caliza Mudstone con una frecuencia relativa de 53% para leyes entre 32% de CaO hasta 52.50% de CaO; codificándose en el modelo de leyes en base a leyes promedio por el procedimiento de “multi-run”.
- Se estimó los recursos del proyecto Puya-Puya, tanto por cuerpos calcáreos, zonas exploradas, así como por tipo de roca caliza, teniéndose: 7,517,111.26 TM de caliza Packstone con una ley promedio de 53.53% de CaO y 0.65% de MgO; 6,375,520.57 TM de caliza Mudstone con una ley promedio de 50.25% de CaO y 1.13% de MgO; 512,076.63 TM de caliza Dolomítica con una ley promedio de 48.73% de CaO y 2.21% de MgO; dando un **total de recursos de 14,404,708.46 TM de roca caliza con una ley promedio de 51.91% de CaO y 0.92% de MgO.**
- Se determinó las reservas para el proyecto Puya-Puya, en base a la ley de cabeza, es decir, en base a la pureza de óxido de calcio, cubicándose: 7,517,111.26 TM de caliza Packstone con una ley promedio de 53.53% de CaO y 0.65% de MgO; 512,076.63 TM de caliza Dolomítica con una ley promedio de 48.73% de CaO y 2.21% de MgO; dando un **total de reservas potenciales minarse de 8,029,187.89 TM de roca caliza con una ley promedio de 53.23% de CaO y 0.75% de MgO.**



VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda estandarizar el proceso de modelamiento ya sea con el software MinePlan u otro software, esto permitirá mayor eficiencia en el manejo de los datos de exploración de cualquier proyecto ya que la empresa Calcesur posee muchos otros proyectos pues la Formación de Calizas “Ayabacas” posee una gran extensión en la región de Puno.
- Se recomienda añadir un proceso adicional para procesar la caliza Mudstone, cuyo tonelaje en recursos estimado fue 6,375,520.57 TM con una ley promedio de 50.25% de CaO y 1.13% de MgO; ósea un con 44% del total de los recursos estimados en el proyecto Puya-Puya.
- Por último, se recomienda realizar un diseño de los pits shell y generar una secuencia de minado, ello ayudara a aprovechar mejor las reservas estimadas en el proyecto Puya-Puya.



VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alca, J. & Murillo, R. (2017). Influencia de la sílice en el proceso de calcinación para reducir el contenido de quemado en el óxido de calcio [Título para optar el grado de ingeniero químico, Universidad Nacional San Agustín] Repositorio institucional.
- Asqui, G. (2019). Optimizar la rentabilidad operativa de la cal extrayendo roca caliza de la zona 3 de la cantera ayacucho en cal y cementos sur caracoto [Título para optar el grado de ingeniero de minas, Universidad Nacional del Altiplano] Repositorio institucional.
- Bravo, J. (2018). Optimización de los costos de chancado aplicando el modelo cunningham y la malla triangular equilátera para reducir la fragmentación de la roca caliza en la cantera caracoto [Título para optar el grado de ingeniero de minas, Universidad Nacional del Altiplano] Repositorio institucional.
- Carreras, A. (1970). Morfología e hidrología del karst, *las rocas carbonáticas*. *Revista Grupo Espeológico*. 2(2). 1–36.
- Carrión, B. y De La cruz, O. (2016, 04 de diciembre) Olistostroma Calizas Ayabacas en la región del altiplano [Ponencia] *Sociedad Geología*. Lima, Peru. bzavala@ingemmet.gob.pe.
- Contreras, J. (2017). Diseño del plan de explotación de calizas en el prospecto minero rubi [Título para optar el grado de ingeniero de minas, Universidad Alas Peruanas] Repositorio institucional.



- Cueva, E. (2023). Modelamiento geológico y cálculo de reservas minerales de la veta lucerito mina nueva esperanza nivel 2 algarmarca cajabamba [Titulo para optar el grado de ingeniero geologo, Universidad Nacional de Cajamarca] Repositorio instutucional.
- Instituto Geologico Minero y Metalurgista (1990). Yacimientos por Intemperismo o meteorizacion. INGEMMET, pp. 498-508.
- Lambert, A. (2006). *Manual de Muestreo para Exploración, Minería Subterránea y Rajo Abierto.*(1ra Edicion) Los Lirios.
- Oliveira, C., Hodgson, D., y Flint, S. (2011). Distribution of soft-sediment deformation structures in clinoform successions of the Permian Ecca Group, Karoo Basin, South Africa. *Revista de la Universidad de Liverpool*, 235-330.
<https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2010.09.011>
- Pierre, C., Carlotto, V., Odonne, F., y Sempere, T. (2006). Progresos En El Estudio De La Formación Ayabacas. *Progresos En El Estudio De La Formación Ayabacas*, 1(1), 517–520.
- Sanga, J. (2019). Reducción de la dilución del mineral en el proceso de minado mejorando el ore control en la cantera calquipa – calidra [Titulo para optar el grado de ingeniero geologo, Universidad Nacional del Altiplano] Repositorio instutucional.
- Sempere, T., Y Jacay, J. (2000). Características y génesis de la Formación Ayabacas (departamentos de Puno y Cusco).Publicacion,90(2000),69-76.



<https://www.researchgate.net/publication/282170056>

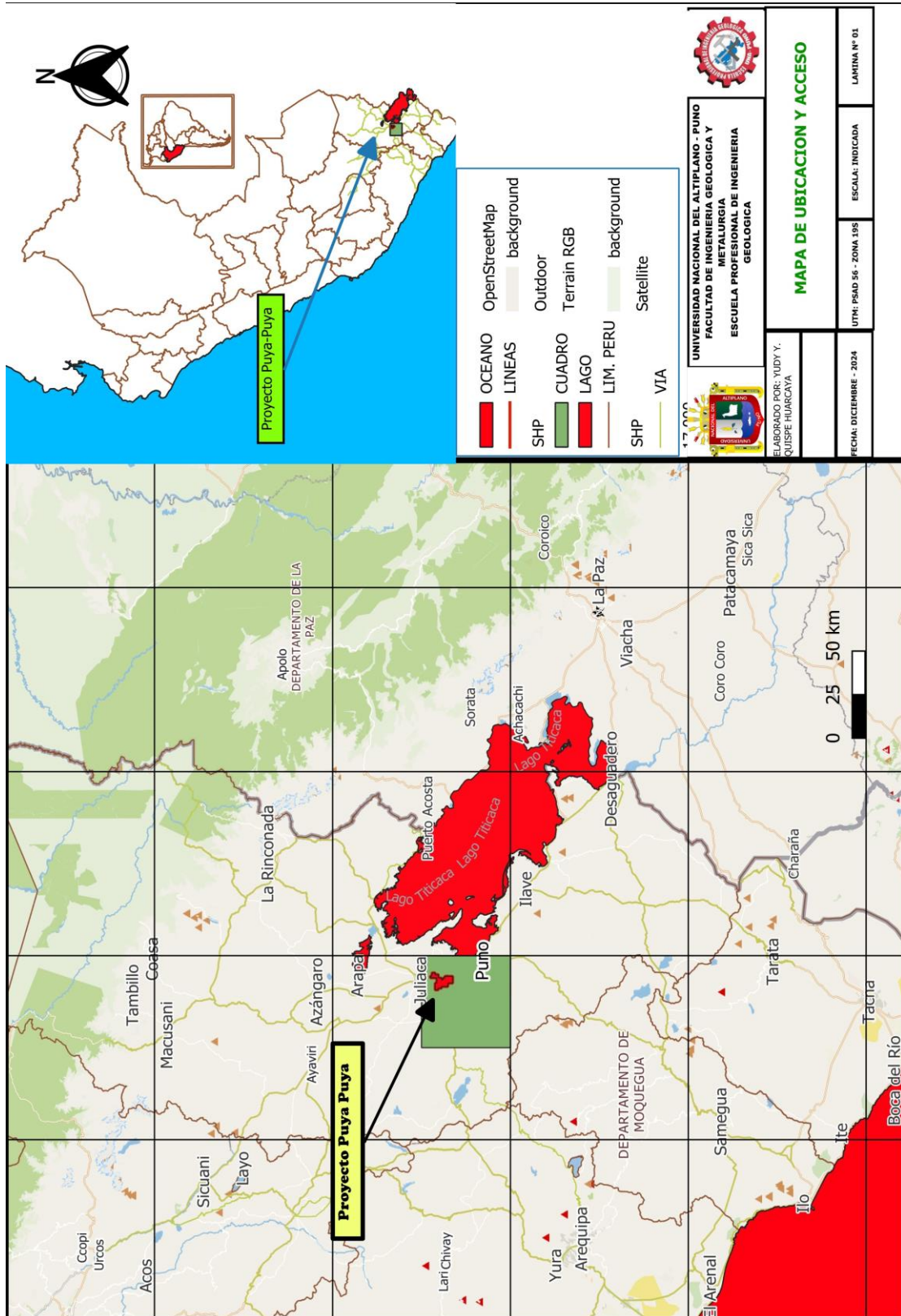
Supo, J., & Zacarías, H. (2024). *Metodología de la Investigación Científica* (4ta. ed.).

Sincie.

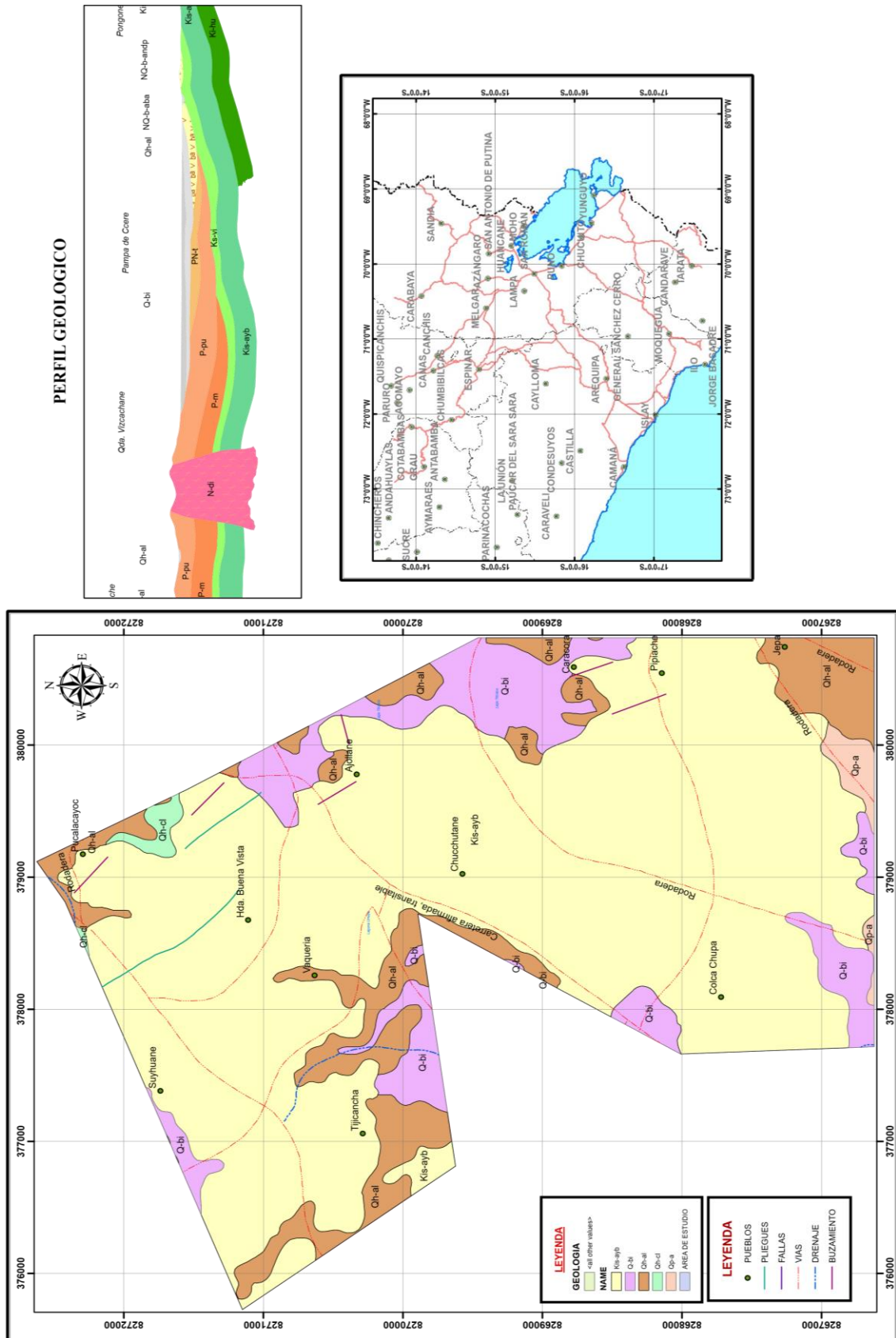
Torre, J., y Carpio, M. (2016). *Yacimientos de calizas y sus implicancias industriales en la región la libertad*. INGEMMET, pp. 1-5.

ANEXOS

ANEXO 1. Plano de ubicación del proyecto Puya - Puya



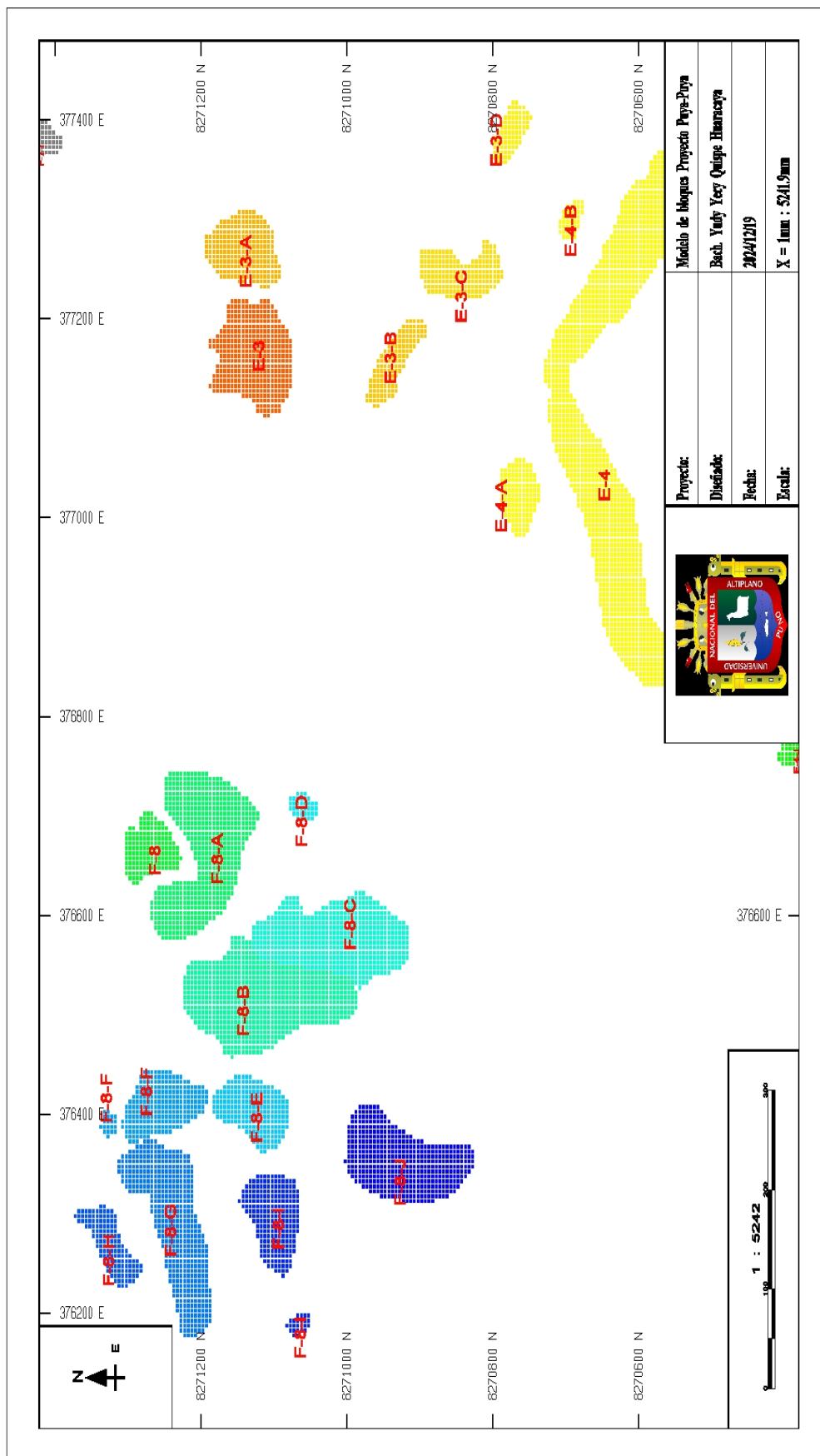
ANEXO 2: Mapa geológico del área de estudio



ANEXO 3: Mapa de los cuerpos calcáreos



ANEXO 4: Mapa de modelo de bloques del proyecto Puya - Puya



ANEXO 5: Reporte de los recursos por tipo de roca caliza y códigos de afloramiento

Sub Zones	CP_1					CD_2					CM_3					Total Ore				
	Tonnes	Volume	CaO (%)	MgO (%)	Tonnes	Volume	CaO (%)	MgO (%)	Tonnes	Volume	CaO (%)	MgO (%)	Tonnes	Volume	CaO (%)	MgO (%)	Tonnes	Volume	CaO (%)	MgO (%)
OZ 1_1	102,225.32	46,461.06	54.33	0.5	5,032.85	2,287.66	50.21	0.8	71,480.82	32,344.45	49.91	162	178,483.98	81,083.16	52.45	0.96				
OZ 1_2	84,895.16	38,289.40	53.12	0.72	7,999.51	3,635.88	49.33	4.25	56,285.46	25,883.16	50.56	0.69	448,484.13	67,488.45	51.95	0.9				
OZ 1_3	40,827.09	18,238.79	54.26	0.55	4,916.19	2,234.63	45.2	4.32	21,356.21	9,705.34	50.9	1.16	66,399.50	30,778.76	52.51	1.02				
OZ 1_4	28,719.78	13,053.94	54.32	0.54					66,329.36	30,145.38	50.75	0.97	95,049.14	43,899.32	51.83	0.84				
OZ 1_5	14,244.33	6,474.57	54.74	0.58	158.95	708.61	50.14	0.9	7,220.78	3,280.30	51.72	2.01	23,024.06	10,463.49	53.48	1.05				
OZ 1_6	436,140.26	188,220.56	53.04	0.84	7,742.10	33,518.22	47.86	3.19	335,111.45	152,307.48	48.39	2.26	844,993.81	384,046.26	50.74	1.61				
OZ 1_7	18,829.53	8,558.75	53.78	0.84	7,313.76	3,324.35	48.34	2.14	7,399.70	3,363.10	51.41	0.97	33,542.98	15,246.19	52.07	1.15				
OZ 1_8	8,177.27	3,715.81	54.79	0.52	1,745.6	533.9	48.69	2.52	5,735.05	2,606.84	50.88	0.83	5,086.90	6,856.55	52.83	0.79				
OZ 1_9	33,632.71	15,284.81	54.65	0.5	2,360.35	1,072.89	50.17	1.81	14,359.19	6,524.97	51.3	0.67	50,352.25	22,882.67	53.48	0.61				
OZ 1_10	43,236.92	19,645.77	54.35	0.45	3,245.7	1,419.99	51.26	0.61	42,209.94	19,181.27	49.14	1.95	88,571.43	40,247.03	51.76	1.17				
OZ 1_11	112,899.34	51,309.31	54.34	0.57	13,757.49	6,253.00	51.64	0.98					126,656.83	57,562.31	54.05	0.61				
OZ 1_12	45,763.41	20,800.60	52.65	0.67	2,095.09	952.16	45.37	1.03	24,785.37	11,265.50	50.56	0.71	72,643.87	33,018.26	51.73	0.69				
OZ 1_13	27,763.18	12,619.63	54.38	0.63	2,804.80	1,274.91	45.46	13.68	35,011.53	15,909.67	48.74	2.64	66,569.52	29,804.21	50.99	2.26				
OZ 1_14	251,688.29	114,300.73	54.55	0.45	8,956.31	4,070.80	46.15	1.29	79,590.32	36,174.89	51.68	0.75	340,214.92	154,636.42	53.66	0.54				
OZ 1_15	117,781.82	53,529.26	54.42	0.52	7,322.76	3,328.53	50.8	1.27	86,687.16	39,388.35	51.62	0.64	211,717.3	96,246.14	53.15	0.6				
OZ 1_16									53,315.58	24,223.70	51.04	0.67	53,315.58	24,223.70	51.04	0.67				
OZ 1_17	22,078.56	10,035.71	54.71	0.48	1,655.41	752.46	43.66	3.01	26,950.44	12,248.53	51.01	0.73	50,684.42	23,036.70	52.38	0.7				
OZ 1_18	179,268.11	81,484.52	53.56	0.65	13,759.53	6,253.77	47.48	1.7	168,852.80	72,202.56	47.57	6.65	351,880.44	169,940.85	50.62	3.4				
OZ 1_19	229,438.45	104,278.52	54.64	0.48	7,505.27	3,411.04	50.12	1.61	143,349.82	65,666.35	51.14	0.54	380,293.54	172,845.91	53.23	0.52				
OZ 1_20	186,325.13	84,689.10	52.93	0.46	3,477.72	1,580.78	51.97	0.7	167,794.04	76,266.70	50.88	0.43	357,596.89	162,536.58	51.96	0.45				
OZ 1_21	7,094.53	3,224.79	52.6	0.58									7,094.53	3,224.79	52.6	0.58				
OZ 1_22	91,822.52	41,736.56	53.77	0.45	4,149.06	1,885.94	49.64	2.52	56,943.24	25,883.16	49.77	2.52	152,914.82	69,505.66	52.17	1.28				
OZ 1_23	107,655.37	48,932.52	53.4	0.44	8,283.22	3,765.10	50.5	0.67	45,833.59	20,833.16	51.05	0.58	161,772.18	73,530.80	52.59	0.49				
OZ 1_24	184,235.11	83,738.88	52.2	1.18	17,092.87	7,769.48	49.72	2	188,443.22	90,200.09	48.34	0.26	399,771.20	181,708.46	50.18	0.76				
OZ 1_25	25,101.07	11,408.72	52.54	1	1,894.44	861.11	41.6	3.61	24,584.59	11,174.54	51.4	0.81	51,580.10	23,444.37	51.59	1.01				
OZ 1_26	116,803.15	53,091.55	52.38	1.23	3,392.11	1,541.73	41.58	5.32	53,976.95	24,534.44	50.16	7.88	174,172.22	79,167.72	51.48	3.37				
OZ 1_27	159,614.08	72,547.66	52.97	0.56	9,441.93	4,291.65	43.47	4.65	180,558.24	82,068.51	50.61	1.79	349,614.25	158,907.81	51.49	1.31				
ZONE_1 Total	2,674,844.51	1,215,741.51	53.57	0.66	212,810.85	96,728.58	48.27	2.62	1,963,814.89	892,572.47	49.83	1.83	4,851,470.25	2,205,042.56	51.83	1.22				



ZONE_2	OZ2_1	8,455.87	3,841.71	54.35	0.54	411.06	186.84	49.53	3.38	5,240.73	2,382.15	50.37	0.76	14,077.66	6,410.71	52.73	0.7
	OZ2_10	17,603.95	7,999.23	54.17	0.54	1230.80	558.91	52.11	0.91	9,259.48	4,207.64	51.2	0.7	28,094.22	12,765.78	53.1	0.61
	OZ2_11	35,150.53	15,989.64	54.26	0.51					1020.94	464.06	51.04	0.6	36,171.47	16,433.70	54.17	0.51
	OZ2_12					7,390.16	3,357.80	46.47	4.41	136,064.16	61,838.30	50.74	1.08	143,454.32	65,196.10	50.52	1.25
	OZ2_13	16,165.22	73,472.61	54.56	0.66	4,411.49	2,005.22	51.21	1.07					166,066.71	75,477.83	54.47	0.67
	OZ2_14	22,938.38	10,424.91	52.93	1.15									22,938.38	10,424.91	52.93	1.15
	OZ2_15									80,341.42	36,513.85	49.16	0.97	80,341.42	36,513.85	49.16	0.97
	OZ2_16	7,47.52	339.78	53.56	0.86	53.16	24.16	49.9	0.75	1506.38	684.72	50.53	0.56	2,307.06	1,048.66	51.5	0.66
	OZ2_17	19,680.71	8,942.30	54.21	0.71	462.44	210.2	45.03	5.76	21,678.80	9,850.70	50.15	1.15	41,821.96	19,003.21	52	0.99
	OZ2_18	12,461.30	5,663.84	54.68	0.5	1599.96	727.26	46.27	4.9	18,429.51	8,375.67	50.05	0.83	32,490.78	14,766.77	51.64	0.9
	OZ2_19									6,555.92	2,978.24	51.28	0.9	6,555.92	2,978.24	51.28	0.9
	OZ2_2	863,167.87	392,256.49	53.82	0.57	18,977.98	8,624.09	50.92	0.6	316,030.32	143,147.81	51.22	0.6	1,197,146.17	544,028.40	53.09	0.58
	OZ2_20									2,329.46	1,055.72	50.61	0.83	2,329.46	1,055.72	50.61	0.83
	OZ2_21									28,803.27	13,090.02	47.02	3.36	28,803.27	13,090.02	47.02	3.36
	OZ2_22	7,556.67	3,434.73	54.4	0.44	493.51	224.32	51.55	0.58	4,725.34	2,147.88	50.5	0.67	12,775.51	5,806.94	52.85	0.53
	OZ2_23	7,719.13	3,507.49	52.29	1.13	701.66	318.94	47.93	3.3	6,996.92	3,179.07	49.6	1.24	16,417.71	7,005.50	50.87	1.28
	OZ2_24					372.37	169.13	46.55	6.22	2,229.07	1,013.21	50.43	0.97	2,601.44	1,182.34	49.87	1.72
	OZ2_25					1,363.07	617.85	51.64	0.7	5,110.84	2,321.62	50.93	0.64	6,473.91	2,939.47	51.08	0.65
	OZ2_26					229.12	104.15	51.04	1.06	7,620.26	3,463.35	50.66	0.54	7,849.38	3,567.49	50.67	0.56
	OZ2_27					1,362.64	619.38	49.72	0.73	11,991.69	5,449.18	50.38	0.61	13,354.33	6,068.57	50.31	0.62
	OZ2_28	124,188	564.36	52.44	0.57	155.23	61.47	48.78	1.92	2,135.36	970.62	49.73	1.22	3,512.48	1,596.45	50.65	1.02
	OZ2_29					138.46	62.71	45.41	5.27	12,533.69	5,695.54	47.97	4.42	12,672.15	5,758.25	47.94	4.43
	OZ2_3	76,676.72	34,849.27	53.94	0.51	1,442.46	655.66	49.28	0.54	67,282.90	30,576.94	50.11	1.12	145,402.08	66,081.87	52.12	0.79
	OZ2_30					66.02	29.74	47.96	1.36	428.78	184.36	50.28	1.08	494.8	224.1	49.97	1.12
	OZ2_31									766.82	348.55	48.11	1.6	766.82	348.55	48.11	1.6
	OZ2_4	27,330.62	12,416.69	54.64	0.49	1,460.64	663.67	49.36	1.77	17,624.83	8,010.38	50.86	0.67	46,418.08	21,090.73	53.04	0.6
	OZ2_5	71,710.76	32,591.28	52.8	0.51	2,336.82	1,062.05	49.48	0.45	35,144.95	15,974.34	51.53	0.5	109,922.52	49,627.67	52.32	0.51
	OZ2_6	189,287.33	76,931.60	53.05	0.63	22,069.50	10,030.90	50.04	0.85	474,794.06	215,786.66	50.78	0.6	666,160.89	302,749.16	51.33	0.62
	OZ2_7	350,446.06	159,265.66	52.54	0.54	28,284.86	12,850.39	50.31	1.28	182,873.08	83,112.64	50.55	0.54	561,604.00	255,228.69	51.78	0.58
	OZ2_8	30,969.95	14,071.01	54.37	0.6	4,267.70	1,939.18	47.09	0.7					35,237.65	16,010.18	53.49	0.61
	OZ2_9	17,586.04	7,988.53	53.53	0.82	795.08	361.4	46.13	4.61	11,180.08	5,085.07	50.59	0.63	29,571.20	13,435.00	52.22	0.85
	ZONE_2 Total	1,902,356.52	864,531.14	53.57	0.58	100,056.20	45,465.44	49.81	1.36	1,469,709.01	667,918.28	50.61	0.79	3,472,121.73	1,577,94.87	52.21	0.69



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo YUDY YECY QUISPE HUARCAYA
, identificado con DNI 70109142 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA GEOLOGICA

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

"MODELAMIENTO GEOLOGICO Y CALCULO DE RESERVAS DE LAS AFGORAMIENTOS DE ROCA CALIZA

APLICANDO EL SOFTWARE MINEPLA EN EL PROYECTO PUVA PUVA DE LA EMPRESA COLSESUR - CERCADO
" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como suyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 18 de DICIEMBRE del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, YO YUDY YECY QUISPE HUACAYA
identificado con DNI 701091112 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERIA GEOLOGICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

"MODELAMIENTO GEOLOGICO Y CALCULO DE RESERVAS DE LOS AFLORAMIENTOS DE ROCA CAUZA
APLICANDO EL SOFTWARE MINERPLA EN EL PROYECTO PUYA-PUYA DE LA EMPRESA CALIFORNIA-CORACCO"

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 18 de NOVIEMBRE del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella