

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TESIS

**Metodología para la exploración de recursos en secuencias
calcáreas - silicoclásticas deformadas**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo

Elaborado por

César Santiago Pinto Espinoza

 0009-0002-8147-244X

Asesora

M.Sc. Nora Nelly Revollé Alvarez

 0000-0003-1818-9561

TOMO I de II

LIMA – PERÚ

2023

Citar/How to cite	Pinto Espinoza [1]
Referencia/Reference	[1] C. Pinto Espinoza, “ <i>Metodología para la exploración de recursos en secuencias calcáreas - silicoclásticas deformadas</i> ” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2023.
Estilo/Style: IEEE 2020)	

Citar/How to cite	(Pinto, 2023)
Referencia/Reference	Pinto, C. (2023). <i>Metodología para la exploración de recursos en secuencias calcáreas - silicoclásticas deformadas</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

Dedico esta tesis a la memoria de mis recordados padres Teodorico y Antonina de quienes aprendí los valores cristianos que rigen mi devenir en la vida.

De igual manera la dedico a la memoria de mis queridos hermanos Hernán y Judit.

Agradecimientos

A mis recordados profesores, en especial a don Pedro Hugo Tumialán de la Cruz y a la Dra. María Jesús Ojeda, de quienes aprendí la dedicación y perseverancia profesionales.

Resumen

La industria del cemento en Arequipa explota depósitos calcáreos pertenecientes a las secuencias calcáreas - silicoclásticas correspondientes al Grupo Yura. Los depósitos sedimentarios aparecen en una sucesión de estratos de calizas, areniscas, limolitas y estructuralmente deformados.

Las deformaciones hacen que el seguimiento lateral de los estratos de interés sea algo complejo; en ocasiones los estratos aparecen afectados y deformados por estructuras del tipo pliegues y discordancias; las fallas no son importantes en cuanto a número, ni magnitud; solo hay algunas muy locales.

Se ha estudiado un sector en producción y otros dos en exploración; en los tres se presentan estructuras como pliegues anticlinales, sinclinales, slumps y discordancias angulares, que han tenido que ser adecuadamente reconocidas, haciendo la estratigrafía de detalle para ser debidamente cartografiados, determinar el comportamiento estructural y poder, con mayor precisión, calcular los volúmenes de recursos aplicando la metodología de las secciones geológicas.

En el Sector Sur se hallaron alrededor más de 217 millones de toneladas, en el Sector Sur fueron poco más de 126 millones es de toneladas y en el Sector Noroeste algo más de 90 millones de toneladas de calizas y en los tres sectores, con más del 80% de carbonatos de calcio, requeridos para la fabricación del cemento.

Palabras claves — Secuencias, silico-clásticas, estratos guías, calizas, cartografía, recursos.

Abstract

The cement industry in Arequipa exploits calcareous deposits belonging to the siliciclastic sequences corresponding to the Yura Group. The sedimentary deposits appear in a succession of strata of limestone, sandstone, siltstone and structurally deformed.

The deformations make lateral tracking of the strata of interest somewhat complex; sometimes the strata appear affected by structures of the type folds and unconformities; the faults are not important in terms of number or magnitude; there are only some very local ones.

A sector in production and another two in exploration have been studied; in the three sectors the structures appear as anticlinal folds, synclines, slumps and angular unconformities, which have had to be adequately recognized, making the detailed stratigraphy to be properly mapped, determine the structural behavior and be able, with greater precision, to calculate the volumes of resources applying the methodology of geological sections.

In the South Sector, around more than 217 million tons were found, in the South Sector there were just over 126 million tons and in the Northwest Sector just over 90 million tons of limestone and in the three sectors, with more of 80% of calcium carbonates, required for the manufacture of cement.

Keywords — Sequences, siliciclastic, key beds, limestone, mapping, resources.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xiv
Capítulo I: Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Ubicación y accesibilidad	1
1.2 Clima y vegetación	5
1.3 Planteamiento del problema.....	6
1.3.1 Situación problemática	6
1.3.2 Formulación del problema	7
1.3.3 Justificación de la investigación	7
1.4 Objetivos de la tesis	9
1.4.1 Objetivo general	9
1.4.2 Objetivos específicos	9
1.5 Hipótesis de la tesis	10
1.5.1 Hipótesis general	10
1.5.2 Hipótesis específicas	10
1.6 Metodología del estudio	10
1.7 Antecedentes referenciales	12
1.7.1 Antecedentes internacionales	12
1.7.2 Antecedentes nacionales	13
Capítulo II: Marcos teórico y conceptual	15
2.1 Marco teórico	15
2.2 Marco conceptual.....	16
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	20
3.1 Geología regional.....	20
3.2 Geología local del Sector Sur.....	21

3.2.1	Nivel de Yeso (Secuencia I)	22
3.2.2	Geomorfología	22
3.2.3	Litología	24
3.2.4	Geología estructural	24
3.2.5	Concepción estructural del yacimiento	25
3.2.6	Reconocimiento geológico	26
3.2.7	Descripción de las Secuencias (II, III, IV, V, VI, VII)	42
3.2.8	Cubierta volcánica (Grupo Tacaza)	48
3.2.9	Muestreo del Sector Sur.....	48
3.2.10	Rango de Leyes (resultados de laboratorio).....	48
3.2.11	Cálculo de reservas geológicas.....	49
3.2.12	Cálculo de los tonelajes	51
3.3	Geología local del Sector Norte.....	75
3.3.1	Concepción estructural del yacimiento	75
3.3.2	Columna estratigráfica	79
3.3.3	Cartografía Geológica	81
3.3.4	Cálculo de los Recursos.....	81
3.3.5	Muestreo del Sector Norte	88
3.4	Geología local del Sector Noroeste	92
3.4.1	Concepción estructural del yacimiento	93
3.4.3	Columna estratigráfica	97
3.4.4	Descripción de las Secuencias.....	102
3.4.5	Descripción de los Estratos Guías	104
3.4.6	Cartografía Geológica	105
3.4.7	Cálculo de los Recursos.....	105
3.4.8	Muestreo del Sector Noroeste.....	116
Capítulo IV: Análisis y discusión de los resultados.....		117
4.1	Resultados de laboratorio	117

4.2	Análisis de los Volúmenes y Tonelajes	118
4.3	Sobre las columnas estratigráficas.....	119
4.4	Sobre la cartografía geológica.....	120
4.5	Sobre la metodología del cálculo de los volúmenes de roca	120
4.6	Propuesta de Ingeniería	120
	Conclusiones	122
	Recomendaciones	124
	Referencias Bibliográficas	126
	Anexos	1

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Acceso a los sectores estudiados	2
Tabla 2: Denominación de las secuencias estratigráficas y áreas de cada Sector	11
Tabla 3: Leyes Promedios por Secuencias del Total de Carbonatos	49
Tabla 4: Pesos específicos considerados	52
Tabla 5: Tonelaje Total por tipos de rocas, Sector Sur.....	52
Tabla 6: Tonelaje por Secuencias, Sector Sur	53
Tabla 7: Tonelaje del tramo C-D (entre Secciones: C-C'/ D-D').....	54
Tabla 8: Tonelaje del tramo D-E (entre Secciones: D-D'/ E-E')	55
Tabla 9: Tonelaje del tramo E-F (entre Secciones: E-E'/ F-F')	56
Tabla 10: Tonelaje del tramo F-G (entre Secciones: F-F'/G-G')	57
Tabla 11: Tonelaje del tramo G-H (entre Secciones: G-G'/ H-H').....	58
Tabla 12: Tonelaje del tramo H-I (entre Secciones: H-H' / I-I')	59
Tabla 13: Tonelaje del tramo I-J (entre Secciones: I-I' / J-J').....	60
Tabla 14: Tonelaje del tramo J-K (entre Secciones: J-J'/K-K')	61
Tabla 15: Tonelaje del tramo K-L (entre Secciones: K-K'/L-L').....	62
Tabla 16: Tonelaje del tramo L-LL (entre Secciones: L-L'/LL-LL')	63
Tabla 17: Tonelaje del tramo LL-M (entre Secciones: LL-LL'/M-M')	64
Tabla 18: Tonelaje del tramo M-N (entre Secciones M-M'/N-N')	65
Tabla 19: Tonelaje del tramo N-O (entre Secciones N-N'/O-O')	66
Tabla 20: Tonelaje del tramo O-P (entre Secciones O-O'/P-P').....	67
Tabla 21: Tonelaje del tramo P- Q (entre Secciones P-P'/Q-Q').....	68
Tabla 22: Volúmenes de rocas, Secuencia II	69
Tabla 23: Volúmenes de rocas, Secuencia III	70
Tabla 24: Volúmenes de rocas, Secuencia IV.....	71
Tabla 25: Volúmenes de rocas, Secuencia V.....	72
Tabla 26: Volúmenes de rocas, Secuencia VI.....	73

Tabla 27: Volúmenes de rocas, Secuencia VII.....	74
Tabla 28: Volúmenes y Tonelajes Totales por Secuencias, Sector Norte.	82
Tabla 29: Resumen de Volúmenes y Tonelajes Totales. Sector Norte.....	82
Tabla 30: Áreas de las Secuencias por Secciones, Sector Norte.....	83
Tabla 31: Volúmenes de las Secuencias por Sectores, Sector Norte.....	86
Tabla 32: Reporte de leyes, Sector Norte	89
Tabla 33: Resumen de Tonelajes Totales, Sector Noroeste	106
Tabla 34: Volúmenes y Tonelajes Totales por Secuencias, Sector Noroeste.....	106
Tabla 35: Áreas de las Secuencias por Secciones, Sector Noroeste	107
Tabla 36: Volúmenes de las Secuencias por Sectores, Sector Noroeste	112
Tabla 37: Leyes por secuencias, Sector Noroeste	116

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Ubicación de los sectores estudiados: Norte, Sur y Noroeste	2
Figura 2: Plano de ubicación general de la zona de estudio	3
Figura 3: Vista panorámica de las quebradas Lugmirca y Ojule, año 2000	4
Figura 4: Vista panorámica de las quebradas Lugmirca y Ojule, año 2008	4
Figura 5: Vista panorámica 3D del Sector Sur	5
Figura 6: Secuencias calcáreas en posición horizontal	7
Figura 7: Secuencias calcáreas-silicoclásticas en posición inclinada	8
Figura 8: Megaslump en estratos calcáreos y atravesado por un dique	8
Figura 9: Estratos deformados de calizas con planos axiales inclinados.....	9
Figura 10: Metodología – Diagrama de Flujo	11
Figura 11: Sinclinal de Cueta	13
Figura 12: Contacto entre la Formación Murco y la Formación Arcurquina	22
Figura 13: Columna estratigráfica del Grupo Yura	23
Figura 14: Pliegues en las calizas de la Formación Arcurquina	24
Figura 15: Concepción estructural del Sector Sur	25
Figura 16: Boceto interpretativo del pliegue sinclinal asimétrico, Sector Sur.....	27
Figura 17: Columna Estratigráfica, Sector Sur	28
Figura 18: Vista panorámica del lado oeste de la cantera Lugmirca	34
Figura 19: Secuencias estratigráficas en el lado este de la cantera Lugmirca	35
Figura 20: Secuencias estratigráficas en el lado oeste de la cantera Lugmirca.....	36
Figura 21: Nivel: Chancadora en quebrada Lugmirca; Secuencia II.....	37
Figura 22: Capas de calizas, Secuencia II y Estrato Guía 02.....	38
Figura 23: Afloramientos de estratos de la Secuencia II y Secuencia III	39
Figura 24: Estratos de calizas y areniscas de la Secuencia III	39
Figura 25: Estratos de la Secuencia III y Secuencia IV	40
Figura 26: Contacto entre la Secuencia III y la Secuencia IV	43

Figura 27: Acercamiento del contacto entre Secuencia III y Secuencia IV	43
Figura 28: Contacto entre Secuencia IV y Secuencia V	44
Figura 29: Contacto entre la Secuencia V y la Secuencia VI.....	45
Figura 30: Contacto entre la Secuencia III y la Secuencia IV	45
Figura 31: Estratos de areniscas de la Secuencia VII	46
Figura 32: Pústulas de sílice en las secuencias calcáreas	47
Figura 33: Probables fósiles de corales silicificados en calizas.....	47
Figura 34: Bloque diagrama para el cálculo del volumen del paralelepípedo	51
Figura 35: Pliegues de corrimiento en ambas márgenes de la quebrada Ojule.....	76
Figura 36: Secuencias calcáreas silico-clásticas de la Formación Arcurquina	76
Figura 37: Concepción estructural del yacimiento, Sector Norte. Monoclinal	77
Figura 38: Concepción estructural del Sector Norte. Discordancias y mega-slump.....	78
Figura 39: Columna Estratigráfica, Sector Norte	80
Figura 40: Secuencias: Caliza Base, A, B; margen izquierda de quebrada Ojule.....	89
Figura 41: Secuencia A y espesor estratigráfico	90
Figura 42: Contacto entre Secuencias A y B; se señala trinchera T-3.....	90
Figura 43: Secuencia A; se señala la trinchera T-2.....	91
Figura 44: Estructura de corrimiento (mega-slump)	91
Figura 45: Probable tope de la Secuencia B (en azul): falla?/discordancia?	92
Figura 46: Anticlinales y Sinclinales (NW-SE) en la Formación Arcurquina.....	93
Figura 47: Concepción Estructural del Sector Noroeste.....	94
Figura 48: Estereograma:Plano Axial y del Eje del Anticlinal, Sector Noroeste	95
Figura 49: Sección geológica esquemática de los pliegues asimétricos con planos axiales inclinados.....	96
Figura 50: Anticlinal asimétrico, Cerro Canihuayo. Sector Noroeste	97
Figura 51: Anticlinal asimétrico, Cerro Canihuayo. Sector Noroeste	98

Introducción

La tradición minera metálica en Perú ha permitido el desarrollo y estudio de yacimientos metálicos, por lo que hay una adecuada información sobre evaluación de dichos recursos, en tesis de grado de geología y minería, que se han elaborado.

Dado que, en la mayoría de los yacimientos conocidos, los metales se hallan ya sea disseminados, en vetas o en cuerpos irregulares, el estudio de los volúmenes de recursos (cubicación) en dichas ocurrencias ha tenido un desarrollo importante en cantidad y calidad, además de complejidades propias de dichas ocurrencias, esto es fallamientos, alteraciones hidrotermales, entre las más importantes.

Por otro lado, en el Perú los yacimientos de calizas en producción, que pertenecen al del grupo de los no metálicos, no son tan abundantes en número respecto a los metálicos, aunque potencialmente su volumen es enorme, dadas las grandes secuencias calcáreas de alcance regional que abundan (Grupo Pucará, Formación Jumasha, Formación Celendín, Grupo Hicama, Formación Inca-Chulec, Grupo Chicama, etc).

De la experiencia con la evaluación de recursos de calizas para la industria siderúrgica y del cemento se puede señalar que se tiene poca información al respecto, en especial la referida a la estratigrafía de detalle, el comportamiento estructural y la discriminación de las secuencias cartografiadas, presentes en el depósito a evaluar.

En la cantera estudiada en el año 2000 se utilizan y mantienen hoy en día, la nomenclatura de las secuencias que se propusieron, lo cual pone de manifiesto la utilidad de dicha implementación y que se detalla en la presente investigación.

Capítulo I: Parte introductoria del trabajo

El sector de la cantera Lugmirca, denominado Sector Sur, donde se extraen rocas calcáreas usadas para fabricar cemento, necesita ser evaluado para dirigir con mayor eficiencia la exploración de recursos, a fin de que sirva de base para futuras ampliaciones del proceso de explotación.

Se visitó el lugar para hacer la geología básica del yacimiento que incluye levantamiento de la columna estratigráfica, la cartografía geológica superficial a escala 1/1000 y calcular los recursos (volúmenes y tonelajes de los niveles calcáreos).

De igual manera se procedió en dos sectores adicionales, en el Norte y hacia el Noroeste en los lugares denominados Ojule y Queñahuayo respectivamente y que están en fase de exploración. Los estudios fueron realizados en los años 2000 (Sector Sur) y 2008 (Sector Norte y Sector Noroeste).

Al presente en el Sector Sur la explotación se ha ampliado notablemente; el Sector Norte está en preparación de los accesos y el Sector Noroeste en espera.

El propietario de la concesión ha llevado a cabo varios trabajos de exploración, a saber: trincheras, planos y secciones geológicas, muestreos superficiales, perforaciones y muestreo. Los reportes de las trincheras son parciales y falta hacer la comprobación de campo de dichos valores; se han utilizado como fuente bibliográfica.

1.1 Ubicación y accesibilidad

El área de estudio se encuentra en la provincia y región de Arequipa, distrito de Yura, paraje Orcopunco, a unos 38 - 45 km, en línea recta y al Noroeste de la ciudad de Arequipa, a una altura de 2.800 - 3,010 msnm.

La ubicación y el acceso se muestran en las figuras Figura 1 Figura 2 y en la Tabla 1. En las Figuras 3, 4 y 5, se observa cómo ha ido cambiando la fisonomía de la cantera principal desde el año 2000, pasando por el año 2008 a la actualidad.

Tabla 1

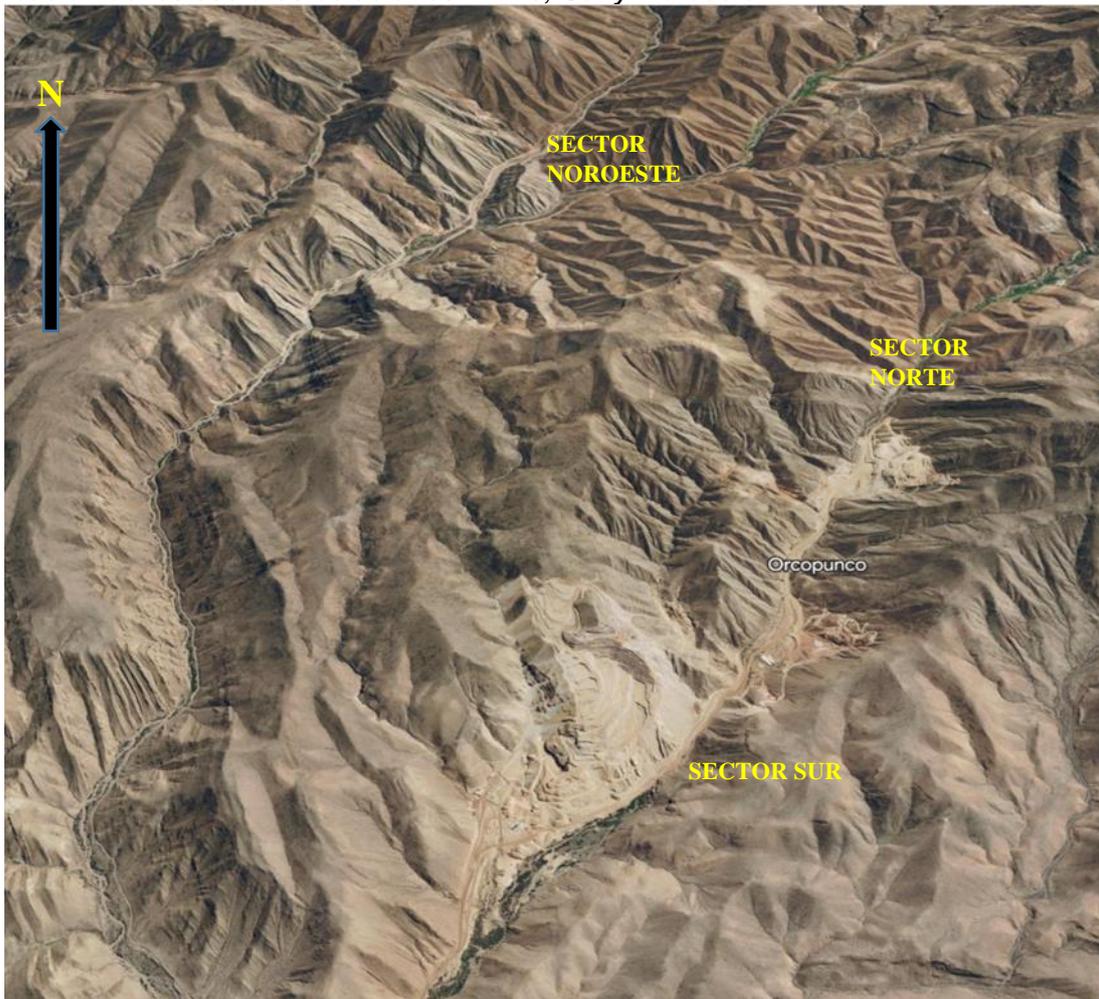
Acceso a los sectores estudiados

Lugar	Vía	Km	Tiempo
Arequipa – Yura	Asfaltada	26	30 minutos
Yura – Orcopunco Sector Sur	Asfaltada	28	30 minutos
Orcopunco – Sector Norte	Asfaltada	14	6 minutos
Orcopunco – Sector Noroeste	Asfaltada	14	18 minutos

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1

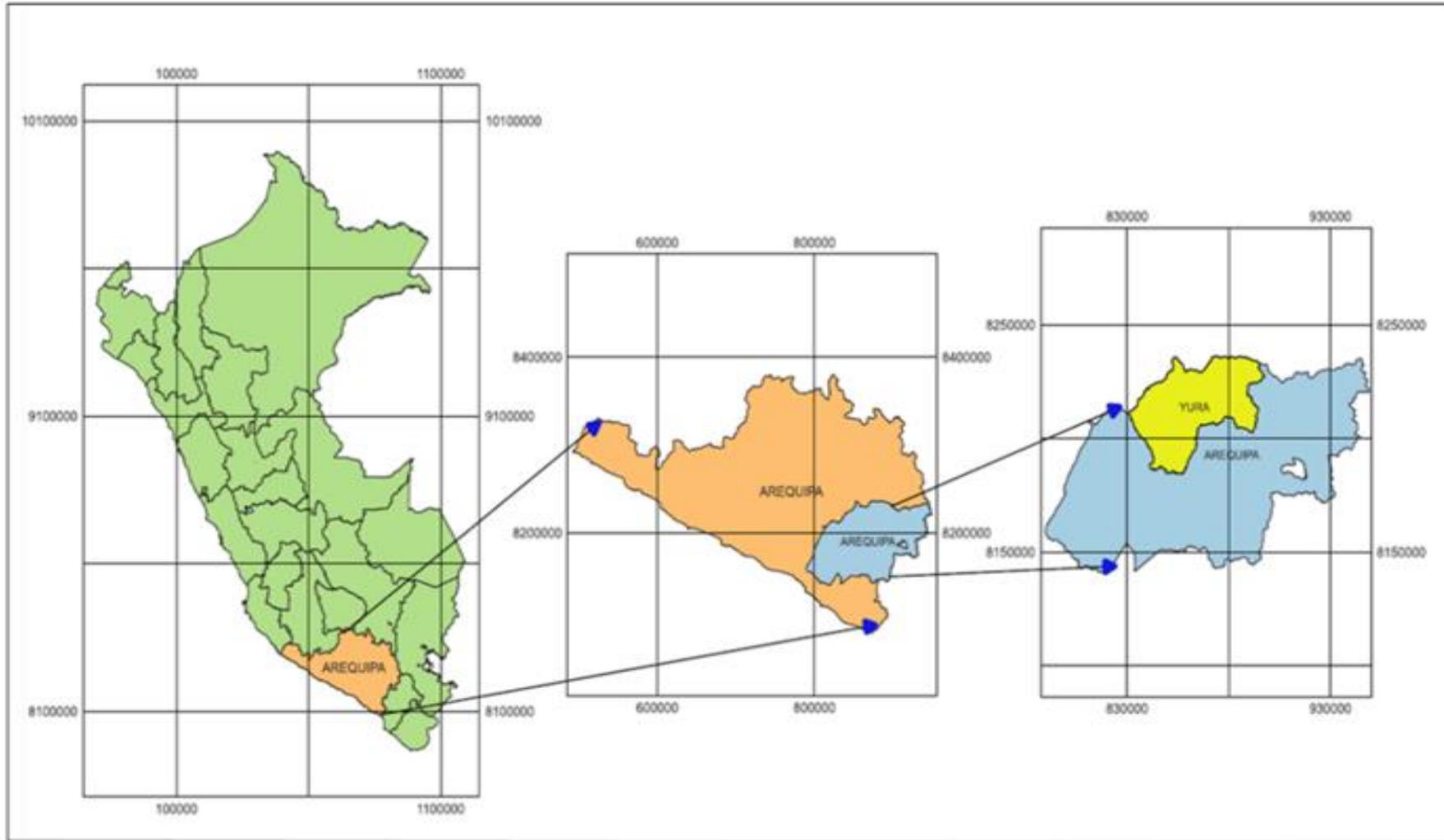
Ubicación de los sectores estudiados: Norte, Sur y Noroeste.



Fuente: Adaptada de Google Earth (2022)

Figura 2

Plano de ubicación general de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

Figura 3

Vista panorámica de las quebradas Lugmirca y Ojule año 2000



Nota: Se indica la Formación Murco con estratos muy deformados, mirando al noroeste
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4

Vista panorámica de las quebradas Lugmirca y Ojule año 2008



Fuente: Elaboración propia.

1.2 Clima y vegetación

El paraje Orcopunco se encuentra en la margen derecha del valle del río Tambo. El clima es desértico. Durante el año casi no hay precipitaciones. La temperatura media anual es de 16.7°C.; la precipitación media aproximada es de 137 m. Los sectores estudiados se hallan a alturas entre los 2704 - 3,100 msnm.

En el Paraje Orcopunco (Lugmirca), la cantera principal está entre dos quebradas, a la izquierda la llamada Lugmirca ya la derecha Ojule. La explotación se ha extendido hacia la parte alta, al Noroeste; en primer plano, carretera de acceso desde Yura

Figura 5

Paraje Orcopunco (Lugmirca), en primer plano, carretera de acceso desde Yura.



Fuente: Tomada de Google (2022).

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Situación problemática

Se ha estado explotando el depósito calcáreo del Sector Sur sin información básica consistente en un conocimiento adecuado de la estratigrafía del lugar, esto es, espesores y litologías que se superponen, así como el reconocimiento de estratos o niveles guías que hagan posible el seguimiento lateral de los cuerpos tabulares. Tampoco se tiene un mapa geológico, a escala local, de las secuencias estratigráficas diferenciadas, ni secciones geológicas que permitan tener una idea clara de la distribución areal de las variaciones litológicas y estructurales de dichas secuencias.

En el Sector Norte y el en Sector Noroeste se han utilizado el término de “cuerpos” para referirse a las zonas exploradas y se han representado en los planos elaborados como áreas de formas irregulares; este término no es el más adecuado ya que las calizas se presentan en intercalaciones con estratos de areniscas, limolitas y lutitas, por lo que el término “secuencia”, es el más apropiado dado que su cartografía es a manera de franjas alargadas. La posición de los estratos puede tener diferentes aspectos a ser considerados (ver Figuras: 6, 7, 8, 9).

La terminología de “cuerpo” no es válida para definir la concepción estructural de los tres sectores. Por otro lado, se ha estado usando inadecuadamente la expresión: “calizas silicosas”, para dar a entender la presencia de pústulas de sílice en las secuencias calcáreas; dicha expresión debe desecharse y usarse como más apropiada: “calizas silíceas”.

Las secuencias calcáreas-silicoclásticas se presentan con colores de intemperismo muy similares que hacen complicado su reconocimiento en el campo; esto y su seguimiento lateral se hace más complejo si están deformadas (plegadas y/o falladas).

Por lo anterior es necesario tener claramente establecida la superposición vertical de los estratos para ubicar niveles guías y de esta manera hacer el seguimiento lateral para reconstruir el aspecto tabular original de dichas secuencias y tener así las tres dimensiones que permitan calcular los volúmenes respectivos del recurso calcáreo.

1.3.2 Formulación del problema

¿Cómo contribuye el conocimiento de la concepción estructural, la elaboración de la estratigrafía de detalle y la elaboración del mapa geológico a escala local, de las secuencias calcáreas-silicoclásticas deformadas, para hallar el volumen de recursos presentes en un sector del yacimiento?

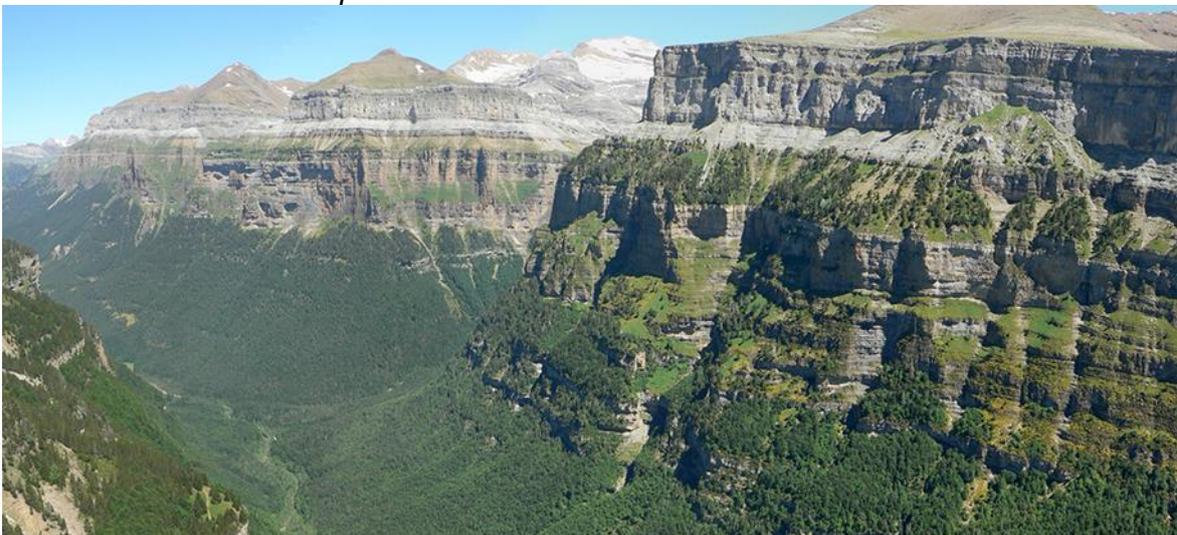
1.3.3 Justificación de la investigación

Se necesita hacer el planeamiento minado para la expansión de la explotación; esta actividad requiere de una información lo más precisa posible sobre la ubicación y el volumen del recurso calcáreo de buena ley a explotar, así como el de los sectores que no son económicos y que se han de remover para acceder a aquellos.

La magnitud de la inversión para la ampliación de la explotación y el éxito del negocio minero deberá hacerse contando con información geológica confiable para la toma de decisiones.

Figura 6

Secuencias calcáreas en posición horizontal



Fuente: <https://kurioidadescientifiks.blogspot.com/2019/01/estratos-horizontales-e-inclinados.html>

Figura 7

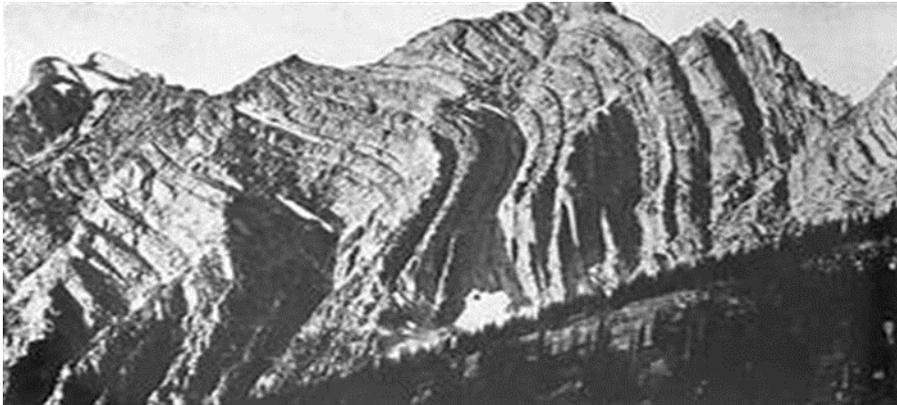
Secuencias calcáreas silicoclásticas en posición inclinada



Fuente: https://herel222.blogspot.com/2010_11_01_archive.html

Figura 8

Megapliegues en estratos calcáreos de variado buzamiento



Fuente: <https://www.ub.edu/geoimatge/es/content/estratos-plegados-en-el-parque-nacional-de-yellowstone>

Figura 9

Estratos deformados de calizas con planos axiales inclinados.



Fuente: Adaptada de Geología IGME (Instituto Geológico y Minero de España).

1.4 Objetivos de la tesis

1.4.1 Objetivo general

Hallar el volumen y tonelaje de las calizas presentes en un determinado sector de las secuencias calcáreas-silicoclásticas deformadas.

1.4.2 Objetivos específicos

Del objetivo general se desprenden los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la concepción estructural del depósito sedimentario
- Elaborar la estratigrafía de detalle de las secuencias calcáreas silicoclásticas deformadas
- Elaborar el mapa geológico, a escala local, de las secuencias calcáreas silicoclásticas deformadas
- Elaborar las secciones geológicas, a escala local, de las secuencias calcáreas silicoclásticas deformadas.

1.5 Hipótesis de la tesis

1.5.1 Hipótesis general

Con la concepción estructural del depósito, la elaboración de la estratigrafía de detalle, la elaboración del mapa geológico y de las secciones geológicas a escala local de las secuencias calcáreas- silicoclásticas deformadas, se podrá calcular el volumen de los recursos presentes en un sector del yacimiento.

1.5.2 Hipótesis específicas

- Con la estratigrafía de detalle de las secuencias calcáreas-silicoclásticas deformadas, se podrán conocer sus litologías y espesores verdaderos que servirán para calcular el volumen de los recursos presentes en un sector del yacimiento.
- Con la elaboración del mapa geológico, a escala local, de las secuencias calcáreas-silicoclásticas deformadas, se podrá conocer la distribución lateral y superficial de dichas secuencias, para aplicar la metodología de las secciones geológicas y calcular el volumen de recursos presentes en un sector del yacimiento.
- Con la elaboración de las secciones geológicas, a escala de detalle, de las secuencias calcáreas-silicoclásticas deformadas, se podrán medir las dimensiones de dichos cuerpos tabulares y calcular el volumen de los recursos presentes en el yacimiento.

1.6 Metodología del estudio

En los tres sectores estudiados: Norte (100 hectáreas), Sur (32 hectáreas) y Noroeste (36 hectáreas), se ha seguido la misma metodología. Dos etapas comprenden el presente trabajo, una de campo y otra de gabinete.

Se ha realizado el reconocimiento geológico de lugar, recorriendo el sitio y cerros aledaños para tener una idea general panorámica de la geología del yacimiento, es decir la concepción estructural (modelo geológico del yacimiento) así como ubicación de rutas a seguir para levantar la columna estratigráfica, ubicación de estratos notorios, zonas de muestreo, etc.

Se comenzó con ubicar capas guías, esto es, estratos de fácil reconocimiento y seguimiento lateral por toda el área.; luego se procedió al levantamiento de la columna estratigráfica al detalle (estrato por estrato), identificando la litología y midiendo sus espesores reales, siguiendo los afloramientos de manera ascendente en la vertical y de manera escalonada en la horizontal, completando así toda la columna.

Después se analizó dicha columna y se establecieron las secuencias, colocando los límites en cambios notables de litología; a cada secuencia se le dio una nomenclatura de números romanos y letras (Ver Tabla 2).

En paralelo se fue realizando el muestreo de los lugares previamente ubicados.

Tabla 2

Denominación de las secuencias estratigráficas y áreas de cada Sector

SECTOR	NOMENCLATURA DE LA SECUENCIA	ÁREA (Hectáreas)
SECTOR SUR	I, II, IV,V,VI,VII	100
SECTOR NORTE	Caliza Base, A, B	32
SECTOR NOROESTE	I, II, III, IV,V,VI	36

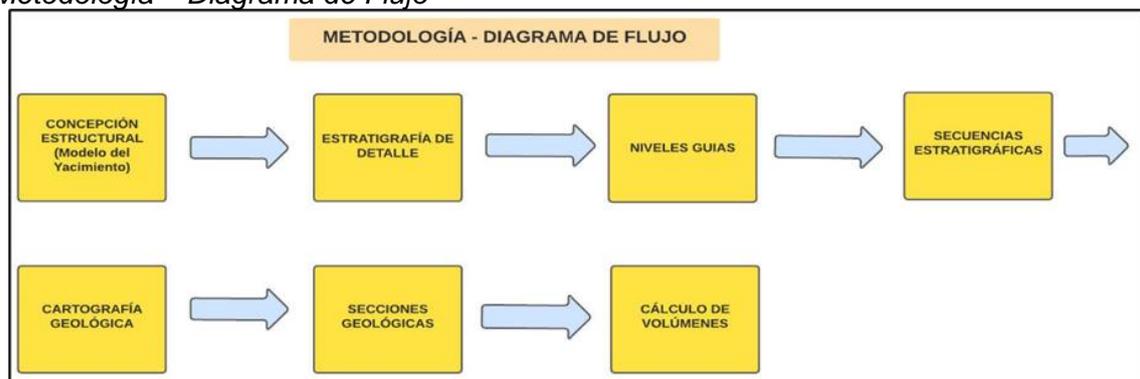
Fuente: Elaboración propia.

Con las secuencias establecidas se procedió a realizar la cartografía geológica sobre una base topográfica a curvas de nivel a la escala 1/1000 en el Sector Sur y 1/2000 en los Sector Norte y en el Sector Noroeste.

Finalmente, con el plano geológico ya elaborado se elaboraron las secciones geológicas transversales a la dirección promedio de los estratos, para tomar las medidas correspondientes y hacer el cálculo de los volúmenes buscados. En la Figura 10, se puede apreciar los pasos seguidos en el presente estudio.

Figura 10

Metodología – Diagrama de Flujo



Fuente: Elaboración propia.

1.7 Antecedentes referenciales

1.7.1 Antecedentes internacionales

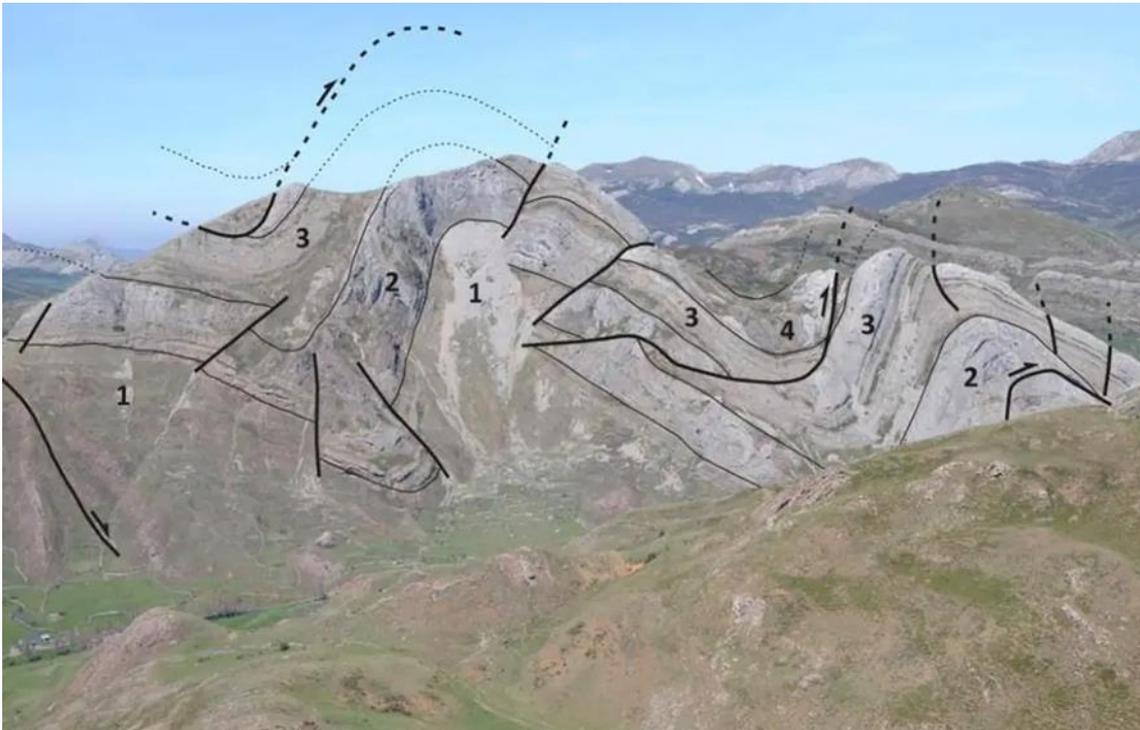
Contento y Pinto (2015), en su tesis “Diseño del método de explotación del yacimiento de caliza modulo norte de la mina La Esperanza, Municipio La Calera – Cundinamarca, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, incluyen un capítulo en el cual calculan 272,010 toneladas de recursos geológicos obtenidos para tres niveles de calizas de la Formación Chipaque. Aplican el método de las secciones geológicas, pero no dan detalles de las secuencias estratigráficas, solo espesores muy generales de las secuencias.

Rodríguez (2017), en su artículo “Cálculo de reservas del macizo rocoso Cantera Los Deseos en el Municipio de San Juan del Cesar- La Guajira” de Colombia informa haber hallado por el método de los perfiles un total de 17329.53705 toneladas de reservas de calizas. No menciona detalles de la estratigrafía de las secuencias.

En la Figura 11, se puede apreciar como de compleja puede ser la geología de las secuencias calcáreas; se aprecia la separación en secuencias numeradas, así como las deformaciones que afectan al conjunto: anticlinales, sinclinales, fallas, discordancias. Esto hace que deba definirse ante todo la llamada Concepción Estructural del lugar a ser estudiado.

Figura 11

Sinclinal de Cueta



Nota: Adaptada de Geología: IGM - Instituto Geológico y Minero de España

1.7.2 Antecedentes nacionales

Gonzales (2021) en su tesis de grado titulada: “Cálculo de Reservas para la Extracción de Calizas de la Formación Cajamarca, entre las Localidades de Colqueteña y Otuzco”, aplican el método de perfiles de manera gruesa, sin hacer distinción de niveles estratigráficos y hallan reservas probadas probables por un valor de 831, 236.33 toneladas de calizas con 94% de carbonato de calcio, en las localidades de Colqueteña y Otuzco.

Vargas (2017) en su tesis de grado titulada “Cálculo de reservas para optimizar la extracción de roca caliza en la empresa minera Pihuyu Yuraq II, concesión Italo, Cajamarca”, hallan mediante la combinación de dos métodos de cálculo: el de triangulación y el de inverso a la distancia al cuadrado, encuentran 1' 426, 298 toneladas en las calizas de la Formación Cajamarca con 84.13 % de carbonato de calcio.

Blas y Damián (2021) en su tesis titulada “Evaluación geológica para el cálculo de reservas y estimación de recursos minerales del prospecto minero Calmar”, aplican el método de las secciones a una secuencia de calizas del Grupo Pucará y encuentran un total general de reservas de 1'097,460 toneladas de calizas con 88 % - 90 % de CaCO_3 .

Capítulo II: Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

Sobre el concepto de Recurso Mineral hay varias definiciones, pero con pocas diferencias de forma, coinciden en lo sustancial; a continuación, se cita dos de ellas:

“Un Recurso Mineral, es una concentración u ocurrencia de material de interés económico intrínseco en o sobre la corteza de la tierra, en forma y cantidad en que haya probabilidades razonables de una eventual extracción económica. La ubicación, cantidad, ley, características geológicas y continuidad de un recurso mineral son conocidas, estimadas e interpretadas a partir de evidencias y conocimientos geológicos específicos. Los recursos minerales se subdividen en orden ascendente de la confianza geológica, en categorías de Inferidos - Indicados – Medidos”. The Australasian Institute and Col, (2001).

“Recurso Mineral es una concentración u ocurrencia de material natural, sólido, inorgánico u orgánico fosilizado terrestre, de tal forma, cantidad y calidad que existen perspectivas razonables para una eventual extracción económica.

La localización, tonelajes, contenidos de los elementos o minerales de interés, características geológicas y el grado de continuidad de la mineralización es estimada, conocida e interpretada a partir de evidencias geológicas, metalúrgicas y tecnológicas específicas”. Código Chileno CH 20.235-2015.

La presente investigación se centra en un recurso no metálico: calizas.

En una secuencia de rocas calcáreas es común que estas se hallen intercaladas con niveles terrígenos: areniscas, areniscas calcáreas, limolitas, lutitas; estos componentes silicoclásticos deberán ser restados o no ser considerados para el cálculo del volumen de calizas. Algo parecido se hará con los volúmenes de intrusivos presentes (apófisis, sills, diques, zonas de metamorfismo de contacto) los cuales, de aparecer, también deben ser considerados en el cálculo del volumen; en el caso de la presente investigación no hay intrusivos presentes; solo hay una pequeña cubierta de piroclastos cuyo volumen no se ha calculado.

Para estratos de calizas en posición horizontal se pueden emplear los métodos de las curvas de nivel y el de las secciones geológicas; pero en el caso de que los estratos tengan buzamiento, se empleará solamente el método de las secciones geológicas.

Las calizas son cuerpos tabulares denominados estratos y que yacen en la corteza de diversas maneras. Pueden aparecer en posición horizontal, inclinada, fallada, plegada o en secuencias del tipo discordancias; incluso pueden aparecer afectadas por intrusivos o por otros cuerpos tabulares del tipo sill o diques.

Por esta razón es necesario antes que todo tener bien clara la Concepción Estructural o el Modelo Geológico del Yacimiento, lo cual permitirá conocer la disposición de los cuerpos tabulares de los estratos de calizas y así, de la mejor manera, escoger la metodología para el cálculo de los volúmenes de los recursos. Una vez conocida la concepción estructural, es necesario discriminar los niveles estratigráficos haciendo una medida detallada de los espesores de los estratos presentes en la vertical, lo que conlleva a hacer el levantamiento de la columna estratigráfica, a fin de tener los espesores verdaderos de cada uno de los estratos.

Así mismo se determinarán estratos o niveles guías para hacer los seguimientos laterales en superficie y en profundidad. Con estos datos de campo duros y comprobables, se podrán agrupar los diferentes estratos en Secuencias Estratigráficas que podrán ser cartografiables para obtener el Mapa Geológico, a escala local, del área de estudio.

Una vez obtenido dicho plano se procederá aplicar el método de las Secciones Geológicas, a la misma escala que permitirá finalmente calcular los volúmenes de calizas en el sector estudiado.

2.2 Marco conceptual

A continuación, se exponen las definiciones de los términos geológicos más usados en la presente investigación:

Areniscas: Roca terrígena consolidada, en la que el tamaño de grano varía entre 0.062 y 2 mm. Al ser la sílice el material más perdurable por su resistencia mecánica y química, la mayor parte de ellas están mayoritariamente compuestas por granos silíceos (*). Dávila 2011.

Calcárea: Dícese de la roca sedimentaria (calizas, dolomitas, margas) que contiene carbonato de calcio (*). Dávila 2011.

Calizas: Roca sedimentaria cuyo origen puede ser predominantemente biológico, químico o mixto. La variedad pura tiene, al menos, un 95% de CaCO_3 ; la corriente, por lo menos un 50%; de los componentes restantes, el más frecuente y dominante es el carbonato de magnesio, y los accesorios son silicatos o productos de su alteración, como arcillas, sílice, y también pirita y siderita (*). Dávila 2011.

Carbonatadas (Carbonática): Que está formado por carbonato (*). Dávila 2011.

Concepción estructural (Modelo Sedimentario): Es el modelo geológico de la geometría del depósito sedimentario.

Compendio o resumen de un medio sedimentario específico elaborado mediante la recopilación de datos de los más diferentes ejemplos, y que sirve de referencia para el estudio de otros nuevos ejemplos (*). RACEFN 2023.

Columna estratigráfica: Ordenación temporal, de la más antigua a la más moderna, de las unidades estratigráficas existentes en una región (*). Dávila 2011.

Discordancia: Relación geométrica entre dos unidades estratigráficas superpuestas en la que no guarda paralelismo la estratificación de los materiales infrayacentes y suprayacentes (*). Dávila 2011.

Eje de pliegue: Dirección definida por la generatriz de un pliegue cilíndrico. Coincide con con la dirección de la charnela del pliegue (*). Dávila 2011.

Estrato: Nivel de roca o sedimento que se depositó en un intervalo de tiempo concreto y que queda delimitado por superficies (denominadas *superficies de estratificación*), originadas por cambios en la sedimentación, por interrupciones sedimentarias o por ambos factores a la vez (*). Dávila 2011.

Estrato convoluto/estructura de corrimiento (Slump): Estructura en la cual las capas sedimentarias se hallan apretadas (compresión) presentando una serie de anticlinales y/o sinclinales confinados entre capas no deformadas. RACEFN 2023

Estrato guía: Estrato con características suficientemente distintivas, sirve de base para la determinación de una secuencia dada. El estrato guía posee una característica particular y además posee fósiles determinantes para datar la secuencia. RACEFN 2023.

Limolitas: Roca sedimentaria formada por la compactación de un limo (*).

Dávila 2011.

Lutitas: Roca sedimentaria constituida por granos muy finos, de menos de 0.062 mm (*).

Megaslump: Es el slump de grandes dimensiones, de metros a decenas de metros. (**). RACEFN 2023.

Secuencia estratigráfica: Sucesión de términos sedimentarios diferentes, establecida dentro de una sección estratigráfica (*). Dávila 2011.

Secuencia deformada: Transformación de un medio continuo que se produce como consecuencia de la actuación de esfuerzos, y que lleva consigo un cambio en la forma y posición de este entre una configuración inicial –no deformada– y una configuración final deformada (*). Dávila 2011.

Silicoclástico: Sedimento o roca sedimentaria no carbonatada que está compuesta totalmente, o en un contenido muy alto, por clastos silíceos, de cuarzo o de otros silicatos (*). Dávila 2011.

Pliegue asimétrico: Pliegue cuyas superficies plegadas son asimétricas respecto al plano axial (*). Dávila 2011.

Plano axial: Superficie que une las charnelas de un conjunto de estratos plegados(*).Dávila 20121.

Pústula (Concreción) de sílice: Estructura diagenética formada por precipitación de una sustancia mineral alrededor de un núcleo. Generalmente, tiene forma subesférica o discoidal (*). Dávila 2011.

Terrígenos: Material derivado por erosión de un área situada fuera de la cuenca de sedimentación, a la que llega en estado sólido mediante transporte (*). Dávila 2011.

Yeso: Mineral sedimentario. Es un sulfato de calcio hidratado, de fórmula $\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (**). RACEFN 2023.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

Marco Geológico

3.1 Geología regional

En los tres sectores se presenta la misma estratigrafía (ver Figuras 12, 13, 14).

Grupo Yura

(Jurásico superior- Cretácico inferior)

Compuesto por cuarcitas, lutitas y bancos de calizas. Se le reconocen cinco miembros: Puente, Cachios, Labra, Gramadal y Hualhuani. Jenks (1948), Wilson y García (1962)

Formación Murco

(Cretácico inferior - superior)

Compuesta por lutitas abigarradas con areniscas y cuarcitas, tienen orientación noroeste, aparece en alrededores de Lugmirca. Infrayace a la Formación Arcurquina, Benavides (1962)

Formación Arcurquina

Secuencia de calizas grises y azuladas de espesores decimétricas a metros con pústulas de sílice ("nódulos")

Grupo Tacaza

Compuesto por aglomerados y brechas de flujos encalas de lava intercalados con piroclastos (tufos arenosos)

Cuaternario

Solo hay depósitos de ladera o coluviales de muy poco espesor tanto en Lugmirca como en Ojule. También en la parte baja en las quebradas Lugmirca y Ojule hay depósitos aluviales que tienen mayor distribución areal.

3.2 Geología local del Sector Sur

Las características geológicas para los tres sectores estudiados Norte, Sur y Noroeste, son las mismas, porque dichos sectores se encuentran relativamente cerca y son rocas con similar morfología y pertenecen a la Formación Arcurquina de edad Albiano - Cenomaniano (ver Figura 12). En el Sector Sur (Lugmirca), el yacimiento se halla en el flanco oeste de un sinclinal, cuyo plano axial pasa por la llamada “Cantera de los Alemanes”.

Los afloramientos son secuencias calcáreas-silicoclásticas, compuestas por estratos de calizas, calizas dolomíticas, areniscas calcáreas y areniscas dolomíticas principalmente y que constituyen casi el 98% del total del volumen de las rocas; también aparece una pequeña proporción de limolitas y lodolitas calcáreas.

Solo las calizas constituyen alrededor del 58% del volumen total.

La dirección general de los estratos varía de NW - NE, en Lugmirca es N10°E - N20°E buzando 13° - 22° SE, en la parte alta arriba de los Echaderos, es NS/5°E; N10°E / 15°SE; NS/15°W. En el Sector Norte (Ojule), la dirección varía desde NS - N30°E con buzamientos mucho mayores, de 40° - 55 hasta 76°SE.

En la parte alta en el nivel de extracción 2940, ocurre la espectacular inflexión de los estratos, observándose que en pocos metros los estratos de horizontales pasan a casi verticales en dirección al este (hacia Ojule). Hacia el norte, los buzamientos varían entre N10° - 20°W /35°SW.

En la base de las secuencias hay un importante nivel de yeso; por el contrario, al tope de aquellas y en discordancia, hay una pequeña cubierta de tufos arenosos (volcánicos) a manera de pequeña “montera”.

Nota: El seguimiento lateral de los estratos se facilita gracias a los numerosos taludes de corte de los accesos a los niveles de extracción de la cantera; también se pueden seguir lateralmente /y por largos tramos, los diferentes colores: marrón, amarillo, rojizos de los estratos guías.

3.2.1 Nivel de Yeso (Secuencia I)

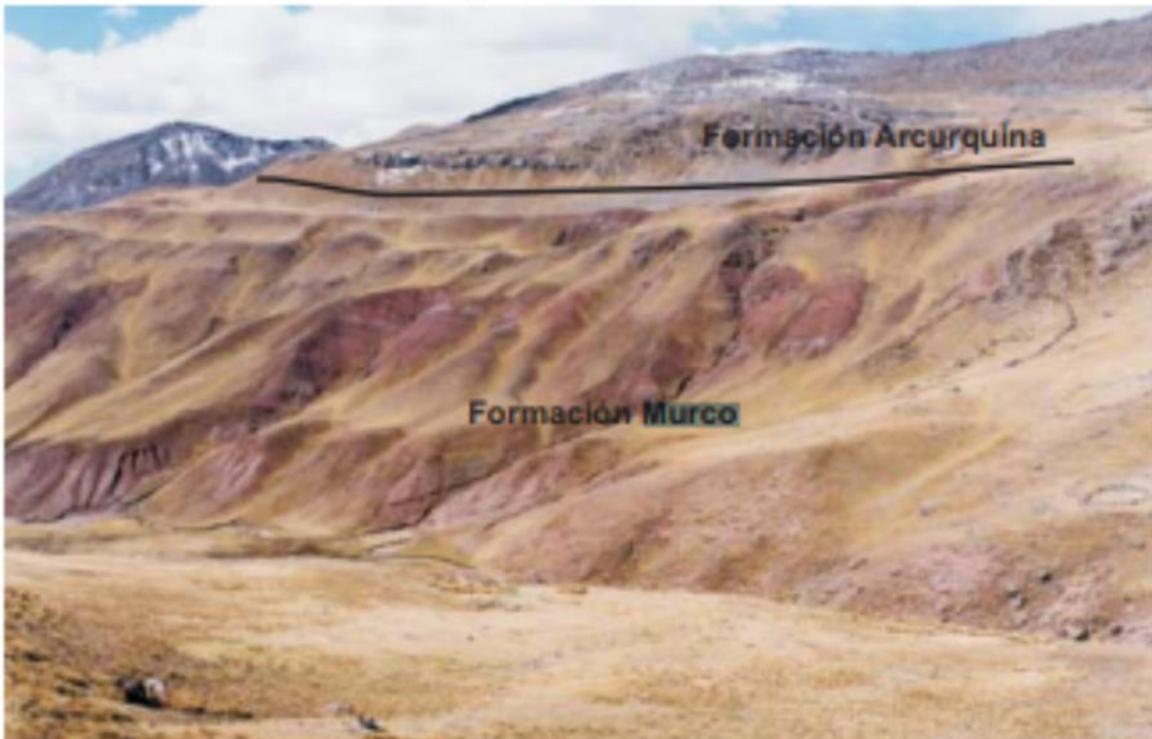
Se aprecia en la base de todas las secuencias (cota 2,700 m.s.n.m. hacia abajo). Consiste en un estrato de yeso impuro de unos 25 metros de espesor, medidos en la carretera que va por la quebrada Ojule, al frente y debajo de la Chancadora (Figuras 17, 21). Está muy deformado; se le encuentra junto con limolitas de color violáceo, igualmente muy deformadas; no se ha calculado su volumen. Este nivel representa el final de la fase regresiva de la Formación Murco en un ambiente de distensión tectónica en la cuenca, para dar paso a la fase de transgresión marina de la Formación Arcurquina.

3.2.2 Geomorfología

El área estudiada es un promontorio rocoso alargado entre 2,610 y 3,010 m.s.n.m. con una pendiente elevada de hasta 55°. Está limitado al oeste por la quebrada Ojule y por la quebrada Lugmirca al este. La lomada de dicho promontorio baja entre 15°- 25° hacia el oeste. En la ladera del lado oeste, así como en la ladera de lado este, se ubica la explotación de la cantera, actualmente en producción.

Figura 12

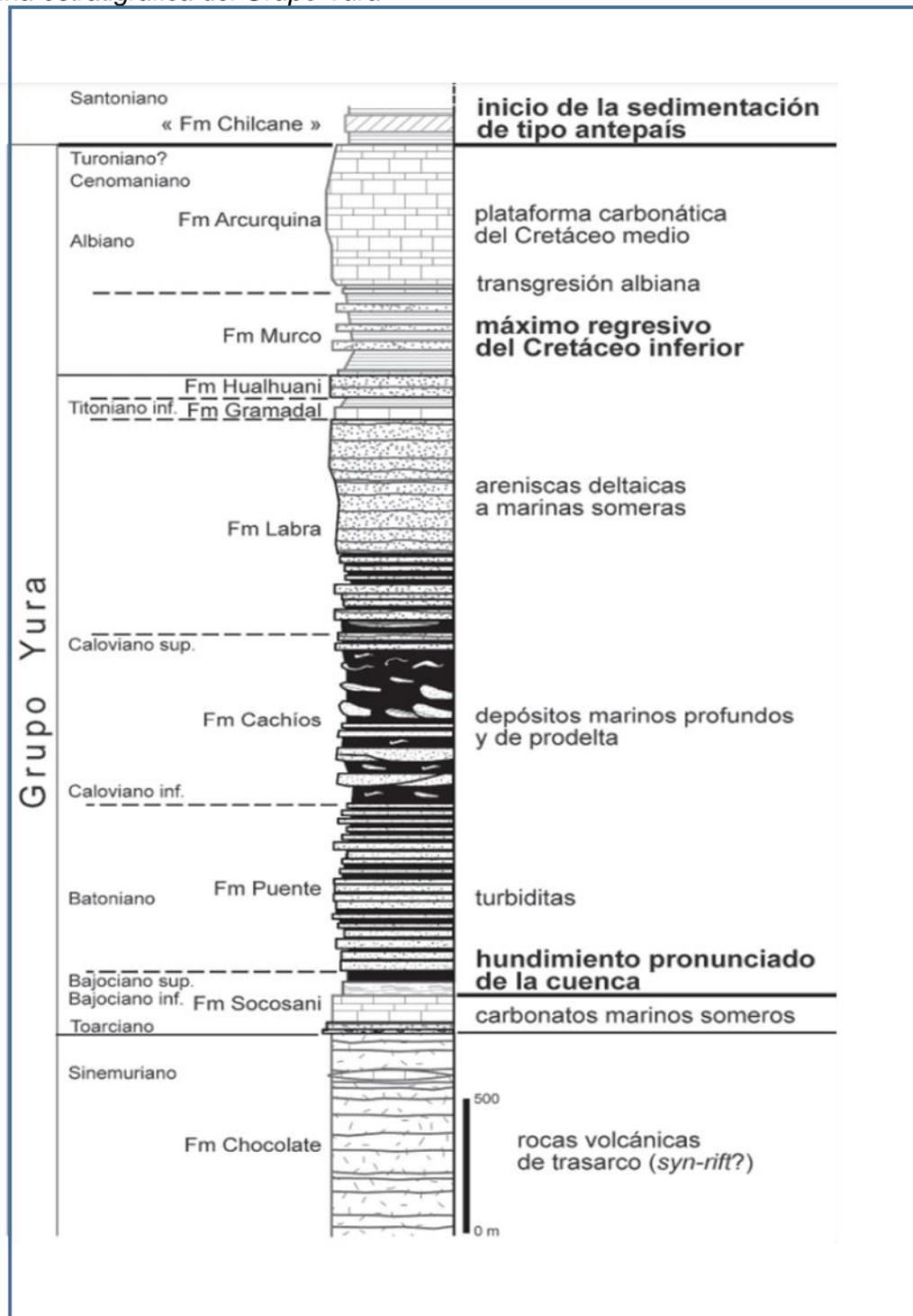
Contacto entre la Formación Murco y la Formación Arcurquina



Fuente: Repositorio INGEMMET/Memoria_descriptiva_Antabamba_29-q.pdf (2003).

Figura 13

Columna estratigráfica del Grupo Yura



- | | | | | | |
|--|------------------|--|-------------------------|--|---------------------------|
| | rocas volcánicas | | calizas marinas someras | | calcilitas |
| | turbiditas | | lutitas negras | | areniscas marinas someras |
| | conglomerados | | areniscas fluviales | | pelitas rojas |
| | | | yeso | | |

Nota: Tomado de Sampere et al., 2004.

Figura 14

Pliegues en las calizas de la Formación Arcurquina



Fuente: Repositorio INGEMMET. Informe Técnico A6886, pag.7 (2019).

3.2.3 Litología

En casi la totalidad del yacimiento estudiado aparecen rocas sedimentarias: calizas, calizas calcáreas, areniscas, areniscas calcáreas, limolita, lutitas. Los estratos tienen variado espesor y las calizas constituyen más de la mitad del volumen.

Un volumen de tufos arenosos yace como una “montera” sobre las calizas en un pequeño sector de la parte más alta.

3.2.4 Geología estructural

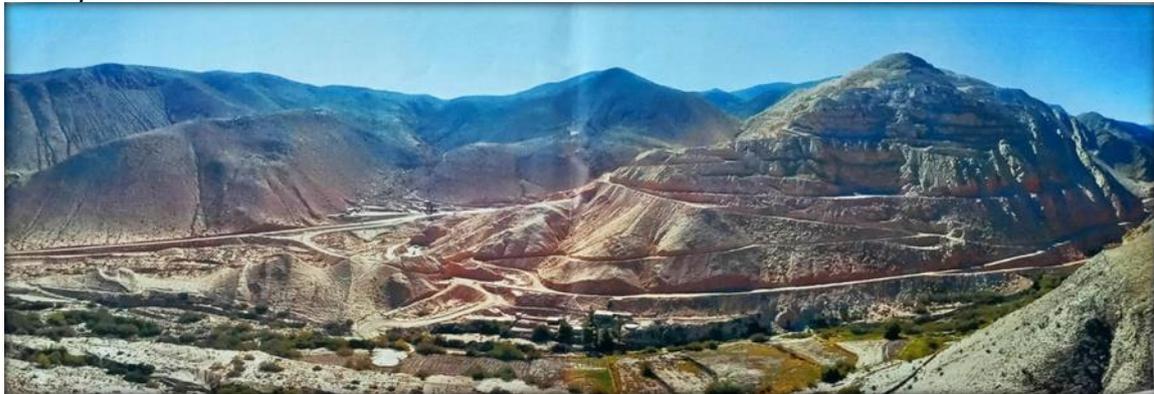
La secuencia estratigráfica se halla deformada, formando anticlinales y sinclinales de dirección N45°W, 35°NE. Se aprecian pliegues menores disarmónicos, a manera de slumps o pliegues de corrimiento, algunos de gran tamaño (megaslumps) y que pueden llevar a confusiones sobre donde se hallan los flancos de los sinclinales y anticlinales. No hay importantes deformaciones debidas a fallas, los desplazamientos son menores (de unos centímetros a pocos metros).

3.2.5 Concepción estructural del yacimiento

El yacimiento se encuentra en el flanco oeste de un sinclinal cuyo eje pasa por la llamada "Cantera de los Alemanes". El otro flanco del sinclinal se repite en la margen izquierda de la quebrada Ojule donde tiene una amplia cubierta volcánica de piroclastos y lavas. El yeso, que está en la zona de la Chancadora, corresponde al parecer al ápice de un anticlinal intensamente deformado, véase Figura 15.

Figura 15

Concepción estructural del Sector Sur.



Nota: Se señala en la fotografía al nivel de Yeso, de la Secuencia I
Fuente: Elaboración propia.

En la base aparecen los estratos muy deformados de la Formación Murco (delgadas capas de areniscas, limolitas, y lutitas) que culminan en un nivel grueso de yeso, a su vez, muy deformado, para posteriormente pasar a estratos gruesos de secuencias calcáreas-silicoclásticas de la Formación Arcurquina. Nótese en la misma Figura 15 los pliegues anticlinales y sinclinales.

En el camino al Sector Norte, continúa el plegamiento de las capas por la margen derecha de la quebrada Ojule. Al lado de la carretera aparece un sinclinal asimétrico; ver la Figura 16 y cuyo plano axial buza hacia el noreste (contra el talud); el eje se inclina hacia al suroeste,

3.2.6 Reconocimiento geológico

3.2.6.1 Levantamiento de la columna estratigráfica. Ubicados los lugares adecuados en las quebradas Lugmirca y Ojule, usando la wincha se midieron los espesores reales de los estratos, elaborando una columna estratigráfica que suma en total 519.70 m. y de los cuales se tienen representados 433.6 m (ver Figura 17).

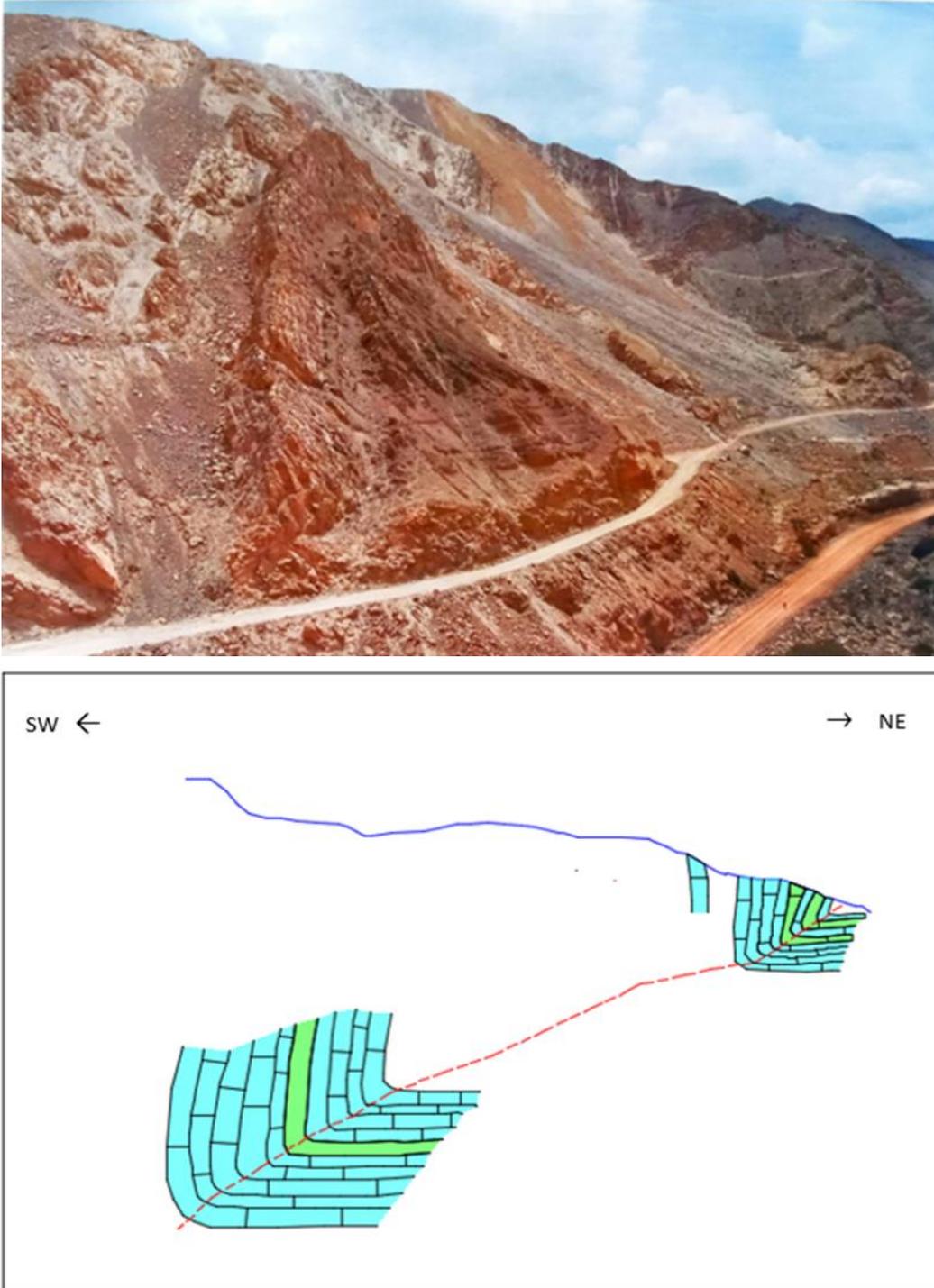
Esta columna incluye una secuencia de estratos calcáreos compuestos por calizas, calizas dolomíticas, areniscas calcáreas, areniscas dolomíticas, limolitas y lodolitas calcáreas. A toda la columna se la ha dividido en 07 secuencias estratigráficas: I, II, III, IV, V, VI, VII, que ha servido para ser cartografiadas. Dentro de estas secuencias se han reconocido tres subsecuencias arenosas (dos en la secuencia II y una en la secuencia III). Las dos últimas con más de 30 metros de espesor. La secuencia I incluye al yeso y todo lo que está debajo, esto es, la Formación Murco.

3.2.6.2 Cartografía geológica superficial. Teniendo como base el mapa topográfico a escala 1/1000 se han ubicado, con diferentes colores, las secuencias descritas anteriormente, indicando además con colores amarillo y rojo diez estratos guías (ver Plano 1).

Estos estratos son fáciles de reconocer por su color y litología persistentes lateralmente; en algunos casos son areniscas y en otros limolitas, en general son de poco espesor.

Figura 16

Boceto interpretativo del pliegue sinclinal asimétrico, Sector Sur.

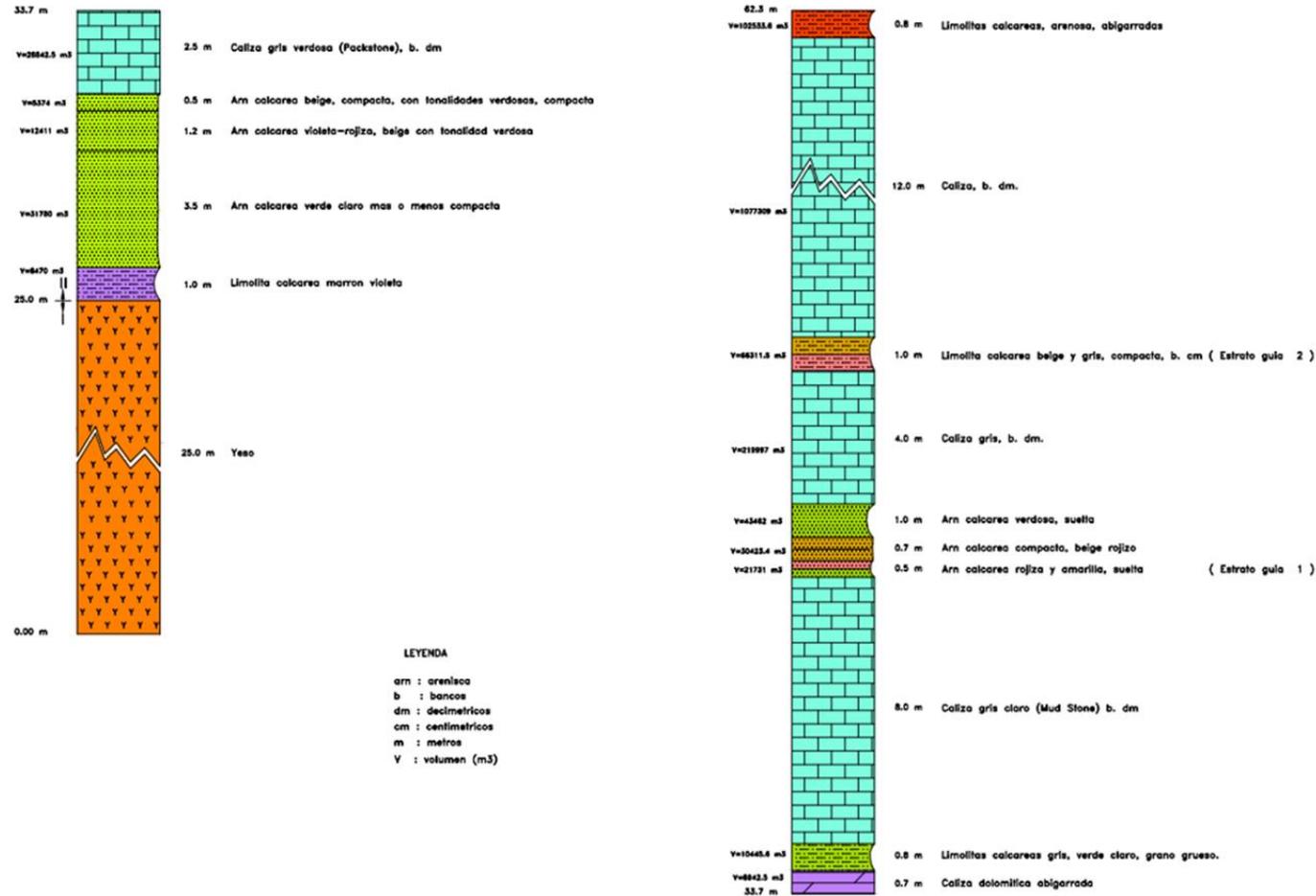


Fuente: Elaboración propia

Se recorrió el lugar y los cerros aledaños para tener una mejor apreciación panorámica que permita establecer las secuencias estratigráficas (ver Figuras 18, 19 y 20).

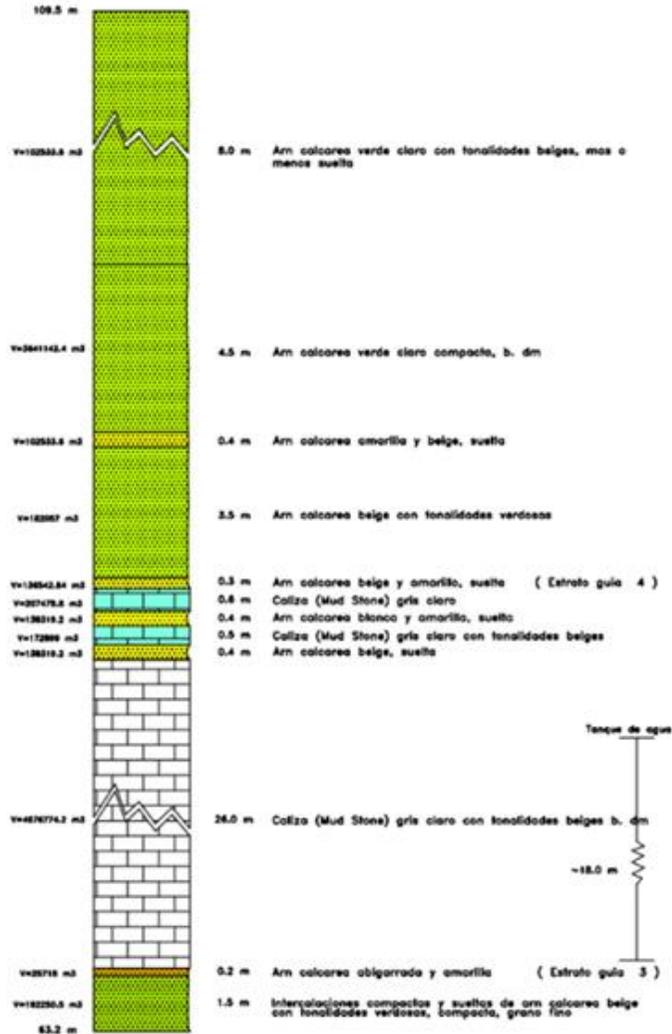
Figura 17

Columna Estratigráfica, Sector Sur.

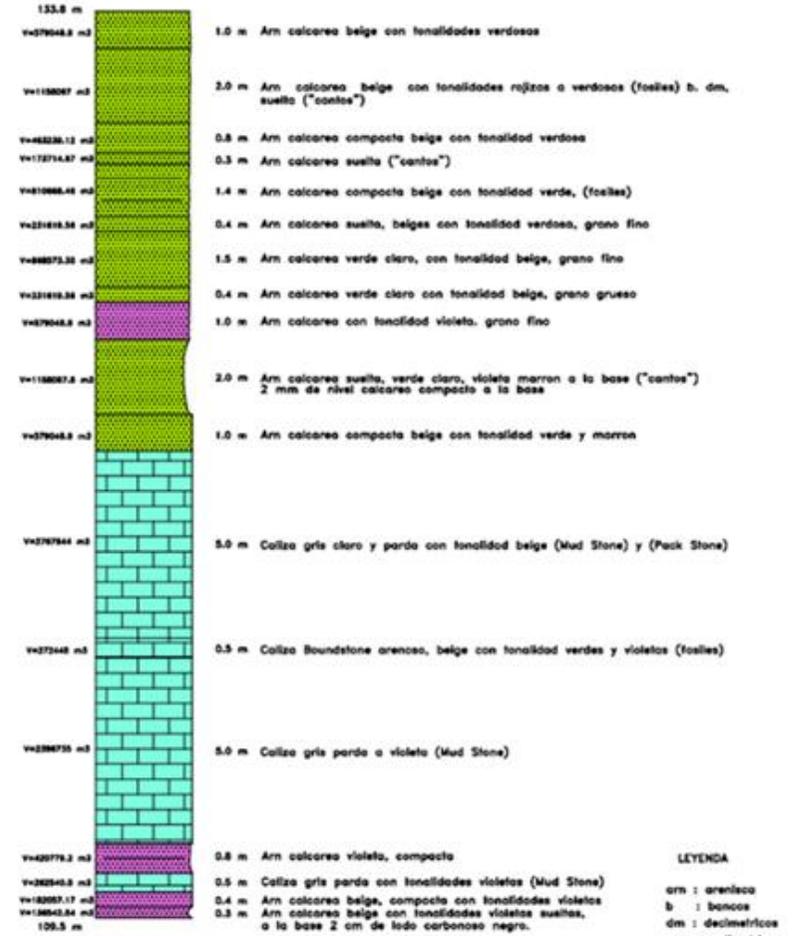


Fuente: Elaboración propia.

Continuación...

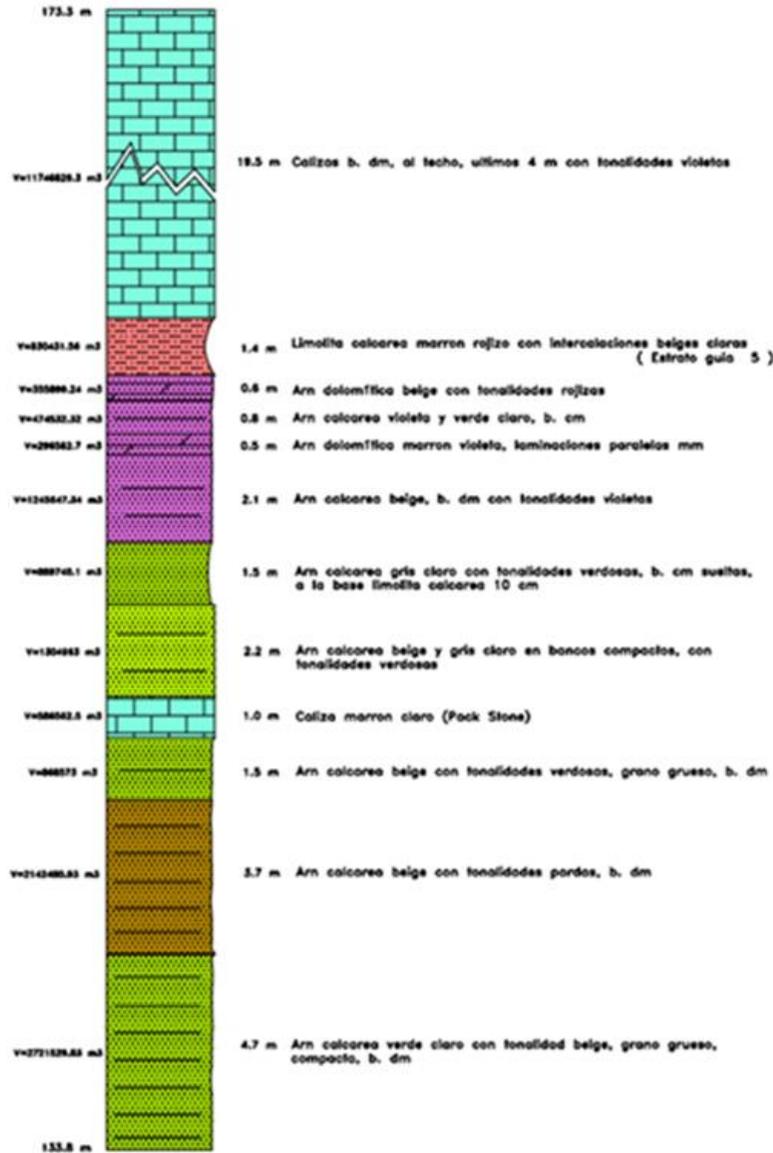


Continuación...

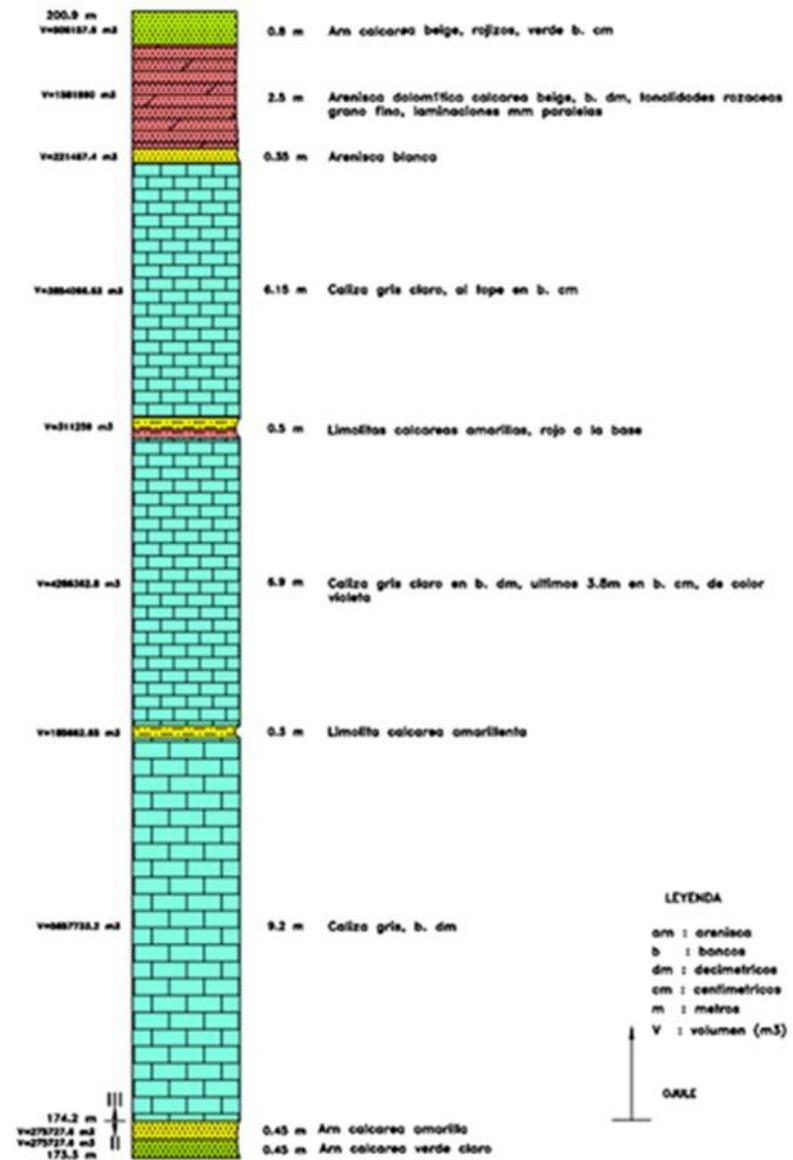


LEYENDA
 arn : arenisco
 b : banco
 dm : decimetrico
 cm : centimetrico
 m : metro
 V : volumen (m3)

Continuación



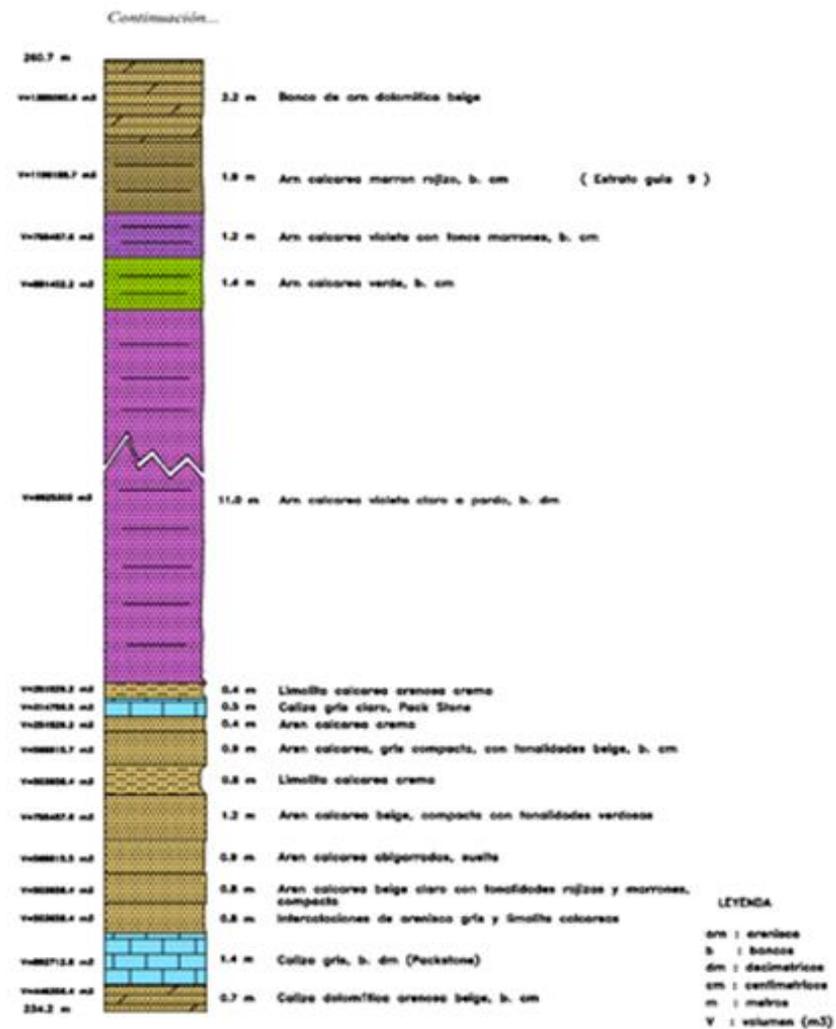
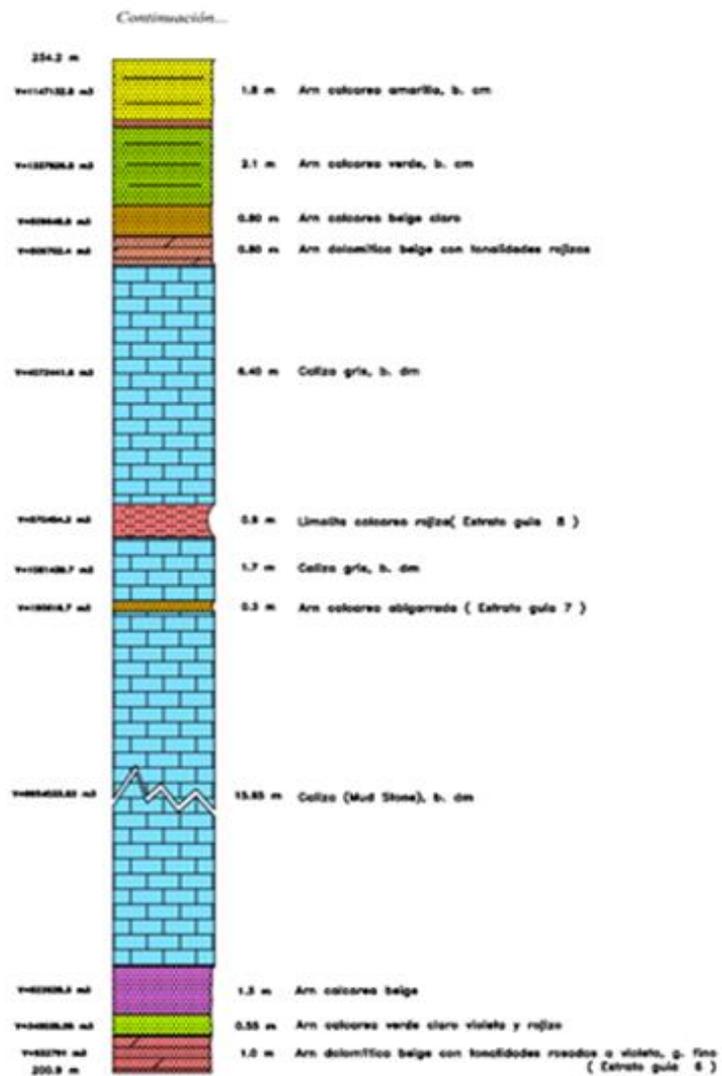
Continuación



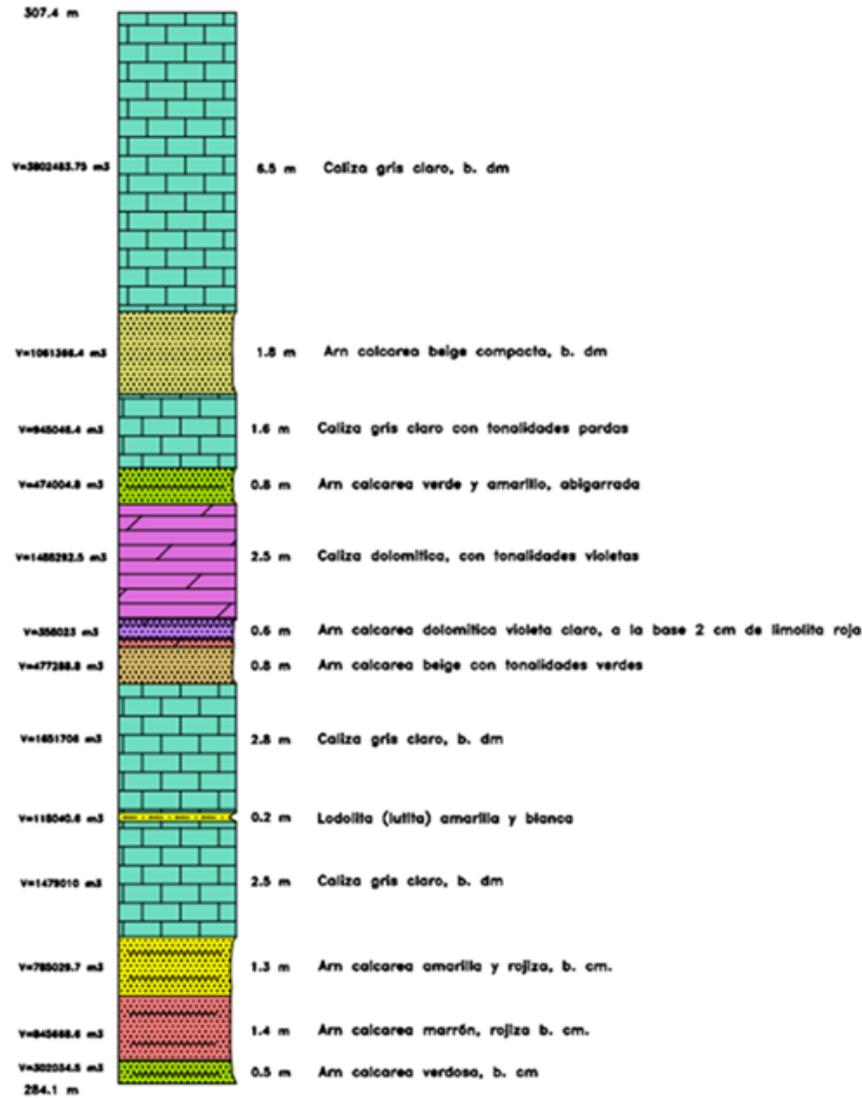
LEYENDA

am : arenisca
 b : bancos
 dm : decimetricos
 cm : centimetricos
 m : metros
 V : volumen (m³)

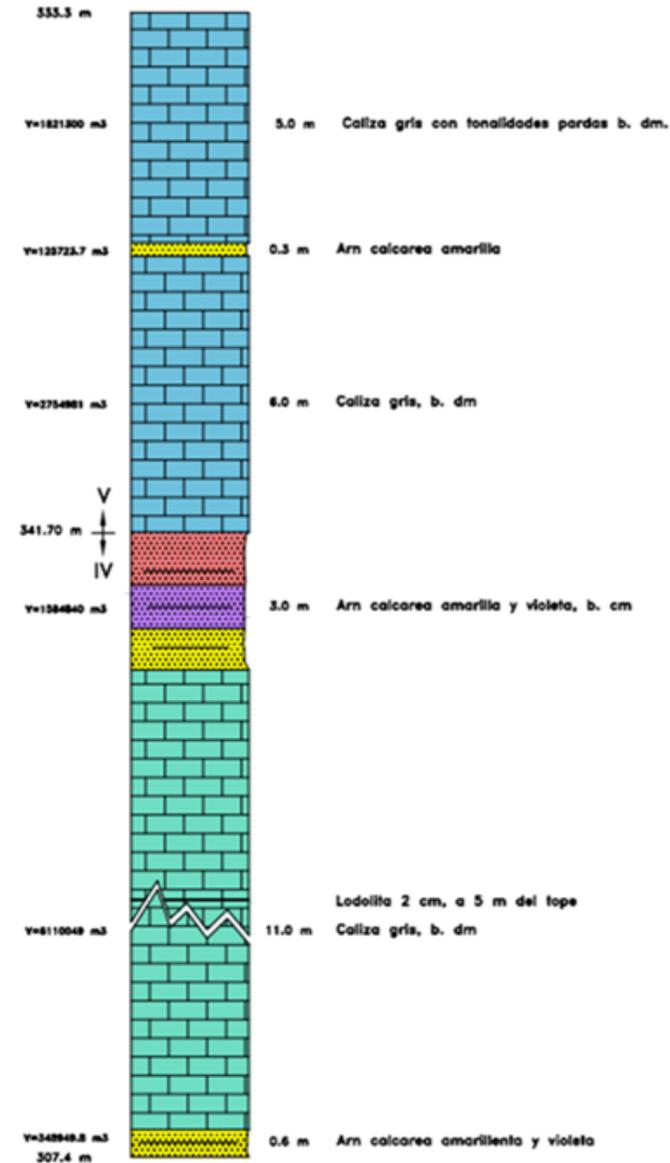
ORALE



Continuación...



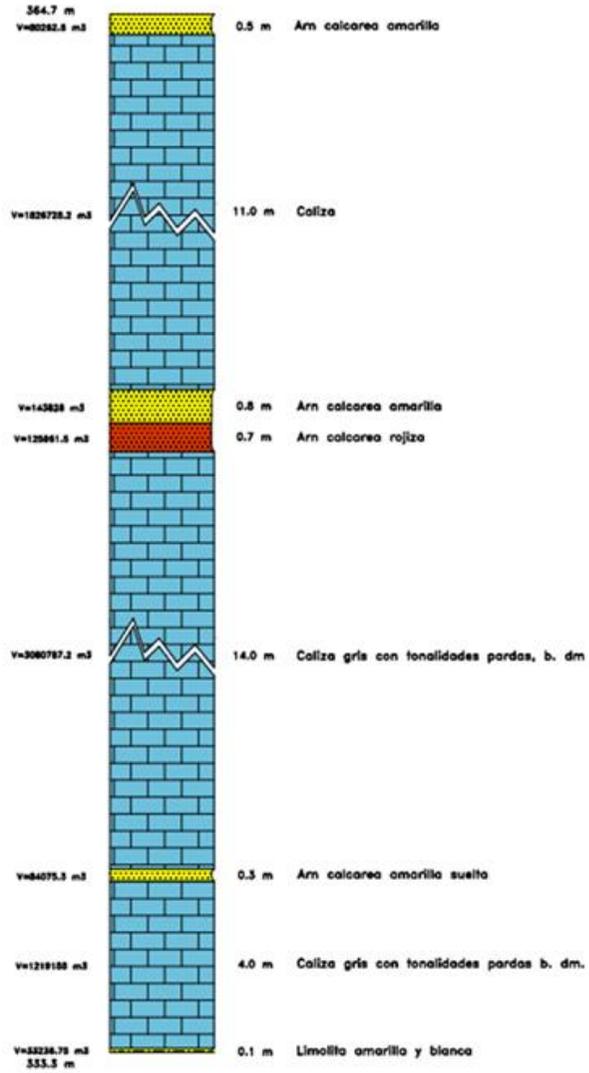
Continuación...



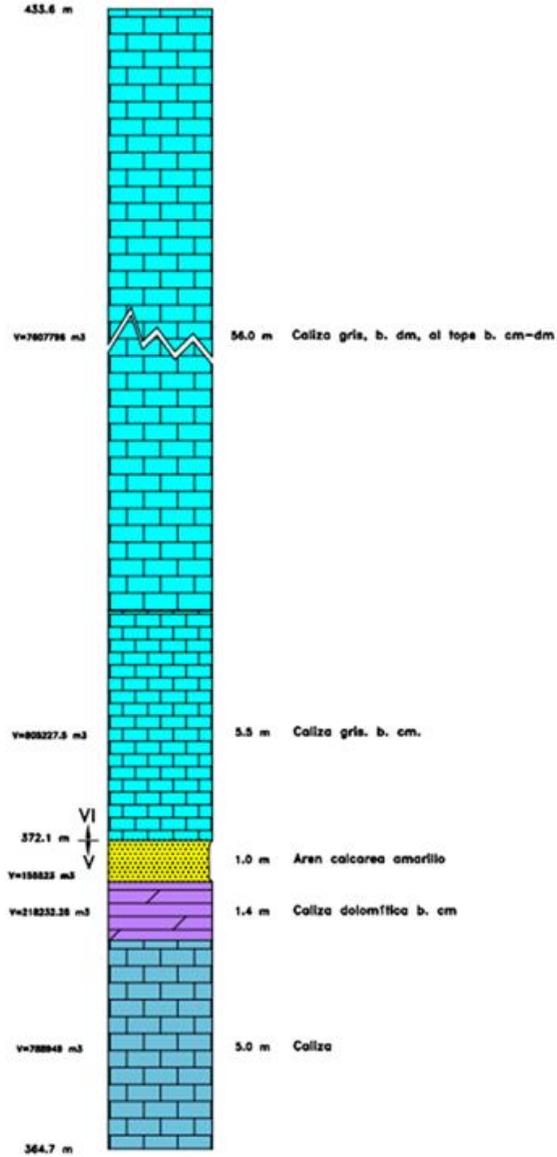
LEYENDA

- arn : arenisca
- b : bancos
- dm : decimétricos
- cm : centimétricos
- m : metros
- V : volumen (m³)

Continuación...



Continuación...



LEYENDA

arn : arenisco
 b : bancos
 dm : decimetricos
 cm : centimetricos
 m : metros
 V : volumen (m3)

Figura 18

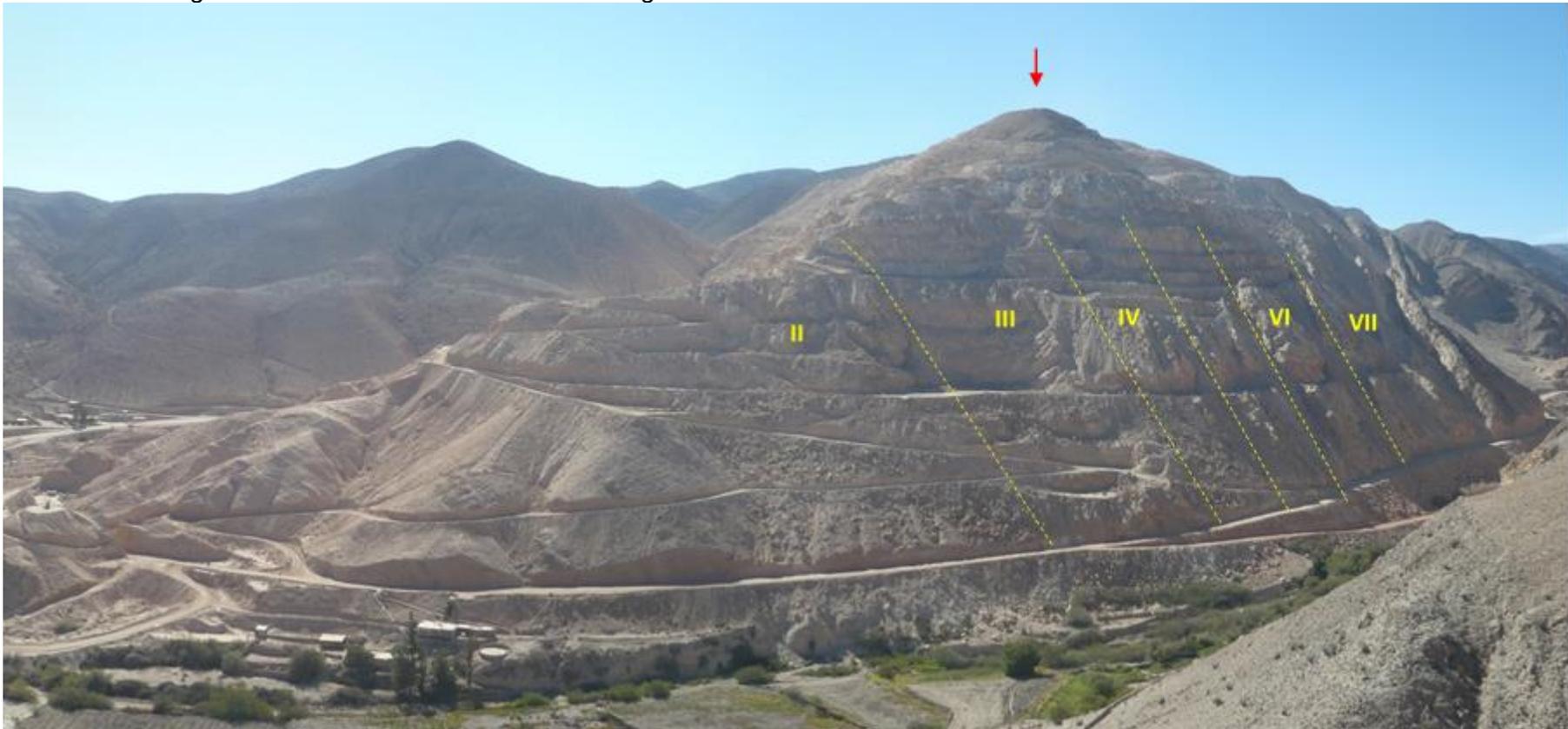
Vista panorámica del lado oeste de la cantera Lugmirca



Nota: Se señalan el Botadero a la izquierda y la Chancadora a la derecha.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 19

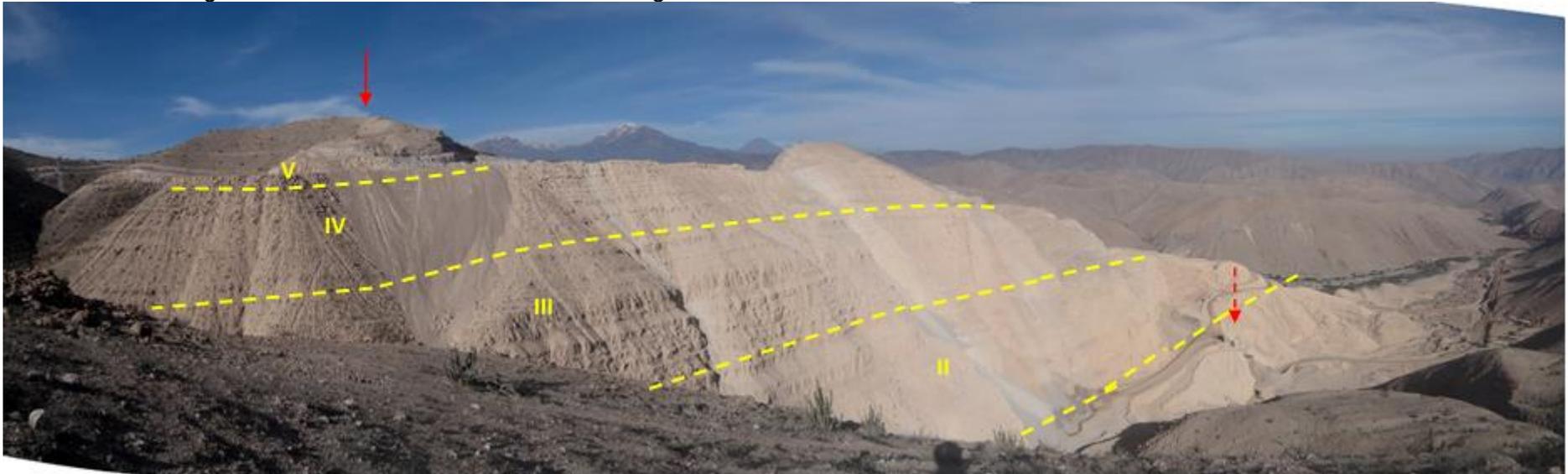
Secuencias estratigráficas en el lado este de la cantera Lugmirca



Nota: Se indican las secuencias II, III, IV, VI, VII; nótese el alto buzamiento de los estratos del anticlinal asimétrico. En primer plano la quebrada Ojule, arriba se señala el Mirador
Fuente: Elaboración propia.

Figura 20

Secuencias estratigráficas en el lado oeste de la cantera Lugmirca



Nota: Se indican las secuencias II, III, IV, V; nótese el bajo buzamiento de los estratos del anticlinal. Con flechas rojas arriba el Mirador, abajo la Chancadora al lado de la carretera de acceso
Fuente: Elaboración propia.

3.2.6.3 Ubicación de estratos guías

Estrato Guía 01

Aparece en la Secuencia II, está formado por una arenisca calcárea rojiza amarilla suelta de 0.50 m de espesor; se ubica sobre una caliza de 8 m de espesor. Se aprecia frente a la Chancadora (ver Figura 21), al pie del talud y en el sector Ojule.

Figura 21

Nivel: Chancadora en quebrada Lugmirca, Secuencia II.



Nota: Intercalaciones de estratos de areniscas calcáreas y calizas, con buzamientos entre 14-20° E.
Fuente: Elaboración propia.

Estrato Guía 02

Aparece en la Secuencia II (ver Figura 22) sobre una caliza de 4 m de espesor y debajo de otra de 12 m de espesor. Está conformado por limolitas calcáreas beige al techo y rojizo al piso, tiene 1 m de espesor. Se aprecia frente a la Chancadora al pie del talud y en el sector Ojule.

Estrato Guía 03

Aparece en la Secuencia II; es una arenisca calcárea abigarrada de 0.20 m de espesor. se aprecia frente a la Chancadora al pie del talud y en el sector Ojule.

Figura 22

Capas de Calizas. Secuencia II y Estrato Guía 02



Nota: Lado oeste del sinclinal, en segundo plano la quebrada Lugmirca. Nivel 2840
Fuente: Elaboración propia.

Estrato Guía 04

Aparece en la Secuencia II al tope de una caliza de 26 m. Es la base de una arenisca de más de 16 m de espesor, está formado por una arenisca calcárea de color, beige suelta de 0.30 m de espesor. Se aprecia a la altura del tanque de agua y frente a la Chancadora.

Estrato Guía 05

Aparece en la Secuencia II, debajo de una caliza de 19.50 m de espesor. Es el tope de un grueso estrato de arenisca más de 30 m.; se trata de una limolita calcárea marrón rojiza, con intercalaciones beige y claras de 1.40 m de espesor. Se aprecia frente a la Chancadora más arriba de la altura del tanque de agua (ver Figura 23).

Estrato Guía 06

Aparece en la Secuencia III, sobre un estrato de caliza de 6.15 m de espesor y debajo de otra de 15.65 m. Consiste en estratos de areniscas dolomíticas y areniscas calcáreas de colores beige con tonalidades rosadas a violetas de 1 m de espesor; se observa con nitidez en Ojule (ver Figura 24).

Figura 23

Afloramientos de estratos de la Secuencia II y Secuencia III



Nota: En la parte baja se señala a las limolitas del estrato guía 5 de la Secuencia II y más arriba a tres estratos arenosos, limosos de coloración amarilla y rojiza intercalados con estratos de calizas de la Secuencia III. Nivel 2770

Figura 24

Estratos de calizas y areniscas de la Secuencia III



Nota: Se señalan tres estratos de areniscas, denominados: Estrato Guía 06. Nivel 2720.
Fuente: Elaboración propia.

Estrato Guía 07

Está en la Secuencia III, sobre un estrato de caliza de 15.65 m. Es una en arenisca calcárea abigarrada de 0.30 m espesor. Aparece tanto en Lugmirca como en Ojule (Nivel 280).

Estrato Guía 08

Aparece en la secuencia III y muy cerca al anterior estrato guía. Consiste en un estrato de limolita calcárea rojiza de 0.90 m de espesor; está debajo de un nivel de calizas de 6.40 m de espesor.

Estrato Guía 09

Se aprecia en la Secuencia III, dentro de la secuencia potente de areniscas. Consiste en un estrato de arenisca calcárea marrón rojizo de 1.90 m de espesor.

Estrato Guía 10

Aparece en la Secuencia III, casi al tope. Es un estrato de limolitas calcáreas de marrón rojizo, en bancos centimétricos de 2.30 m de espesor en total (ver Figura 25).

Figura 25

Estratos de la Secuencia III y Secuencia IV



Nota: se señala al estrato guía 10 limolitas rojizas de la Secuencia III; al lado derecho aparecen esos estratos gruesos de calizas de la secuencia IV.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.6.4 Nivel de Yeso (Secuencia I). Es la base de todas secuencias, desde los 2,700 m.s.n.m. hacia abajo (ver Figura 15). Consiste en un estrato de yeso impuro de unos 25 metros de espesor, medidos en la carretera que va por la quebrada Ojule frente y debajo del nivel de la Chancadora. Se halla bastante deformado; se le encuentra junto con limolitas de color violáceo, igualmente, muy deformadas; se presenta con colores rojizos, beige y es de aspecto sacaroide. No se ha calculado su volumen.

3.2.6.5 Secuencias silicoclásticas-carbonatadas. Como se aprecia en la Figura 18 y Figura 19, se han considerado seis (06) secuencias para facilitar la ubicación en el mapa, tanto de la geología como los lugares de muestreo. Cada secuencia contiene estratos de diferente espesor de calizas, calizas dolomíticas, areniscas calcáreas, areniscas dolomíticas, limolitas y lodolitas calcáreas. Se tienen los siguientes volúmenes:

Calizas (58.3% del volumen total)

Son de colores grises con tonalidades verdosas a pardas, en estratos de espesores decimétricos, a veces centimétricos. Comprenden las variedades packstone y mudstone.

Calizas dolomíticas (1.3% del volumen total)

Son estratos de espesores decimétricos a centimétricos de colores grises con tonalidades violeta a parda y a veces abigarrada; en general se hallan en contacto con el piso de las areniscas.

Areniscas calcáreas y areniscas dolomíticas (38.7% del volumen total).

Constituye el segundo grupo importante de rocas presentes en el área; tienen variedad de colores, predominando las tonalidades verdosas, amarillas violetas y marrones.

Limolitas y lodolitas calcáreas (1.8% del volumen total)

Son de grano medio, de tonalidades rojizas abigarradas; algunas son excelentes estratos guías.

3.2.7 Descripción de las Secuencias (II, III, IV, V, VI, VII)

Secuencia II

Conformada por intercalaciones de limolitas y areniscas de tonalidades verde, marrón, beige, con calizas gris verdosa a pardas. En esta secuencia hay cinco estratos guías 01, 02, 03, 04,05. Debajo del Estrato Guía 05 hay una potente secuencia de areniscas de más 30 m de espesor. Los estratos de calizas tienen espesores importantes: 8, 12 y 30 m. Parte de esta secuencia está frente a la Chancadora, en la zona de los Echaderos 7 y 2.

Tiene un espesor total de 149.20 m y contiene 54.192.812.4 toneladas de calizas, 19.673,5 toneladas de caliza dolomítica, 53.328.484,3 toneladas de areniscas calcáreas y dolomíticas, 1.374.559,6 toneladas de limolita calcárea.

Secuencia III

En esta secuencia los estratos de calizas tienen espesores de 6, 9 y 15 m. Contiene a los estratos guías 06, 07, 08, 09, 10. La secuencia termina en un potente grupo de areniscas de más de 40 m de espesor.

Parte de esta secuencia está frente a la Chancadora, en la zona de los Echaderos 1 y 2. Tiene un espesor total de 99.90 m y contiene 66.249.869,5 toneladas de caliza, 981.984,1 toneladas de caliza dolomítica, 61.071.104,3 toneladas de arenisca calcárea y dolomítica, 2.460.865,7 toneladas de limolita calcárea.

Secuencia IV

Conformada mayormente por calizas de espesores de 2, 6, y 10 m. Tiene un espesor total de 47,9 m y contiene 44.137.258,3 toneladas de caliza, 3.274.243,5 toneladas de caliza dolomítica, 12.474.41 1,2 toneladas de arenisca calcárea y dolomítica, 159.354,8 toneladas de lodolita calcárea. Se aprecia nítidamente en la zona de Ojule

Nota. Algunos contactos notables y accesibles a la observación directa entre las secuencias se muestran en las Figuras 26, 27, 28,29, 30.

Figura 26

Contacto entre la Secuencia III y la Secuencia IV



Nota: Se señala al nivel de areniscas de color verde y amarillo del contacto entre la Secuencia III y la Secuencia IV; más arriba se señala otro nivel de areniscas de color amarillo a marrón claro.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 27

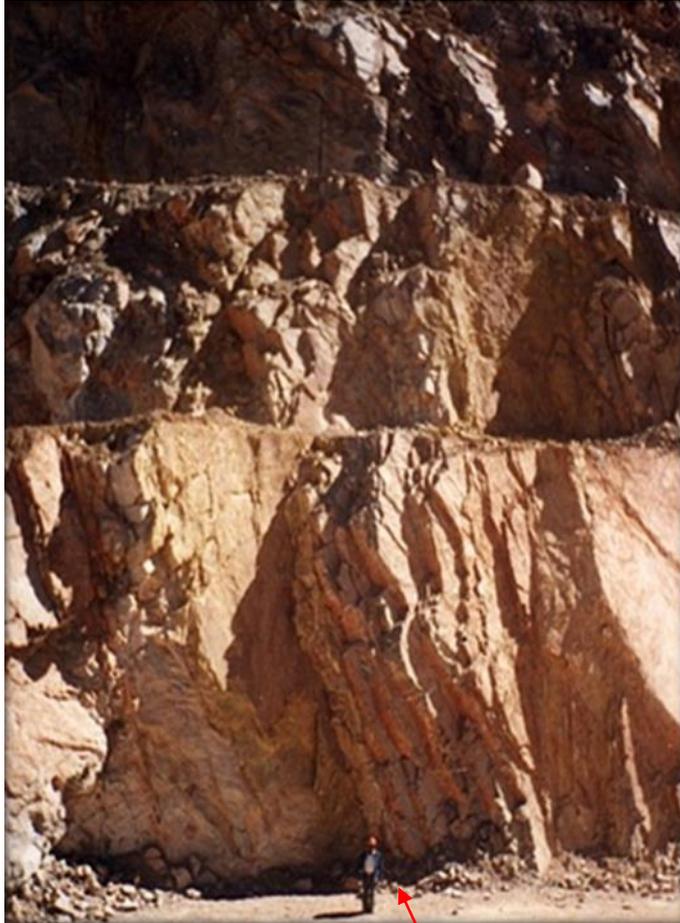
Acercamiento del contacto entre la Secuencia II y Secuencia IV



Nota: Acercamiento de la figura 24; nótese el color verde y amarillo de las areniscas. Nivel de extracción 770; frente a la quebrada Ojule
Fuente: Elaboración propia.

Figura 28

Contacto entre Secuencia IV y Secuencia V.



Nota: Secuencia IV a la izquierda; nótese el alto buzamiento de los estratos. Hacia la izquierda, areniscas y hacia la derecha, calizas; niveles 2770 y 2780. Frente a quebrada Ojule
Fuente: Elaboración propia.

Secuencia V

Mayormente conformada por calizas; se hallan intercaladas con tres estratos delgados de areniscas y limolitas de espesores 10 y 30 cm. Tiene un espesor total de 50,5 m y contiene 25.282.253,5 toneladas de calizas, 480.111.0 toneladas de calizas dolomíticas, 1.430.748,2 toneladas de areniscas calcárea, 44.869,6 toneladas de limolitas calcáreas. Termina al tope en 3 m de areniscas abigarradas.

Tiene un espesor total de 64.5 m y contiene 18.508.651,7 toneladas de calizas, 674.544.0 toneladas de areniscas calcáreas.

Figura 29

Contacto entre la secuencia III y la Secuencia IV



Nota. Se señala el contacto; al tope de la Secuencia III en el lado izquierdo de la figura, se aprecian estratos de areniscas color violeta.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 30

Contacto entre la Secuencia V y la Secuencia VI



Nota. (Mirando al NW). Se señala el contacto: la Secuencia V, a la izquierda y la Secuencia VI, al lado derecho. Véanse los colores abigarrados en las areniscas, al tope de la Secuencia V.
Fuente: Elaboración propia.

Secuencia VI

En su mayoría conformada por calizas; termina al tope en areniscas abigarradas de 3m. de espesor. Tiene un espesor total de 64.5 m. y contiene 18.508,651.7 toneladas de calizas y 674,544.0 toneladas de areniscas calcáreas.

Secuencia VII

Conformada por intercalaciones de calizas y areniscas potentes (ver Figura 31); las calizas son de 5, 20 y 35 m de espesor y los estratos de areniscas de 5 y 15 metros de espesor. Tiene un espesor total de 83.1 m y contiene 9.369.591.0 toneladas de calizas, 2.309.918,4 toneladas de areniscas calcáreas

Figura 31

Estratos de areniscas de la Secuencia VII



Nota. Nótese el grueso espesor de las areniscas de color marrón violáceo a marrón amarillento entre los bancos de calizas.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 32

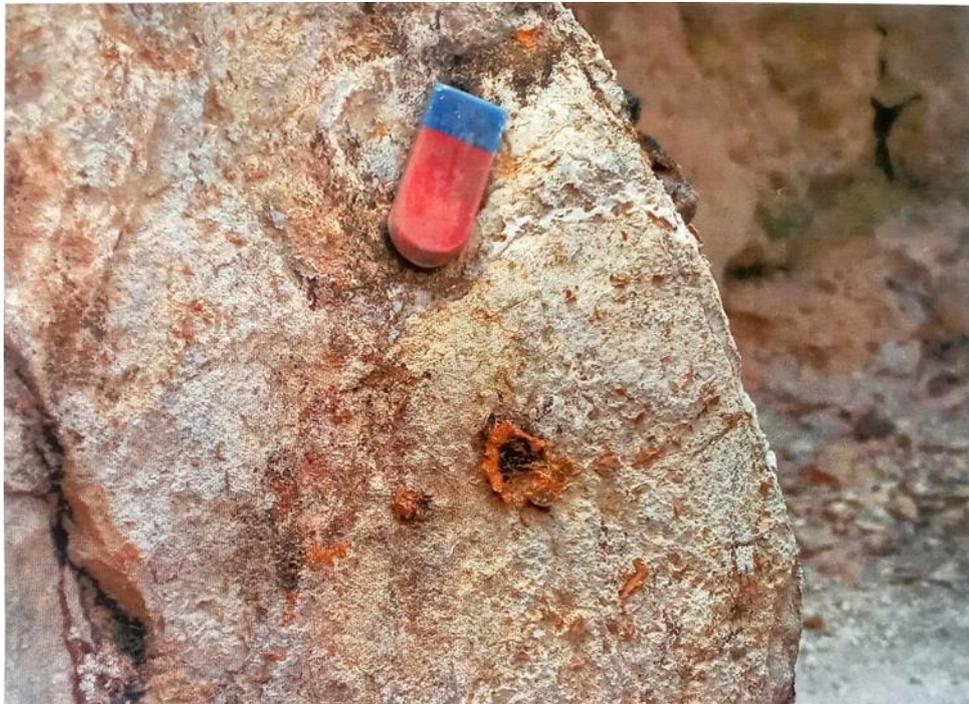
Pústulas de sílice en las secuencias calcáreas



Fuente: Elaboración propia

Figura 33

Probables fósiles de corales silicificados en calizas



Fuente: Elaboración propia.

3.2.8 Cubierta volcánica (Grupo Tacaza)

Constituida principalmente por tufos arenosos redepositados de colores grises y marrones. Se hallan mezclados con aglomerados y porciones de lava. Se aprecian principalmente en parte alta (Cerro Mirador), y van desapareciendo progresivamente en las partes bajas, hasta la zona del tanque de agua en Lugmirca.

3.2.9 Muestreo del Sector Sur

Reconocida la estratigrafía de lugar y la ubicación tanto vertical como lateral de los estratos calcáreos, se procedió a la labor de muestreo sistemático, recopilando 540 muestras (328 son calizas, el resto son areniscas y limolitas calcáreas) de 2 kg aproximadamente. Estas muestras se han obtenido siguiendo la dirección del espesor real de los estratos, sacándose esquirlas de roca con comba y cincel; se midió y registró el espesor muestreado.

Este procedimiento se realizó a lo largo de toda la columna y en los lugares donde había accesos (plataformas de extracción, carreteras y trincheras); en cada lugar se ha rotulado con marcas y números (pintura) los lugares muestreados.

3.2.10 Rango de Leyes (resultados de laboratorio)

En la Tabla 3 se mencionan a dos grupos de rocas: Calizas (caliza, caliza dolomítica) y Areniscas (arenisca calcárea, arenisca dolomítica, limolita calcárea, lodolitas).

Se indican los valores de porcentajes totales de carbonatos en que fluctúan, así en las Secuencias II y III, donde hay un mayor tonelaje de calizas, están los valores máximos: 93% y 94.63% respectivamente del porcentaje total de Carbonatos. Asimismo, en la Secuencia II, está el máximo valor para las areniscas calcáreas con 82.38%.

El contenido de sílice en algunos niveles es elevado, llegando al 12% de SiO₂, debiéndose esto a la presencia de pústulas de sílice y fósiles silicificados de corales (ver Figuras 32, 33).

Tabla 3*Leyes Promedios por Secuencias del Total de Carbonatos*

Cantidad Muestras	Secuencia	Litología	Rango %Total Carbonatos	Ley Promedio %Total Carbonatos
9	VII	Caliza	64.63 - 90.25	79.00
1		Arenisca calcárea	49.50	49.50
32	VI	Caliza	79.13 - 91.88	87.21
3		Arenisca calcárea	38.75 - 75.38	51.25
97	V	Caliza	81.50 - 92.13	86.85
42		Arenisca calcárea	15.12 - 81.25	44.65
62	IV	Caliza	73.50 - 92.50	86.04
39		Arenisca calcárea	5.25 - 73.50	38.33
75	III	Caliza	81.50 - 94.63	87.77
81		Arenisca calcárea	8.75 - 81.00	46.66
55	II	Caliza	82.38 - 93.00	87.81
44		Arenisca calcárea	8.00 - 82.38	51.13

Nota: Calizas (Caliza, Caliza dolomítica); Arenisca calcárea (Arenisca calcárea, Arenisca dolomítica, Limolita calcárea, Lodolitas).

Fuente: Elaboración propia

3.2.11 Cálculo de reservas geológicas

Para el presente informe se considera todo el volumen de roca que está comprendido en el área que abarca el mapa topográfico.

Criterio geológico

Se recorrió el lugar para tomar datos de la geología, haciendo mediciones de los espesores de los estratos, longitud de afloramientos, direcciones y buzamientos de estratos, a fin de precisar la geometría de las secuencias calcáreas.

Geométricamente las rocas sedimentarias: calizas, areniscas y limolitas tienen formas tabulares; es decir, son paralelepípedos alargados con largo y espesor determinado. Es importante señalar que lateralmente el espesor de los estratos presenta pocas variaciones, no son espectaculares. En el presente estudio el espesor de la columna estratigráfica se considera como el valor promedio para el estrato considerado.

Sustento Teórico: Volumen del Paralelepípedo

Se trata de obtener el volumen de una porción de roca que tiene la forma de un paralelepípedo limitado hacia arriba por el techo, hacia abajo por el piso del estrato respectivamente, lateralmente (por los costados) este volumen está limitado por las secciones geológicas consecutivas.

Todo cuerpo tabular es un paralelepípedo que tiene tres dimensiones: largo, espesor y ancho. El largo se mide directamente en las secciones geológicas, teniendo presente que en las partes donde los contactos entre las capas aparecen de forma curva, se deberá tener mayor atención. El espesor se toma de las medidas directas que se han registrado en el campo y que se aprecian tanto en la columna estratigráfica como en las secciones geológicas y el ancho será la medida de la separación horizontal (d) entre sección y sección.

Con el largo y el espesor se obtienen las áreas correspondientes de las bases del paralelepípedo (A1, A2); al multiplicar estas áreas por la separación (d) se obtendrá el volumen buscado (ver Figura 33). En todas las secciones los estratos continúan hacia abajo del Nivel de base 2700.

Metodología de trabajo: Secciones Geológicas

Para los tres sectores se ha empleado el método de las Secciones Geológicas. En cada sección se han proyectado los estratos con buzamiento aparente (α') que se obtiene con la ecuación 1:

$$\alpha' = \text{artg} (\text{sen}\beta \cdot \text{tg}\alpha) \quad (1)$$

donde:

α' : Buzamiento aparente

β : Ángulo entre la línea de corte y la dirección general de los estratos

α : Buzamiento real del estrato

El volumen (V) viene dado por la ecuación 2:

$$V = (A_1 + A_2) d / 2 \quad (2)$$

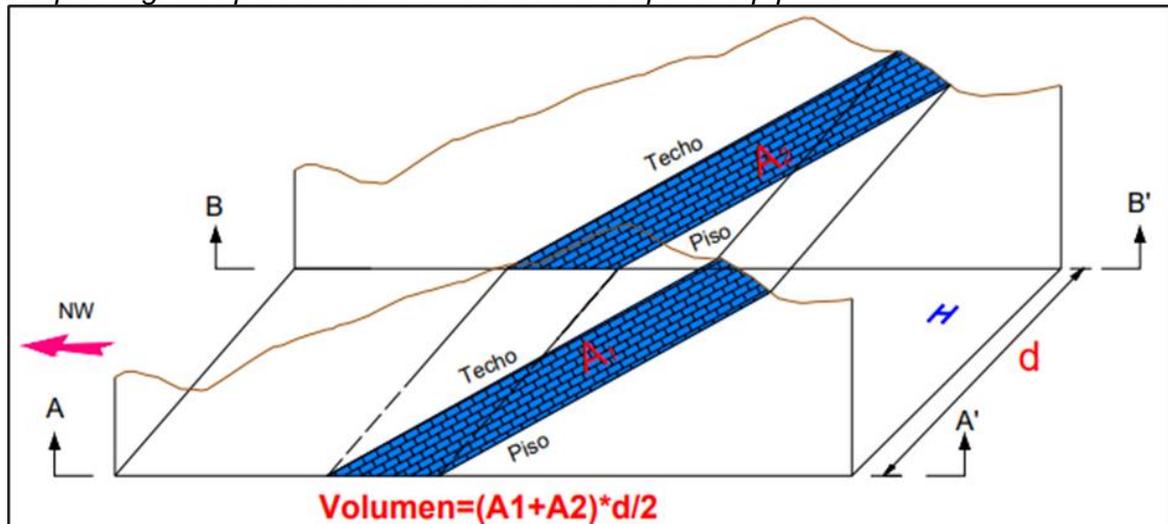
A_i = Área obtenida en la profundidad promedio, (longitud de techo y piso) x
(e) de la sección respectiva

e = Espesor real del estrato (obtenido de la columna estratigráfica)

d = Separación horizontal entre secciones

Figura 34

Bloque diagrama para el cálculo del volumen del paralelepípedo



Fuente: Elaboración propia.

Se han confeccionado, a la escala del plano 1/1000, dieciocho (18) Secciones Geológicas paralelas y separadas una distancia $d= 94.0$ m.; las secciones están mirando al norte y siguiendo la dirección $N75^{\circ}E$, que es más o menos perpendicular a la dirección general de las secuencias estratigráficas (ver Planos 2, 3, 4,19).

Nivel de Base

Para el cálculo de los volúmenes se ha considerado como Nivel de Base a la cota 2,700 m.s.n.m. (nivel de la Chancadora). Es la cota más baja a la que se piensa explotar, por lo que para el cálculo solo se tienen en cuenta 16 secciones (C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, LL, M, N, O, P y Q). Las secciones A y B (en la quebrada Ojule) no se toman en cuenta ya que contienen cotas menores al Nivel de Base.

3.2.12 Cálculo de los tonelajes

Para calcular los tonelajes en la Tabla 4 se registran los pesos específicos para las diferentes rocas

Tabla 4*Pesos específicos considerados*

Tipo Roca	Peso Específico (ton/m³)
Caliza	2.20
Caliza dolomítica	2.20
Arenisca calcárea y dolomítica	2.00
Limolitas y lodolitas calcáreas	1.35

Fuente: Elaboración propia

Obtenidos los volúmenes, se multiplican por los pesos específicos correspondientes y se obtiene el valor de los tonelajes respectivos; en la Tabla 5. se muestran los resultados del Tonelaje Total por tipos de rocas y en la Tabla 6 el Tonelaje Total por Secuencias. En las Tablas 7- 21, se observan al detalle los Tonelajes por Tramos.

Tabla 5*Tonelaje Total por tipos de rocas, Sector Sur.*

Litología	Volumen Total (m³)	Volumen Total (m³)	Porcentaje	P.E (tm/m³)	Tonelaje (Tm)
Caliza	335.90	98,972,925.65	58,30%	2.20	217,740,436.43
Caliza Dolomítica	5.30	2,161,823.68	1.27%	2.20	4,756,012.10
Areniscas calcáreas y dolomíticas	145.30	65,644,605.18	38.67%	2.00	131,289,210.36
Limolita y lodolita calcárea	8.20	2,992,333.06	1.76%	1.35	4,039,649.63

Nota: Nivel de base: cota 2700 msnm

Tabla 6*Tonelaje por Secuencias, Sector Sur*

SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m³)	P.E. (Tm/m³)	TONELAJE (Tm)
VII	Caliza	62.00	4,258,905.00	2.20	9,369,591.00
	Arenisca Calcárea	21.10	1,154,959.20	2.00	2,309,918.40
VI	Caliza	61.50	8,413,023.50	2.20	18,508,651.70
	Arenisca Calcárea	3.00	337,272.00	2.00	674,544.00
V	Caliza	45.00	11,491,933.40	2.20	25,282,253.48
	Caliza Dolomítica	1.40	218,232.28	2.20	480,111.02
	Arenisca Calcárea	3.60	715,374.10	2.00	1,430,748.20
	Limolita Calcárea	0.10	33,236.75	1.35	44,869.61
IV	Caliza	34.40	20,062,390.15	2.20	44,137,258.33
	Caliza Dolomítica	2.50	1,488,292.50	2.20	3,274,243.50
	Arenisca Calcárea y Dolomítica	10.80	6,237,205.60	2.00	12,474,411.20
	Lodolita Calcárea	0.20	118,040.60	1.35	159,354.81
	Caliza	47.90	30,113,577.05	2.20	66,249,869.51
III	Caliza Dolomítica	0.70	446,356.40	2.20	981,984.08
	Arenisca Calcárea y Dolomítica	48.40	30,535,552.15	2.00	61,071,104.30
	Limolita Calcárea	2.90	1,822,863.45	1.35	2,460,865.66
	Caliza	85.10	24,633,096.55	2.20	54,192,812.41
II	Caliza Dolomítica	0.70	8,942.50	2.20	19,673.50
	Arenisca Calcárea y Dolomítica	58.40	26,664,242.13	2.00	53,328,484.26
	Limolita Calcárea	5.00	1,018,192.26	1.35	1,374,559.55

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7*Tonelaje del tramo C-D (entre Secciones: C-C' / D-D')*

SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA	ESPESOR	VOLUMEN	P.E.	TONELAJE
		(m)	(m ³)	(Tm/m ³)	(Tm)
VII	Arenisca Calcárea	21.10	43,7241.00	2.00	87,448.20
	Caliza	62.00	152,421.00	2.20	335,326.20
VI	Arenisca Calcárea	3.00	10,293.00	2.00	20,586.00
	Caliza	61.50	251,309.00	2.20	552,879.80
V	Arenisca Calcárea	3.60	20,623.60	2.00	41,247.20
	Caliza	45.00	284,185.50	2.20	625,208.10
	Caliza Dolomítica	1.40	6,382.60	2.20	14,041.72
	Limolita	0.10	791.95	1.35	1,069.13
IV	Arenisca Calcárea	10.20	78,537.00	2.00	157,074.00
	Arenisca Dolomítica	0.60	4,681.20	2.00	9,362.40
	Caliza	34.40	271,631.80	2.20	597,589.96
	Caliza Dolomítica	2.50	19,740.00	2.20	43,428.00
	Lodolitas	0.20	1,560.40	1.35	2,106.54
III	Arenisca Calcárea	45.40	376,319.60	2.00	752,639.20
	Arenisca Dolomítica	2.20	18,198.40	2.00	36,396.80
	Arenisca Limolítica	0.80	6,617.60	2.00	13,235.20
	Caliza	47.90	388,021.43	2.20	853,647.14
	Caliza Dolomítica	0.70	5,922.00	2.20	13,028.40
	Limolita	2.90	24,122.75	1.35	32,565.71
II	Arenisca Calcárea	58.40	586,033.37	2.00	1,172,066.73
	Caliza	85.10	757,992.50	2.20	1,667,583.50
	Caliza Dolomítica	0.70	3,915.10	2.20	8,613.22
	Limolita	5.00	39,813.70	1.35	53,748.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8*Tonelaje del tramo D-E (entre Secciones: D-D' / E-E')*

SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA	ESPESOR	VOLUMEN	P.E.	TONELAJE
		(m)	(m ³)	(Tm/m ³)	(Tm)
VII	Arenisca Calcárea	21.10	141,686.20	2.00	283,372.40
	Caliza	62.00	470,470.00	2.20	1,035,034.00
VI	Arenisca Calcárea	3.00	27,354.00	2.00	54,708.00
	Caliza	61.50	618,567.00	2.20	1,360,847.40
V	Arenisca Calcárea	3.60	40,852.40	2.00	81,704.80
	Caliza	45.00	545,576.00	2.20	1,200,267.20
	Caliza Dolomítica	1.40	14,936.60	2.20	32,860.52
	Limolita	0.10	1,269.00	1.35	1,713.15
IV	Arenisca Calcárea	10.20	149,911.20	2.00	299,822.40
	Arenisca	0.60	8,967.60	2.00	17,935.20
	Dolomítica				
	Caliza	34.40	504,505.05	2.20	1,109,911.11
	Caliza Dolomítica	2.50	37,247.50	2.20	81,944.50
	Lodolitas	0.20	2,989.20	1.35	4,035.42
III	Arenisca Calcárea	45.40	747,274.15	2.00	1,494,548.30
	Arenisca	2.20	35,414.50	2.00	70,829.00
	Dolomítica				
	Arenisca Limolítica	0.80	12,878.00	2.00	25,756.00
II	Caliza	47.90	826,915.65	2.20	1,819,214.43
	Caliza Dolomítica	0.70	11,745.30	2.20	25,839.66
	Limolita	2.90	48,795.40	1.35	65,873.79
	Arenisca Calcárea	58.40	808,268.17	2.00	1,616,536.33
II	Caliza	85.10	889,258.80	2.20	1,956,369.36
	Caliza Dolomítica	0.70	2,237.20	2.20	4,921.84
	Limolita	5.00	38,967.70	1.35	52,606.40

Nota: Nivel de base: cota 2700 msnm.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9*Tonelaje del tramo E-F (entre Secciones: E-E' / F-F')*

SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m³)	P.E. (Tm/m³)	TONELAJE (Tm)
VII	Arenisca Calcárea	21.10	225,341.50	2.00	450,683.00
	Caliza	62.00	742,294.50	2.20	1,633,047.90
VI	Arenisca Calcárea	3.00	41,454.00	2.00	82,908.00
	Caliza	61.50	896,055.00	2.20	1,971,321.00
V	Arenisca Calcárea	3.60	57,464.55	2.00	114,929.10
	Caliza	45.00	757,170.00	2.20	1,665,774.00
	Caliza Dolomítica	1.40	21,385.00	2.20	47,047.00
	Limolita	0.10	1,757.80	1.35	2,373.03
IV	Arenisca Calcárea	10.20	230,093.20	2.00	460,186.40
	Arenisca Dolomítica	0.60	14,410.20	2.00	28,820.40
	Caliza	34.40	772,818.65	2.20	1,700,201.03
	Caliza Dolomítica	2.50	59,572.50	2.20	131,059.50
	Lodolitas	0.20	4,888.00	1.35	6,598.80
III	Arenisca Calcárea	45.40	1,130,201.95	2.00	2,260,403.90
	Arenisca Dolomítica	2.20	54,853.70	2.00	109,707.40
	Arenisca Limolítica	0.80	19,946.80	2.00	39,893.6
	Caliza	47.90	1,147,345.20	2.20	2,524,159.44
	Caliza Dolomítica	0.70	17,667.30	2.20	38,868.06
	Limolita	2.90	70,800.80	1.35	95,581.08
II	Arenisca	58.40	882,816.51	2.00	1,765,633.02
	Caliza	85.10	959,965.60	2.20	2,111,924.32
	Caliza Dolomítica	0.70	592.20	2.20	1,302.84
	Limolita	5.00	38,634.00	1.35	52,155.90

Nivel de base: cota 2700 msnm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10*Tonelaje del tramo F-G (entre Secciones: F-F'/G-G')*

SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m³)	P.E. (Tm/m³)	Tonelaje (Tm)
VII	Arenisca Calcárea	21.10	209,502.50	2.00	419,005.00
	Caliza	62.00	680,207.50	2.20	1,496,456.50
VI	Arenisca Calcárea	3.00	44,415.00	2.00	88,830.00
	Caliza	61.50	1,011,675.00	2.20	2,225,685.00
V	Arenisca Calcárea	3.60	67,076.05	2.00	134,152.10
	Caliza	45.00	890,344.50	2.20	1,958,757.90
	Caliza Dolomítica	1.40	25,069.80	2.20	55,153.56
	Limolita	0.10	2,082.10	1.35	2,810.84
IV	Arenisca	10.20	301,542.60	2.00	603,085.20
	Arenisca Dolomítica	0.60	18,696.60	2.00	37,393.20
	Caliza	34.40	1,018,560.50	2.20	2,240,833.10
	Caliza Dolomítica	2.50	77,667.50	2.20	170,868.50
	Lodolitas	0.20	6,335.60	1.35	8,553.06
III	Arenisca Calcárea	45.40	1,386,659.80	2.00	2,773,319.60
	Arenisca Dolomítica	2.20	67,933.80	2.00	135,867.60
	Arenisca Limolítica	0.80	24,703.20	2.00	49,406.40
	Caliza	47.90	1,369,269.80	2.20	3,012,393.56
	Caliza Dolomítica	0.70	21,417.90	2.20	47,119.38
	Limolita	2.90	85,948.90	1.35	116,031.02
II	Arenisca Calcárea	58.40	929,887.01	2.00	1,859,774.02
	Caliza	85.10	969,196.40	2.20	2,132,232.08
	Caliza Dolomítica	0.70	-	2.20	-
	Limolita	5.00	40,279.00	1.35	54,376.65

Nivel de base: cota 2700 msnm.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11*Tonelaje del tramo G-H (entre Secciones: G-G' / H-H')*

SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m³)	P.E. (Tm/m³)	Tonelaje (Tm)
VII	Arenisca Calcárea	21.10	110,252.60	2.00	220,505.20
	Caliza	62.00	481,938.00	2.20	1,060,263.60
VI	Arenisca Calcárea	3.00	43,428.00	2.00	86,656.00
	Caliza	61.50	1,003,003.50	2.20	2,206,607.70
V	Arenisca Calcárea	3.60	76,628.80	2.00	153,257.60
	Caliza	45.00	1,095,429.00	2.20	2,409,943.80
	Caliza Dolomítica	1.40	25,714.64	2.20	56,572.21
	Limolita	0.10	3,012.70	1.35	4,067.15
IV	Arenisca Calcárea	10.20	365,096.00	2.00	730,192.00
	Arenisca Dolomítica	0.60	21,657.60	2.00	43,315.20
	Caliza	34.40	1,204,389.10	2.20	2,649,656.02
	Caliza Dolomítica	2.50	90,240.00	2.20	198,528.00
	Lodolitas	0.20	6,222.80	1.35	8,400.78
III	Arenas	45.40	1,476,937.40	2.00	2,953,874.80
	Arenisca Dolomítica	2.20	72,897.00	2.00	145,794.00
	Arenisca Limolítica	0.80	26,508.00	2.00	53,016.00
	Caliza	47.90	1,439,834.43	2.20	3,167,635.74
	Caliza Dolomítica	0.70	22,339.10	2.20	49,146.02
	Limolita	2.90	90,970.85	1.35	122,810.65
	Arenisca	58.40	978,558.80	2.00	1,957,117.60
II	Caliza	85.10	964,576.30	2.20	2,122,067.86
	Caliza Dolomítica	0.70	-	2.20	-
	Limolita	5.00	39,038.20	1.35	52,701.57

Nota: Nivel de base: cota 2700 msnm.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12*Tonelaje del tramo H-I (entre Secciones: H-H' / I-I')*

SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m³)	P.E. (Tm/m³)	Tonelaje (Tm)
VII	Arenisca Calcárea	21.10	35,743.50	2.00	71,487.00
	Caliza	62.00	368,950.00	2.20	811,690.00
VI	Arenisca Calcárea	3.00	49,068.00	2.00	98,136.00
	Caliza	61.50	1,118,623.50	2.20	2,460,971.70
V	Arenisca Calcárea	3.60	79,876.50	2.00	159,753.00
	Caliza	45.00	1,169,078.00	2.20	2,571,971.60
	Caliza Dolomítica	1.40	26,241.04	2.20	57,730.29
	Limolita	0.10	3,337.00	1.35	4,504.95
IV	Arenisca Calcárea	10.20	385,729.00	2.00	771,458.00
	Arenisca Dolomítica	0.60	22,588.20	2.00	45,176.40
	Caliza	34.40	1,266,838.00	2.20	2,787,043.60
	Caliza Dolomítica	2.50	94,000.00	2.20	206,800.00
	Lodolitas	0.20	6,514.20	1.35	8,794.17
III	Arenisca Calcárea	45.40	1,573,842.00	2.00	3,147,684.00
	Arenisca Dolomítica	2.20	77,550.00	2.00	155,100.00
	Arenisca Limolítica	0.80	28,200.00	2.00	56,400.00
	Caliza	47.90	1,551,708.53	2.20	3,413,758.76
	Caliza Dolomítica	0.70	23,918.30	2.20	52,620.26
	Limolita	2.90	97,658.95	1.35	131,839.58
II	Arenisca Calcárea	58.40	1,171,028.03	2.00	2,342,056.06
	Caliza	85.10	1,224,479.25	2.20	2,693,854.35
	Caliza Dolomítica	0.70	-	2.20	-
	Limolita	5.00	48,513.40	1.35	65,493.09

Nota: Nivel de base: cota 2700 msnm.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13*Tonelaje del tramo I-J (entre Secciones: I-I' / J-J')*

SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m³)	P.E. (Tm/m³)	Tonelaje (Tm)
VII	Arenisca Calcárea	21.10	193,696.40	2.00	387,392.80
	Caliza	62.00	690,430.00	2.20	1,518,946.00
VI	Arenisca Calcárea	3.00	58,515.00	2.00	117,030.00
	Caliza	61.50	1,313,732.25	2.20	2,890,210.95
V	Arenisca Calcárea	3.60	84,548.30	2.00	169,096.60
	Caliza	45.00	1,209,874.00	2.20	2,661,722.80
	Caliza Dolomítica	1.40	29,939.00	2.20	65,865.80
	Limolita	0.10	3,285.30	1.35	4,435.16
IV	Arenisca	10.20	453,738.00	2.00	907,476.00
	Arenisca Dolomítica	0.60	26,564.40	2.00	53,128.80
	Caliza	34.40	1,521,554.50	2.20	3,347,419.90
	Caliza Dolomítica	2.50	110,802.50	2.20	243,765.50
	Lodolitas	0.20	8,826.60	1.35	11,915.91
III	Arenisca	45.40	1,878,218.70	2.00	3,756,437.40
	Arenisca Dolomítica	2.20	92,232.80	2.00	184,465.60
	Arenisca Limolítica	0.80	33,539.20	2.00	67,078.40
	Caliza	47.90	1,873,224.95	2.20	4,121,094.89
	Caliza Dolomítica	0.70	28,721.70	2.20	63,187.74
	Limolita	2.90	117,218.00	1.35	158,244.30
II	Arenisca	58.40	1,553,886.27	2.00	3,107,772.54
	Caliza	85.10	1,635,376.75	2.20	3,597,828.85
	Caliza Dolomítica	0.70	-	2.20	-
	Limolita	5.00	64,796.08	1.35	87,474.71

Nota: Nivel de base: cota 2700 msnm.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14*Tonelaje del tramo J-K (entre Secciones: J-J'/K-K')*

SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m³)	P.E. (Tm/m³)	Tonelaje (Tm)
VII	Arenisca Calcárea	21.10	190,547.40	2.00	381,094.80
	Caliza	62.00	609,825.00	2.20	1,341,615.00
VI	Arenisca Calcárea	3.00	47,517.00	2.00	95,034.00
	Caliza	61.50	1,232,798.25	2.20	2,712,156.15
V	Arenisca Calcárea	3.60	97,882.20	2.00	195,764.40
	Caliza	45.00	1,471,217.50	2.20	3,236,678.50
	Caliza Dolomítica	1.40	33,301.60	2.20	72,669.52
	Limolita	0.10	4,380.40	1.35	5,913.54
IV	Arenisca Calcárea	10.20	562,627.60	2.00	1,125,255.20
	Arenisca Dolomítica	0.60	32,881.20	2.00	65,762.40
	Caliza	34.40	1,888,591.60	2.20	4,154,901.52
	Caliza Dolomítica	2.50	137,122.50	2.20	301,669.50
	Lodolita	0.20	10,941.60	1.35	14,771.16
III	Arenisca Calcárea	45.40	2,366,844.80	2.00	4,733,689.60
	Arenisca Dolomítica	2.20	116,118.20	2.00	232,236.40
	Arenisca Limolítica	0.80	42,224.80	2.00	84,449.60
	Caliza	47.90	2,371,294.53	2.20	5,216,847.96
	Caliza Dolomítica	0.70	36,157.10	2.20	79,545.62
	Limolita	2.90	147,293.30	1.35	198,845.96
II	Arenisca Calcárea	58.40	2,080,573.91	2.00	4,161,147.82
	Caliza	85.10	1,895,345.50	2.20	4,169,760.10
	Caliza Dolomítica	0.70	-	2.20	-
	Limolita	5.00	73,585.08	1.35	99,339.86

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15

Tonelaje del tramo K-L (entre Secciones: K-K'/L-L')

SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m³)	P.E. (Tm/m³)	Tonelaje (Tm)
VII	Arenisca Calcárea	21.10	4,465.00	2.00	8,930.00
	Caliza	62.00	62,369.00	2.20	137,211.80
VI	Arenisca Calcárea	3.00	14,946.00	2.00	29,892.00
	Caliza	61.50	755,337.00	2.20	1,661,741.40
V	Arenisca Calcárea	3.60	93,233.90	2.00	186,467.80
	Caliza	45.00	1,610,868.60	2.20	3,543,910.92
	Caliza Dolomítica	1.40	26,385.80	2.20	58,048.76
	Limolita	0.10	5,339.20	1.35	7,207.92
IV	Arenisca Calcárea	10.20	609,947.20	2.00	1,219,894.40
	Arenisca Dolomítica	0.60	35,814.00	2.00	71,628.00
	Caliza	34.40	2,057,739.90	2.20	4,527,027.78
	Caliza Dolomítica	2.50	149,342.50	2.20	328,553.50
	Lodolita	0.20	11,928.60	1.35	16,103.61
III	Arenisca Calcárea	45.40	2,664,293.70	2.00	5,328,587.40
	Arenisca Dolomítica	2.20	129,870.40	2.00	259,740.80
	Arenisca Limolítica	0.80	47,225.60	2.00	94,451.20
	Caliza	47.90	2,730,513.18	2.20	6,007,128.99
	Caliza Dolomítica	0.70	40,927.60	2.20	90,040.72
	Limolita	2.90	167,446.90	1.35	226,053.32
II	Arenisca Calcárea	58.40	2,211,291.72	2.00	4,422,583.44
	Caliza	85.10	1,867,709.50	2.20	4,108,960.90
	Caliza Dolomítica	0.70	-	2.20	-
	Limolita	5.00	75,890.90	1.35	102,452.72

Nivel de base: cota 2700 msnm.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16*Tonelaje del tramo L-LL (entre Secciones: L-L'/LL-LL')*

SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m³)	P.E. (Tm/m³)	Tonelaje (Tm)
VII	Arenisca Calcárea	21.10	-	2.00	-
	Caliza	62.00	-	2.20	-
VI	Arenisca Calcárea	3.00	282.00	2.00	564,000
	Caliza	61.50	211,923.00	2.20	466,230.60
V	Arenisca Calcárea	3.60	46,812.00	2.00	93,624.00
	Caliza	45.00	1,003,464.10	2.20	2,207,621.02
	Caliza Dolomítica	1.40	9,146.20	2.20	20,121.64
	Limolita	0.10	3,266.50	1.35	4,409.78
IV	Arenisca Calcárea	10.20	606,459.80	2.00	1,212,919.60
	Arenisca Dolomítica	0.60	36,039.60	2.00	72,079.20
	Caliza	34.40	2,061,053.40	2.20	4,534,317.48
	Caliza Dolomítica	2.50	149,812.50	2.20	329,587.50
	Lodolita	0.20	12,116.60	1.35	16,357.41
III	Arenisca Calcárea	45.40	2,918,342.80	2.00	5,836,685.60
	Arenisca Dolomítica	2.20	141,141.00	2.00	282,282.00
	Arenisca Limolítica	0.80	51,324.00	2.00	102,648.00
	Caliza	47.90	3,053,131.75	2.20	6,716,889.85
	Caliza Dolomítica	0.70	45,533.60	2.20	100,173.92
	Limolita	2.90	185,513.70	1.35	250,443.50
II	Arenisca Calcárea	58.40	2,360,542.10	2.00	4,721,084.20
	Caliza	85.10	1,924,086.00	2.20	4,232,989.20
	Caliza Dolomítica	0.70	-	2.20	-
	Limolita	5.00	82,348.70	1.35	111,170.75

Nivel de base: cota 2700 msnm

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17*Tonelaje del tramo LL-M (entre Secciones: LL-LL'/M-M')*

SIMBOLOGÍA	LITOLÓGÍA	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m³)	P.E. (Tm/m³)	Tonelaje (Tm)
V	Arenisca Calcárea	3.60	12,182.40	2.00	24,364.80
	Caliza	45.00	405,939.00	2.20	893,065.80
	Caliza Dolomítica	1.40	-	2.20	-
	Limolita	0.10	1,132.70	1.35	1,529.15
IV	Arenisca Calcárea	10.20	582,292.40	2.00	1,164,584.60
	Arenisca Dolomítica	0.60	34,911.60	2.00	69,823.20
	Caliza	34.40	1,984,166.10	2.20	4,365,165.42
	Caliza Dolomítica	2.50	144,877.50	2.20	318,730.50
	Lodolita	0.20	11,787.60	1.35	15,913.26
III	Arenisca Calcárea	45.40	2,976,021.20	2.00	5,952,042.40
	Arenisca Dolomítica	2.20	142,898.80	2.00	285,797.60
	Arenisca Limolítica	0.80	51,963.20	2.00	103,926.40
	Caliza	47.90	3,197,851.80	2.20	7,035,273.96
	Caliza Dolomítica	0.70	46,882.50	2.20	103,141.50
	Limolita	2.90	190,331.20	1.35	256,947.12
II	Arenisca Calcárea	58.40	2,833,622.95	2.00	5,667,245.90
	Caliza	85.70	160,035.00	2.20	352,077.00
	Caliza Dolomítica	0.70	-	2.20	-
	Limolita	5.00	89,553.80	1.35	120,897.63

Nivel de base: cota 2700 msnm.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18*Tonelaje del tramo M-N (entre Secciones M-M'/N-N')*

SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m³)	P.E. (Tm/m³)	Tonelaje (Tm)
V	Arenisca Calcárea	3.60	5,640.00	2.00	11,280.00
	Caliza	45.00	202,429.00	2.20	445,343.80
	Caliza Dolomítica	1.40	-	2.20	-
	Limolita	0.10	615.70	1.35	831.20
IV	Arenisca Calcárea	10.20	505,757.60	2.00	1,011,515.20
	Arenisca Dolomítica	0.60	32,091.60	2.00	64,183.20
	Caliza	34.40	1,757,583.80	2.20	3,866,684.36
	Caliza Dolomítica	2.50	133,127.50	2.20	292,880.50
	Lodolita	0.20	10,763.00	1.35	14,530.05
III	Arenisca Calcárea	45.40	2,756,813.20	2.00	5,513,626.40
	Arenisca Dolomítica	2.20	130,490.80	2.00	260,981.60
	Arenisca Limolítica	0.80	47,451.20	2.00	94,902.40
	Caliza	47.90	3,131,837.95	2.20	6,890,043.49
	Caliza Dolomítica	0.70	43,658.30	2.20	96,048.26
	Limolita	2.90	180,790.20	1.35	244,066.77
II	Arenisca Calcárea	58.40	3,163,020.10	2.00	6,326,040.20
	Caliza	85.70	2,950,533.10	2.20	6,491,172.82
	Caliza Dolomítica	0.70	-	2.20	-
	Limolita	5.00	105,909.80	1.35	142,978.23

Nivel de base: cota 2700 msnm.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19*Tonelaje del tramo N-O (entre Secciones N-N'/O-O')*

SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m³)	P.E. (Tm/m³)	Tonelaje (Tm)
V	Arenisca Calcárea	3.60	6,415.50	2.00	12,831.00
	Caliza	45.00	227,282.60	2.20	500,021.72
	Caliza Dolomítica	1.40	-	2.20	-
	Limolita	0.10	784.90	1.35	1,059.62
IV	Arenisca Calcárea	10.20	511,425.80	2.00	1,022,851.60
	Arenisca Dolomítica	0.60	33,811.80	2.00	67,623.60
	Caliza	34.40	1,817,861.30	2.20	3,999,294.86
	Caliza Dolomítica	2.50	140,412.50	2.20	308,907.50
	Lodolita	0.20	11,336.40	1.35	15,304.14
III	Arenisca Calcárea	45.40	2,844,904.13	2.00	5,689,808.25
	Arenisca Dolomítica	2.20	135,350.60	2.00	270,701.20
	Arenisca Limolítica	0.80	49,218.40	2.00	98,436.80
	Caliza	47.90	3,176,561.98	2.20	6,988,436.35
	Caliza Dolomítica	0.70	44,974.30	2.20	98,943.46
	Limolita	2.90	186,249.25	1.35	251,436.49
II	Arenisca Calcárea	58.40	3,232,657.65	2.00	6,465,315.30
	Caliza	85.70	2,512,460.20	2.20	5,527,412.44
	Caliza Dolomítica	0.70	-	2.20	-
	Limolita	5.00	111,925.80	1.35	151,099.83

Nivel de base: cota 2700 msnm.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20*Tonelaje del tramo O-P (entre Secciones O-O'/P-P')*

SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m³)	P.E. (Tm/m³)	Tonelaje (Tm)
V	Arenisca Calcárea	3.60	16,435.90	2.00	32,871.60
	Caliza	45.00	436,949.60	2.20	961,289.12
	Caliza Dolomítica	1.40	-	2.20	-
	Limolita	0.10	1,527.50	1.35	2,062.13
IV	Arenisca Calcárea	10.20	422,041.20	2.00	844,082.40
	Arenisca Dolomítica	0.60	27,551.40	2.00	55,102.80
	Caliza	34.40	1,520,419.45	2.20	3,344,922.79
	Caliza Dolomítica	2.50	114,327.50	2.20	251,520.50
	Lodolita	0.20	9,306.00	1.35	12,563.10
III	Arenisca Calcárea	45.40	2,641,948.73	2.00	5,283,897.45
	Arenisca Dolomítica	2.20	127,078.60	2.00	254,157.20
	Arenisca Limolítica	0.80	46,210.40	2.00	92,420.80
	Caliza	47.90	2,840,736.40	2.20	6,249,620.08
	Caliza Dolomítica	0.70	41,651.40	2.20	91,633.08
	Limolita	2.90	170,175.25	1.35	229,736.59
II	Arenisca Calcárea	58.40	2,828,114.55	2.00	5,656,229.10
	Caliza	85.70	2,813,981.65	2.20	6,190,759.63
	Caliza Dolomítica	0.70	-	2.20	-
	Limolita	5.00	114,318.10	1.35	154,329.44

Nivel de base: cota 2700 msnm.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21*Tonelaje del tramo P- Q (entre Secciones P-P'/Q-Q')*

SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m³)	P.E. (Tm/m³)	Tonelaje (Tm)
V	Arenisca Calcárea	3.60	9,702.00	2.00	19,404.00
	Caliza	45.00	182,126.00	2.20	400,677.20
	Caliza Dolomítica	1.40	-	2.20	-
	Limolita	0.10	654.00	1.35	882.90
IV	Arenisca Calcárea	10.20	113,984.00	2.00	227,968.00
	Arenisca Dolomítica	0.60	7,356.00	2.00	14,712.00
	Caliza	34.40	414,677.00	2.20	912,289.40
	Caliza Dolomítica	2.50	30,000.00	2.20	66,000.00
	Lodolita	0.20	2,524.00	1.35	3,407.40
III	Arenisca Calcárea	45.40	908,211.00	2.00	1,816,422.00
	Arenisca Dolomítica	2.20	43,032.00	2.00	88,064.00
	Arenisca Limolítica	0.80	15,648.00	2.00	31,296.00
	Caliza	47.90	1,015,329.50	2.20	2,233,724.90
	Caliza Dolomítica	0.70	14,840.00	2.20	32,648.00
	Limolita	2.90	59,548.00	1.35	80,389.80
II	Arenisca Calcárea	58.40	1,043,941.00	2.00	2,087,882.00
	Caliza	85.70	1,141,573.00	2.20	2,511,460.60
	Caliza Dolomítica	0.70	2,198.00	2.20	4,835.60
	Limolita	5.00	54,618.00	1.35	73,734.30

Nivel de base: cota 2700 msnm.

Fuente: Elaboración propia.

En las Tablas 22-27, se observan al detalle los Volúmenes por Secuencias y los Tonelajes

Tabla 22

Volúmenes de rocas, Secuencia II

DESCRIPCIÓN	ESPESOR (e) m	VOLUMEN C-D m³	VOLUMEN D-E m³	VOLUMEN E-F m³	VOLUMEN F-G m³	VOLUMEN G-H m³	VOLUMEN H-I m³	VOLUMEN I-J m³	VOLUMEN J-K m³	VOLUMEN K-L m³	VOLUMEN L-LL m³	VOLUMEN LL-M m³	VOLUMEN M-N m³	VOLUMEN N-O m³	VOLUMEN O-P m³	VOLUMEN P-Q m³	VOLUMEN TOTAL m³
Arenisca	0.45	3,468.3	7 656.3	10,194.3	11,801.7	12,563.1	13,705.2	16,666.2	21,340.4	25,062.8	27,791.1	29,398.5	29,652.3	30,043.6	26,807.6	9,576.0	275,727.6
Arenisca	0.45	3,468.6	7 656.3	10,194.3	11,801.7	12,563.1	13,705.2	16,666.2	21,340.4	25,062.8	27,791.1	29,398.5	29,652.3	30,043.6	26,807.6	9,576.0	275,727.6
Caliza	19.50	162,678.3	339,563.3	432,588.0	484,828.5	509,574.0	561,814.5	696,540.0	901,836.0	1,058,557.5	1,175,869.5	1,261,104.0	1,284,933.0	1,301,430.0	1,160,747.3	414,765.0	11,746,829.3
Limolita	1.40	15,331.4	24,280.2	28,754.6	32,571.0	34,479.2	38,427.2	48,731.5	63,207.5	73,860.5	82,348.7	89,553.8	92,185.8	93,501.8	83,434.4	29,764.0	830,431.6
Aren-Dolom	0.60	6,570.6	10,405.8	12,323.4	13,959.0	14,776.8	16,468.8	20,884.9	27,088.9	31,654.5	35,292.3	38,380.2	39,508.2	40,072.2	35,757.6	12,756.0	355,899.2
Arenisca	0.80	8,760.3	13,874.4	16,431.2	18,612.0	19,702.4	21,958.4	27,846.6	36,118.6	42,206.0	47,056.4	51,173.6	52,677.6	53,429.6	47,676.8	17,008.0	474,532.3
Aren-Dolom	0.50	5,475.5	8,671.5	10,269.5	11,632.5	12,314.0	13,724.0	17,404.1	22,574.1	26,378.8	29,410.3	31,983.5	32,923.5	33,393.5	29,798.0	10,630.0	296,582.7
Arenisca	2.10	22,997.1	36,420.3	43,131.9	48,855.5	51,718.8	57,640.8	73,097.2	94,811.2	110,790.8	123,523.1	134,330.7	138,278.7	140,252.7	125,151.6	44,846.0	1,245,647.3
Arenisca	1.50	16,426.5	26,014.5	30,808.5	34,897.5	36,942.0	41,172.0	52,212.3	67,722.3	79,136.3	88,230.8	95,950.5	98,770.5	100,180.5	89,394.0	31,890.0	889,748.1
Arenisca	2.20	24,092.2	36,154.3	45,185.8	51,183.0	54,181.6	60,385.6	76,578.0	99,326.0	116,066.5	129,405.1	140,727.4	144,863.4	146,931.4	131,111.2	46,772.0	1,304,963.9
Caliza	1.00	10,951.0	17,343.0	20,398.0	22,812.0	24,111.0	26,461.0	33,464.0	44,274.0	52,029.0	57,857.0	63,450.0	65,800.0	66,740.0	59,572.5	21,270.0	586,562.5
Arenisca	1.50	16,810.7	25,693.7	30,519.5	33,692.0	35,250.0	38,753.9	49,581.4	65,727.2	75,808.7	83,295.8	93,024.8	98,770.5	100,392.0	89,323.5	31,830.0	868,573.4
Arenisca	3.70	41,466.5	63,377.9	75,281.3	83,103.8	86,950.0	95,592.8	122,547.3	162,127.0	186,994.7	205,462.9	229,461.1	243,633.9	247,633.6	220,331.3	78,514.0	2,142,480.9
Arenisca	4.70	52,673.6	80,507.0	95,627.6	105,538.1	110,450.0	121,428.7	155,668.2	205,945.1	237,533.8	260,993.4	291,477.6	309,480.9	314,561.6	279,880.3	99,734.0	2,721,529.8
Arenisca	1.00	11,207.2	17,129.2	20,346.3	22,461.3	23,500.0	25,835.9	33,120.9	43,818.1	50,539.1	55,630.5	62,016.5	65,847.0	66,928.0	59,549.0	21,220.0	579,048.9
Arenisca	2.00	22,414.3	34,258.3	40,692.3	44,922.6	47,000.0	51,671.8	66,241.8	87,636.2	101,078.2	111,061.0	124,033.0	131,694.0	133,856.0	119,098.0	42,440.0	1,168,097.8
Arenisca	0.80	8,965.7	13,703.3	16,277.0	17,969.0	18,800.0	20,666.7	26,496.7	35,054.5	40,431.3	44,424.4	49,613.2	52,677.6	53,542.4	47,639.2	16,976.0	463,239.1
Arenisca	0.30	3,362.1	5,138.7	6,738.4	6,738.4	7,050.0	7,750.8	9,936.3	13,145.4	15,161.7	16,659.2	18,605.0	19,754.1	20,078.4	17,864.7	6,366.0	173,714.7
Arenisca	1.40	15,690.0	23,980.8	28,484.8	31,445.8	32,900.0	36,170.3	46,369.3	61,345.3	70,754.7	77,742.7	86,823.1	92,185.8	93,699.2	83,368.6	29,708.0	810,668.5
Arenisca	0.40	4,482.9	6,851.7	8,138.5	8,984.5	9,400.0	10,334.4	13,248.4	17,527.2	20,215.6	22,212.2	24,806.6	26,338.8	26,771.2	23,819.6	8,488.0	231,619.6
Arenisca	1.50	16,810.7	25,693.7	30,519.5	33,692.0	35,250.0	38,753.9	49,681.4	65,727.2	75,808.7	83,295.8	93,024.8	98,770.5	100,392.0	89,323.5	31,830.0	868,573.4
Arenisca	0.40	4,482.9	6,851.7	8,138.5	8,984.5	9,400.0	10,334.4	13,248.4	17,527.2	20,215.6	22,212.2	24,806.6	26,338.8	26,771.2	23,819.6	8,488.0	231,619.6
Arenisca	1.00	11,207.2	17,129.2	20,346.3	22,461.3	23,500.0	25,835.9	33,120.9	43,818.1	50,539.1	55,530.5	62,016.5	65,847.0	66,928.0	59,549.0	21,220.0	579,048.9
Arenisca	2.00	22,414.3	34,258.3	40,692.6	44,922.6	47,000.0	51,671.8	66,241.8	87,636.2	101,078.2	111,061.0	124,033.0	131,694.0	133,856.0	119,098.0	42,440.0	1,158,097.8
Arenisca	1.00	11,207.2	17,129.2	20,346.3	22,461.3	23,500.0	25,835.9	33,120.9	43,818.1	50,539.1	55,530.5	62,016.5	65,847.0	66,928.0	59,549.0	21,220.0	579,048.9
Caliza	5.00	54,520.0	80,370.0	89,229.5	86,644.5	91,650.0	116,442.5	157,332.5	210,795.0	242,050.0	267,430.0	307,145.0	329,470.0	334,640.0	294,925.0	105,000.0	2,767,644.0
Clza-Boudst	0.50	5,452.0	7,802.0	8,201.5	8,178.0	8,530.5	10,469.3	15,192.8	21,314.5	24,205.0	26,390.5	30,573.5	32,947.0	33,393.5	29,328.0	10,470.0	272,448.0
Caliza	5.00	54,520.0	76,140.0	77,315.0	78,960.0	83,190.0	97,172.5	146,522.5	212,675.0	237,585.0	258,735.0	304,560.0	329,000.0	190,820.0	146,640.0	102,900.0	2,396,735.0
Arenisca	0.80	8,516.4	11,750.0	11,618.4	11,355.2	12,257.6	14,814.4	22,898.4	33,915.2	37,487.2	40,796.0	48,541.6	52,640.0	52,790.4	45,270.4	16,128.0	420,779.2
Caliza	0.50	5,264.0	7,332.0	7,261.5	7,097.0	7,614.0	9,259.0	14,358.5	21,197.0	23,312.0	25,309.5	30,268.0	32,900.0	32,994.0	28,294.0	10,080.0	262,540.5
Arenisca	0.40	4,064.6	5,380.6	5,141.8	4,728.2	5,160.6	7,510.6	10,716.0	15,322.0	13,799.2	13,517.2	19,890.4	24,308.4	24,816.0	20,341.6	7,360.0	182,057.1
Arenisca	0.30	3,048.4	4,035.4	3,856.4	3,546.2	3,870.5	5,633.0	8,037.0	11,491.5	10,349.4	10,137.9	14,917.8	18,231.3	18,612.0	15,256.2	5,520.0	136,542.8
Arenisca	8.00	81,291.2	107,611.2	102,836.0	94,564.0	103,212.0	150,212.0	214,320.0	306,440.0	275,984.0	270,344.0	397,808.0	486,168.0	496,320.0	406,832.0	147,200.0	3,641,142.4
Arenisca	4.50	45,726.3	60,531.3	57,845.3	53,192.3	58,056.8	84,494.3	120,555.0	172,372.5	155,241.0	152,068.5	223,767.0	273,469.5	279,180.0	228,843.0	82,800.0	2,048,142.6
Arenisca	0.40	4,064.6	5,380.6	5,141.8	4,728.2	5,160.6	7,510.6	10,716.0	15,322.0	13,799.2	13,517.2	19,890.4	24,308.4	24,816.0	20,341.6	7,360.0	182,057.1
Arenisca	3.50	35,564.9	47,079.9	44,990.8	41,371.8	45,155.3	65,717.8	93,765.0	134,067.5	120,743.0	118,275.5	174,041.0	212,698.5	217,140.0	177,989.0	64,400.0	1,592,999.8
Arenisca	0.30	3,048.4	4,035.4	3,856.4	3,546.2	3,870.5	5,633.0	8,037.0	11,491.5	10,349.4	10,137.9	14,917.8	18,231.3	18,612.0	15,256.2	5,520.0	136,542.8
Caliza	0.60	6,655.2	7,162.8	6,627.0	6,034.8	6,880.8	9,447.0	12,549.0	15,228.0	12,126.0	13,677.0	17,061.0	27,438.6	31,894.2	24,449.4	10,248.0	207,478.8
Arenisca	0.40	4,436.8	4,775.2	4,418.0	4,023.2	4,587.2	6,298.0	8,366.0	10,152.0	8,084.0	9,118.0	11,374.0	18,292.4	21,262.8	16,299.6	6,832.0	138,319.2
Caliza	0.50	5,546.0	5,969.0	5,522.5	5,029.0	5,734.0	7,872.5	10,457.5	12,690.0	10,105.0	11,397.5	14,217.5	22,865.5	26,578.5	20,374.5	8,540.0	172,899.0
Arenisca	0.40	4,436.8	4,775.2	4,418.0	4,023.2	4,587.2	6,298.0	8,366.0	10,152.0	8,094.0	9,118.0	11,374.0	18,292.4	21,262.8	16,299.6	6,832.0	138,319.2
Caliza	26.00	262,424.5	233,096.5	220,326.6	194,634.6	195,520.0	304,278.0	411,814.0	375,154.0	195,050.0	87,420.0	98,183.0	720,275.0	372,005.0	790,023.0	216,540.0	4,676,774.2

Nota: Elaboración propia.

Tabla 23

Volúmenes de rocas, Secuencia III

	ESPESOR	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN									
DESCRIPCIÓN	(e) m	C-D m ³	D-E m ³	E-F m ³	F-G m ³	G-H m ³	H-I m ³	I-J m ³	J-K m ³	K-L m ³	L-LL m ³	LL-M m ³	M-N m ³	N-O m ³	O-P m ³	P-Q m ³	TOTAL m ³	
Estr.Guía 10	Arenisca	3.10	25,643.2	49,902.3	77,293.9	95,724.9	102,718.5	109,275.0	129,964.4	163,621.1	182,999.2	19,880.5	201,351.4	183,873.4	190,721.3	179,065.3	60,636.0	1,951,676.3
	Arenisca	2.30	19,025.6	37,024.3	57,347.1	71,021.7	76,210.5	81,075.0	96,425.2	121,396.3	135,773.6	147,556.5	149,394.2	136,422.2	141,502.9	132,854.9	44,988.0	1,448,017.9
	Arenisca	7.50	62,040.0	120,731.3	187,001.3	231,592.5	248,512.5	264,375.0	314,430.0	395,357.5	442,740.0	481,162.5	487,155.0	444,855.0	461,422.5	433,222.5	146,700.0	4,721,797.5
Estr.Guía 09	Arenisca	0.50	4,136.0	8,048.8	12,466.8	15,439.5	16,567.5	17,625.0	20,962.0	26,390.5	29,516.0	32,077.5	32,477.0	29,657.0	30,761.5	23,881.5	9,780.0	314,786.5
	Aren-Dolom	2.20	18,198.4	35,414.5	54,853.7	67,933.8	72,897.0	77,550.0	92,232.8	116,118.2	129,870.4	141,141.0	142,898.8	130,490.8	135,350.6	127,078.6	43,032.0	1,385,060.6
	Arenisca	1.90	15,716.8	30,585.3	47,373.7	58,670.1	62,956.5	66,975.0	79,655.6	100,283.9	112,160.8	121,894.5	123,412.6	112,696.6	116,893.7	109,749.7	37,164.0	1,196,188.7
	Arenisca	1.20	9,926.4	19,317.0	29,920.2	37,054.8	39,762.0	42,300.0	50,308.8	63,337.2	70,838.4	76,986.0	77,944.8	77,176.8	73,827.6	69,315.6	23,472.0	755,487.6
	Arenisca	1.40	11,580.8	22,536.5	34,906.9	43,230.6	46,389.0	49,350.0	58,693.6	73,893.4	82,644.8	89,817.0	90,935.6	83,039.6	86,132.2	80,868.2	27,384.0	881,402.2
	Arenisca	11.00	90,992.0	177,072.5	274,268.5	339,669.0	334,485.0	387,750.0	461,164.0	580,591.0	649,352.0	705,705.0	714,494.0	652,454.0	676,753.0	635,393.0	215,160.0	6,925,303.0
	Limolita	0.40	3,308.8	6,439.0	9,973.4	12,351.6	13,254.0	14,100.0	16,769.6	21,112.4	23,612.8	25,662.0	25,981.6	23,725.6	24,609.2	23,105.2	7,824.0	251,829.2
	Caliza	0.50	4,136.0	8,048.8	12,466.8	15,439.5	16,567.5	17,625.0	20,962.0	26,390.5	29,516.0	32,077.5	32,477.0	29,657.0	30,761.5	28,881.5	9,780.0	314,786.5
	Arenisca	0.40	3,308.8	6,439.0	9,973.4	12,351.6	13,254.0	14,100.0	16,769.6	21,112.4	23,612.8	25,662.0	25,981.8	23,725.3	24,609.2	23,105.2	7,824.0	251,829.2
	Arenisca	0.90	7,444.8	14,487.8	22,440.2	27,791.1	29,821.5	31,725.0	37,731.6	47,502.9	53,128.8	57,739.5	58,458.6	53,382.6	55,370.7	51,986.7	17,604.0	566,615.7
Estr.Guía 08	Limolita	0.80	6,617.6	12,878.0	19,946.8	24,703.2	26,508.0	28,200.0	33,539.2	42,224.8	47,225.6	51,324.0	51,963.2	47,451.2	49,218.4	45,210.4	15,648.0	503,658.4
	Arenisca	1.20	9,926.4	19,317.0	29,920.2	37,054.8	39,762.0	42,300.0	50,308.8	63,337.2	70,838.4	76,986.0	77,944.8	71,176.8	73,827.3	69,315.6	23,472.0	755,487.6
	Arenisca	0.90	7,444.8	14,487.8	22,440.2	27,791.1	29,821.5	31,725.0	37,731.6	47,502.9	53,128.8	57,739.5	69,453.6	53,382.6	55,370.7	51,987.7	17,604.0	566,615.7
	Arenisca	0.80	6,617.6	12,878.0	19,946.8	24,703.2	26,508.0	28,200.0	33,539.2	42,224.8	47,225.6	51,324.0	51,963.2	47,451.2	49,218.4	46,210.4	15,648.0	503,658.4
	Aren-Limolita	0.80	6,617.6	12,878.0	19,946.8	24,703.2	26,508.0	28,200.0	33,539.2	42,224.8	47,225.6	51,324.0	51,963.2	47,451.2	49,218.4	46,210.4	15,648.0	503,658.4
	Caliza	1.40	11,344.0	23,490.6	35,334.6	42,835.8	44,678.2	47,836.6	57,443.4	72,314.2	81,855.2	91,067.2	93,765.0	87,316.6	89,948.6	83,302.8	29,680.0	892,712.8
	Cliza-Dolom	0.70	5,922.0	11,745.3	17,667.3	21,417.9	22,339.1	23,918.3	28,721.7	36,157.1	40,927.6	45,533.6	46,882.5	43,658.3	44,974.3	41,651.4	14,840.0	446,356.4
	Arenisca	1.80	15,228.0	30,286.8	45,091.8	54,820.8	57,189.6	61,081.2	73,517.4	92,890.8	105,242.4	116,832.6	120,555.0	112,941.0	116,155.8	107,103.6	38,196.0	1,147,132.8
	Arenisca	2.10	17,766.0	35,334.6+D3	52,607.1	63,957.6	66,721.2	71,261.4	85,770.3	108,372.6	122,762.8	136,304.7	140,647.5	131,764.5	135,317.7	124,756.8	44,562.0	1,337,926.8
	Arenisca	0.80	6,768.0	13,460.8	20,040.8	24,364.8	25,417.6	27,147.2	32,674.4	41,284.8	46,774.4	51,925.6	53,580.0	50,196.0	51,530.8	47,507.6	16,976.0	509,648.8
	Arenisca	0.80	6,768.0	13,460.8	20,040.8	24,364.8	25,417.6	27,147.2	32,674.4	41,284.8	46,774.4	51,925.6	53,580.0	50,196.0	51,549.8	47,526.4	16,992.0	509,702.4
	Caliza	6.40	55,648.0	109,491.2	160,176.0	192,963.2	200,934.4	214,771.2	258,387.2	326,368.0	371,483.0	413,600.0	429,241.6	407,283.2	416,006.4	380,211.2	135,872.0	4,072,441.6
	Limolita	0.90	7,952.4	15,608.7	22,334.4	26,987.4	28,002.6	29,990.7	36,251.1	45,557.1	51,859.8	58,035.6	59,304.6	56,893.5	59,114.3	53,446.1	19,116.0	570,454.2
	Caliza	1.70	14,781.5	29,483.1	41,907.6	50,616.7	52,813.9	56,409.4	68,234.6	86,092.3	97,917.5	109,622.8	114,656.5	110,102.2	111,740.2	100,953.7	36,108.0	1,081,439.7
	Estr.Guía 07	Arenisca	0.30	2,523.9	5,202.9	7,346.1	8,868.9	9,291.9	9,940.5	12,027.3	15,185.7	17,272.5	19,288.8	20,205.3	19,500.3	19,775.3	17,815.4	6,372.0
Caliza		15.65	129,456.8	275,831.3	386,163.9	461,189.9	481,785.3	513,413.9	620,804.2	787,038.5	900,313.2	1,008,439.1	1,054,778.7	1,030,505.6	1,044,113.2	928,264.1	331,936.5	9,954,033.8
Arenisca		1.30	10,692.5	23,340.2	31,955.3	37,637.6	39,226.2	42,097.9	50,774.1	64,155.0	74,297.6	83,707.0	87,495.2	85,784.4	86,853.7	77,077.7	27,534.0	822,628.3
Estr.Guía 06	Arenisca	0.55	4,523.8	9,874.7	13,519.6	15,923.6	16,595.7	17,810.7	21,481.4	27,142.5	31,433.6	35,414.5	37,017.2	36,293.4	36,745.8	32,609.8	11,649.0	348,035.1
	Aren-Dolom	1.00	8,225.0	17,954.0	24,581.0	28,952.0	30,174.0	32,383.0	39,057.0	49,350.0	57,152.0	64,390.0	67,304.0	65,988.0	66,810.5	59,290.5	21,180.0	632,791.0
	Arenisca	0.80	6,580.0	14,363.2	19,634.8	23,161.6	24,139.2	25,906.4	31,245.6	39,480.0	45,721.6	51,512.0	53,843.2	52,790.4	53,410.8	47,394.8	16,944.0	506,157.6
	Aren-Dolom	2.50	20,562.5	44,885.0	61,452.5	72,380.0	75,435.0	80,957.5	97,342.6	123,375.0	142,880.0	160,975.0	168,260.0	164,970.0	166,967.5	148,167.5	52,950.0	1,581,860.0
	Arenisca	0.35	2,878.8	6,283.9	8,603.4	10,133.2	10,560.9	11,334.1	13,670.0	17,272.5	20,003.2	22,536.5	23,556.4	23,095.8	23,375.5	20,743.5	7,420.0	221,467.4
	Caliza	6.15	48,704.9	108,104.7	146,837.4	172,851.9	181,089.8	196,987.6	238,466.3	299,311.3	347,004.5	391,373.7	411,607.2	406,404.3	410,451.0	364,492.1	130,380.0	3,854,066.6
	Limolita	0.50	3,924.5	8,765.5	11,750.0	13,841.5	14,605.3	15,921.3	19,293.5	23,946.5	27,871.0	31,654.5	33,229.0	32,923.5	33,299.5	29,633.5	10,600.0	311,259.0
	Caliza	6.90	53,833.8	119,828.9	159,069.2	187,769.7	199,931.0	218,416.1	263,007.3	334,029.0	389,160.0	434,886.3	457,263.0	454,344.3	459,533.1	408,942.3	146,349.0	4,286,362.8
	Limolita	0.30	2,319.5	5,104.2	6,796.2	8,065.2	8,601.0	9,447.0	11,364.6	14,452.5	16,877.7	18,837.6	19,852.8	19,796.4	20,007.9	17,780.1	6,360.0	185,662.7
	Caliza	9.20	69,616.4	152,637.2	205,390.0	245,603.2	262,034.4	286,248.8	345,920.0	439,750.8	513,258.8	572,065.2	604,062.8	606,224.8	614,008.0	545,688.8	195,224.0	5,657,733.2

Nota: Elaboración propia.

Tabla 24

Volúmenes de rocas, Secuencia IV

DESCRIPCIÓN	ESPESOR (e) m	VOLUMEN C-D	VOLUMEN D-E	VOLUMEN E-F	VOLUMEN F-G	VOLUMEN G-H	VOLUMEN H-I	VOLUMEN I-J	VOLUMEN J-K	VOLUMEN K-L	VOLUMEN L-LL	VOLUMEN C-D	VOLUMEN C-D	VOLUMEN C-D	VOLUMEN C-D	VOLUMEN C-D	VOLUMEN TOTAL
Arenisca	3.0	22,137.0	43,287.0	59,361.0	78,114.0	106,173.0	116,184.0	135,783.0	167,790.0	179,352.0	172,866.0	162,714.0	121,119.0	104,904.0	89,676.0	25,380.0	1,584,840.0
Caliza	11.00	88,924.0	157,168.0	220,759.0	299,343.0	396,539.0	422,389.0	494,252.0	609,543.0	659,175.0	644,182.0	608,250.5	499,163.5	488,048.0	413,083.0	109,230.0	6,110,049.0
Arenisca	0.60	4,794.0	8,601.0	12,351.6	17,004.6	21,883.2	22,898.4	26,874.6	33,191.4	35,955.0	35,475.6	33,840.0	30,822.6	32,824.8	26,085.0	6,348.0	348,949.8
Caliza	6.50	51,324.0	93,941.3	139,155.3	189,104.5	236,151.5	245,927.5	289,614.0	358,657.0	389,207.0	386,457.5	369,655.0	337,272.0	358,351.5	286,100.8	71,565.0	3,802,483.8
Arenisca	1.80	14,043.6	26,056.8	41,031.0	54,482.4	65,057.4	67,595.4	79,693.2	99,235.8	107,865.0	107,357.4	103,212.0	94,752.0	100,420.2	80,116.2	20,448.0	1,061,366.4
Caliza	1.60	12,483.2	23,312.0	36,622.4	48,729.6	58,054.4	60,235.2	70,913.6	88,059.2	95,880.0	95,504.0	91,819.2	84,148.8	89,187.2	71,665.6	18,432.0	945,046.4
Arenisca	0.80	6,279.2	11,731.2	18,724.8	24,590.4	28,801.6	30,117.6	35,494.4	43,954.4	47,864.8	47,940.0	46,172.8	42,262.4	44,706.4	36,020.8	9,344.0	474,004.8
Caliza-Dolomía	2.50	19,740.0	37,247.5	59,572.5	77,667.5	90,240.0	94,000.0	110,802.5	137,122.5	149,342.5	149,812.5	144,877.5	133,127.5	140,412.5	114,327.5	30,000.0	1,488,292.5
Arenisca-Dolomía	0.60	4,681.2	8,967.6	14,410.2	18,696.6	21,657.6	22,588.2	26,564.4	32,881.2	35,814.0	36,039.6	34,911.6	32,091.6	33,811.8	27,551.4	7,356.0	358,023.0
Arenisca	0.80	6,166.4	11,956.8	19,213.6	24,928.8	28,876.8	30,117.6	35,419.2	43,841.6	47,752.0	48,052.8	46,548.8	42,788.8	45,082.4	36,735.2	9,808.0	477,288.8
Caliza	2.80	21,845.6	41,848.8	68,432.0	88,698.4	87,119.2	91,198.8	123,572.4	153,182.4	167,000.4	169,632.4	165,026.4	150,682.0	158,709.6	129,757.6	35,000.0	1,651,706.0
Lodolita	0.20	1,560.4	2,989.2	4,888.0	6,335.6	6,222.8	6,514.2	8,826.6	10,941.6	11,928.6	12,116.6	11,787.6	10,763.0	11,336.4	9,306.0	2,524.0	118,040.6
Caliza	2.50	19,505.0	37,365.0	61,100.0	79,665.0	78,255.0	81,427.5	110,332.5	136,770.0	149,107.5	151,457.5	147,345.0	134,537.5	141,705.0	118,087.5	32,350.0	1,479,010.0
Arenisca	1.30	10,203.7	19,613.1	32,260.8	41,609.1	46,436.0	48,269.0	57,067.4	70,937.1	77,658.1	79,124.5	77,108.2	70,692.7	74,542.0	62,322.0	17,186.0	785,029.7
Arenisca	1.40	10,988.6	21,121.8	34,742.4	44,809.8	50,008.0	51,982.0	61,457.2	76,393.8	83,631.8	85,211.0	83,039.6	76,130.6	80,276.0	67,116.0	18,760.0	845,668.6
Arenisca	0.50	3,924.5	7,543.5	12,408.0	16,003.5	17,860.0	18,565.0	21,949.0	27,283.5	29,868.5	30,432.5	29,657.0	27,189.5	28,670.0	23,970.0	6,710.0	302,034.5
Caliza	10.00	77,550.0	150,870.0	246,750.0	313,020.0	348,270.0	365,660.0	432,870.0	542,380.0	597,370.0	613,820.0	602,070.0	551,780.0	581,860.0	501,725.0	148,100.0	6,074,095.0

Nota: Elaboración propia.

Tabla 25

Volúmenes de rocas, Secuencia V

DESCRIPCIÓN	ESPESOR (e) m	VOLUMEN C-D m ³	VOLUMEN D-E m ³	VOLUMEN E-F m ³	VOLUMEN F-G m ³	VOLUMEN G-H m ³	VOLUMEN H-I m ³	VOLUMEN I-J m ³	VOLUMEN J-K m ³	VOLUMEN K-L m ³	VOLUMEN L-LL m ³	VOLUMEN LL-M m ³	VOLUMEN M-N m ³	VOLUMEN N-O m ³	VOLUMEN O-P m ³	VOLUMEN P-Q m ³	VOLUMEN TOTAL m ³
Arenisca	1.00	4,559.0	10,669.0	15,275.0	17,907.0	18,189.0	18,565.0	21,385.0	23,594.0	18,847.0	6,533.0	-	-	-	-	-	155,523.0
Caliza – Dolom	1.40	6,382.6	14,936.6	21,385.0	25,069.8	25,714.6	26,241.0	29,939.0	33,031.6	26,385.8	9,146.2	-	-	-	-	-	218,232.3
Caliza	5.00	22,677.5	53,697.5	76,845.0	89,300.0	91,650.0	94,235.0	107,395.0	118,792.5	95,880.0	33,722.5	-	-	-	2,914.0	1,840.0	788,949.0
Arenisca	0.50	2,373.5	5,381.5	7,708.0	8,977.0	9,188.5	9,423.5	10,810.0	11,938.0	9,724.3	3,520.3	-	-	-	658.0	560.0	80,262.6
Caliza	11.00	60,747.5	124,597.0	171,385.5	197,494.0	200,596.0	207,317.0	239,371.0	265,221.0	223,499.1	85,460.1	-	-	-	25,850.0	25,190.0	1,826,728.2
Arenisca	0.80	4,925.6	9,136.8	12,671.2	14,513.6	16,656.8	17,446.4	17,860.0	19,965.6	17,709.6	7,444.8	300.8	-	-	2,556.8	2,640.0	143,828.0
Arenisca	0.70	4,309.9	7,994.7	11,087.3	12,699.4	14,574.7	15,265.6	15,627.5	17,469.9	15,495.9	6,514.2	263.2	-	-	2,237.2	2,422.0	125,961.5
Caliza	14.00	87,843.0	166,803.0	230,958.0	261,884.0	323,078.0	350,056.0	331,632.0	405,328.0	478,366.0	267,148.0	28,952.0	-	13,432.6	93,050.6	42,256.0	3,080,787.2
Arenisca	0.30	2,241.9	3,722.4	5,146.5	5,823.3	8,051.1	8,840.7	7,614.0	10,137.9	14,635.8	9,362.4	1,184.4	-	1,692.0	3,792.9	1,830.0	84,075.3
Caliza	4.00	30,832.0	50,290.0	69,372.0	79,242.0	115,056.0	129,156.0	113,176.0	142,128.0	195,708.0	126,712.0	39,668.0	22,372.0	25,756.0	54,520.0	25,200.0	1,219,188.0
Limolita	0.10	792.0	1,269.0	1,757.8	2,082.1	3,012.7	3,337.0	3,285.3	4,380.4	5,339.2	3,266.5	1,132.7	615.7	784.9	1,527.5	654.0	33,236.8
Caliza	5.00	38,657.5	64,742.5	90,240.0	111,625.0	158,625.0	166,380.0	168,730.0	226,305.0	270,132.5	190,937.5	91,415.0	40,185.0	62,040.0	101,285.0	40,000.0	1,821,300.0
Arenisca	0.30	2,213.7	3,948.0	5,576.6	7,155.8	9,968.7	10,335.3	11,251.8	14,776.8	16,821.3	13,437.3	10,434.0	5,640.0	4,723.5	7,191.0	2,250.0	125,723.7
Caliza	6.00	43,428.0	85,446.0	118,369.5	150,799.5	206,424.0	221,934.0	249,570.0	313,443.0	347,283.0	299,484.0	245,904.0	139,872.0	126,054.0	159,330.0	47,640.0	2,754,981.0

Nota: Elaboración propia.

Tabla 26

Volúmenes por secuencia general (Secuencia VI) Volúmenes de rocas, Secuencia VI

DESCRIPCIÓN	ESPEJOR (e) m	VOLUMEN C-D m ³	VOLUMEN D-E m ³	VOLUMEN E-F m ³	VOLUMEN F-G m ³	VOLUMEN G-H m ³	VOLUMEN H-I m ³	VOLUMEN I-J m ³	VOLUMEN J-K m ³	VOLUMEN K-L m ³	VOLUMEN L-LL m ³	VOLUMEN LL-M m ³	VOLUMEN M-N m ³	VOLUMEN N-O m ³	VOLUMEN O-P m ³	VOLUMEN P-Q m ³	TOTAL m ³
Arenisca	3.00	10,293.0	27,354.0	41,454.0	44,415.0	43,428.0	49,068.0	58,515.0	47,517.0	14,946.0	282.0	-	-	-	-	-	337,272.0
Caliza	56.00	205,296.0	563,248.0	815,920.0	921,200.0	913,304.0	1,018,584.0	1,196,244.0	1,122,548.0	673,134.0	178,318.0	-	-	-	-	-	7,607,796.0
Caliza	5.50	46,013.0	55,319.0	80,135.0	90,475.0	89,699.5	100,039.5	117,488.3	110,250.3	82,203.0	33,605.0	-	-	-	-	-	805,227.5

Nota: Elaboración propia.

Tabla 27

Volúmenes de rocas, Secuencia VII

DESCRIPCIÓN	ESPESOR																
	(e) m	VOLUMEN C-D m ³	VOLUMEN D-E m ³	VOLUMEN E-F m ³	VOLUMEN F-G m ³	VOLUMEN G-H m ³	VOLUMEN H-I m ³	VOLUMEN I-J m ³	VOLUMEN J-K m ³	VOLUMEN K-L m ³	VOLUMEN L-LL m ³	VOLUMEN LL-M m ³	VOLUMEN M-N m ³	VOLUMEN N-O m ³	VOLUMEN O-P m ³	VOLUMEN P-Q m ³	VOLUMEN TOTAL m ³
Arenisca	5.00	5,875.0	25,850.0	37,835.0	17,860.0	-	-	19,270.0	-	-	-	-	-	-	-	-	125,960.0
Caliza	20.00	31,020.0	116,560.0	193,640.0	131,600.0	23,500.0	-	109,980.0	-	-	-	-	-	-	-	-	716,280.0
Arenisca	0.10	178.6	615.7	1,057.5	916.5	296.1	-	714.4	-	-	-	-	-	-	-	-	4,493.2
Caliza	5.00	9,165.0	31,255.0	53,932.5	50,642.5	18,800.0	-	38,775.0	-	-	-	-	-	-	-	-	241,345.0
Arenisca	15.00	34,192.5	106,102.5	172,725.0	176,250.0	95,880.0	20,445.0	155,100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	915,795.0
Caliza	35.00	105,280.0	304,325.0	467,180.0	468,825.0	411,250.0	337,225.0	429,721.0	53,016.0	-	-	-	-	-	-	-	3,080,192.0
Arenisca	1.00	3,478.0	9,118.0	13,724.0	14,476.0	14,076.5	15,298.5	15,463.0	4,465.0	-	-	-	-	-	-	-	108,711.0
Caliza	2.00	6,956.0	18,330.0	27,542.0	29,140.0	28,388.0	31,725.0	31,349.0	9,353.0	-	-	-	-	-	-	-	221,088.0

Nota: Elaboración propia.

3.3 Geología local del Sector Norte

El área estudiada tiene 32 hectáreas de extensión; se ubica en una ladera con pendientes moderadas y ubicada entre los 2,780 y 3,290 m.s.n.m. La ladera se halla en la margen izquierda de la quebrada Ojule, hacia la cual bajan en dirección oeste quebradas secundarias (ver Figura 35).

En el lugar afloran las mismas rocas del Sector Sur, esto es: rocas sedimentarias marinas y continentales de edad Jurásico superior a Terciario medio de la formación Arcurquina, deformados y cubiertos por piroclastos, ya descritos anteriormente. El lugar está de estratos de calizas principalmente que se hallan cubiertas por rocas piroclásticas. Las calizas se hallan intercaladas con niveles silico-clásticos(terrígenos) de areniscas limolitas y lodolitas calcáreas.

Los estratos tienen una dirección general NE-SW y buzan 28° - 32° NW; hacia el norte hay sectores donde el buzamiento es mayor (38° - 48°). También se aprecian estructuras de corrimiento o mega-slumps en ambas márgenes de la quebrada Oujle (ver Figuras 35, 36, 37).

3.3.1 Concepción estructural del yacimiento

El lugar es un monoclinal cuyas capas buzaban hacia el noroeste; no hay grandes variaciones en el espesor estratigráfico, en general permanecen constantes. Hacia el norte, donde termina la Secuencia B, el sector está en proceso de estudio, no se ha finalizado aún ni la cartografía, ni la columna estratigráfica; aparentemente hay una discordancia del tipo estructural (¿falla?) o estratigráfica que falta dilucidar con mayores observaciones de campo. Hacia el norte los buzamientos cambian bruscamente y eso es debido a la presencia de pliegues de corrimiento o mega-slumps (ver Figuras 36, 37, 38, 45).

Figura 35

Pliegues de corrimiento en ambos márgenes de la quebrada Ojule



Nota: Se aprecian accesos en preparación en el lado de las quebradas secundarias.
Imagen de Google Earth, 2022.
Fuente: Elaboración propia

Figura 36

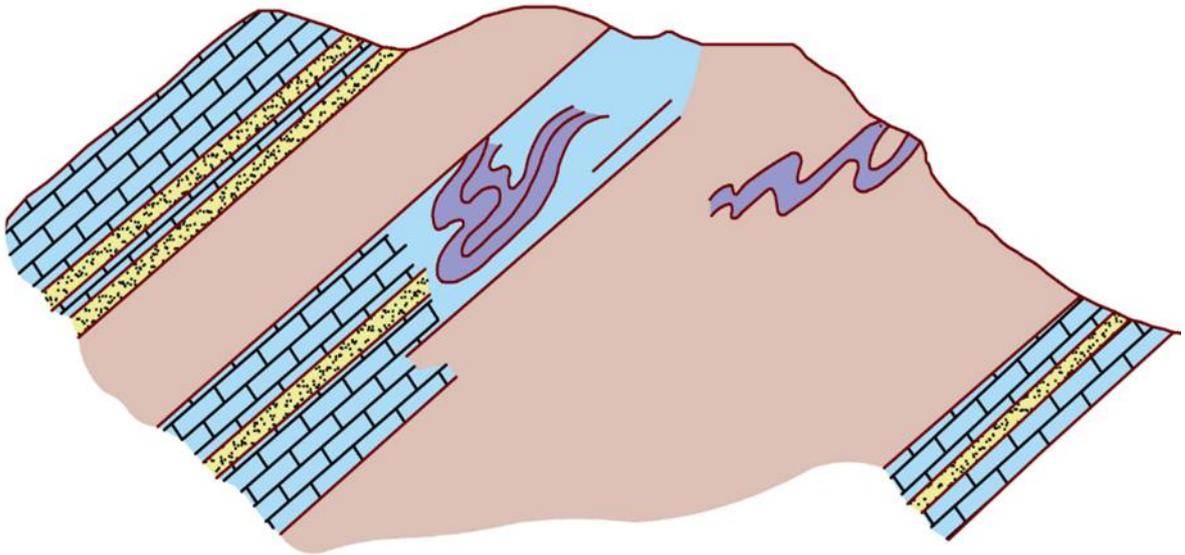
Secuencias calcáreas silico-clásticas de la Formación Arcurquina



Nota: Se señalan sectores con pliegues de corrimiento (megaslump); mirando al Norte. Véase el monoclinial
Fuente: Elaboración propia.

Figura 37

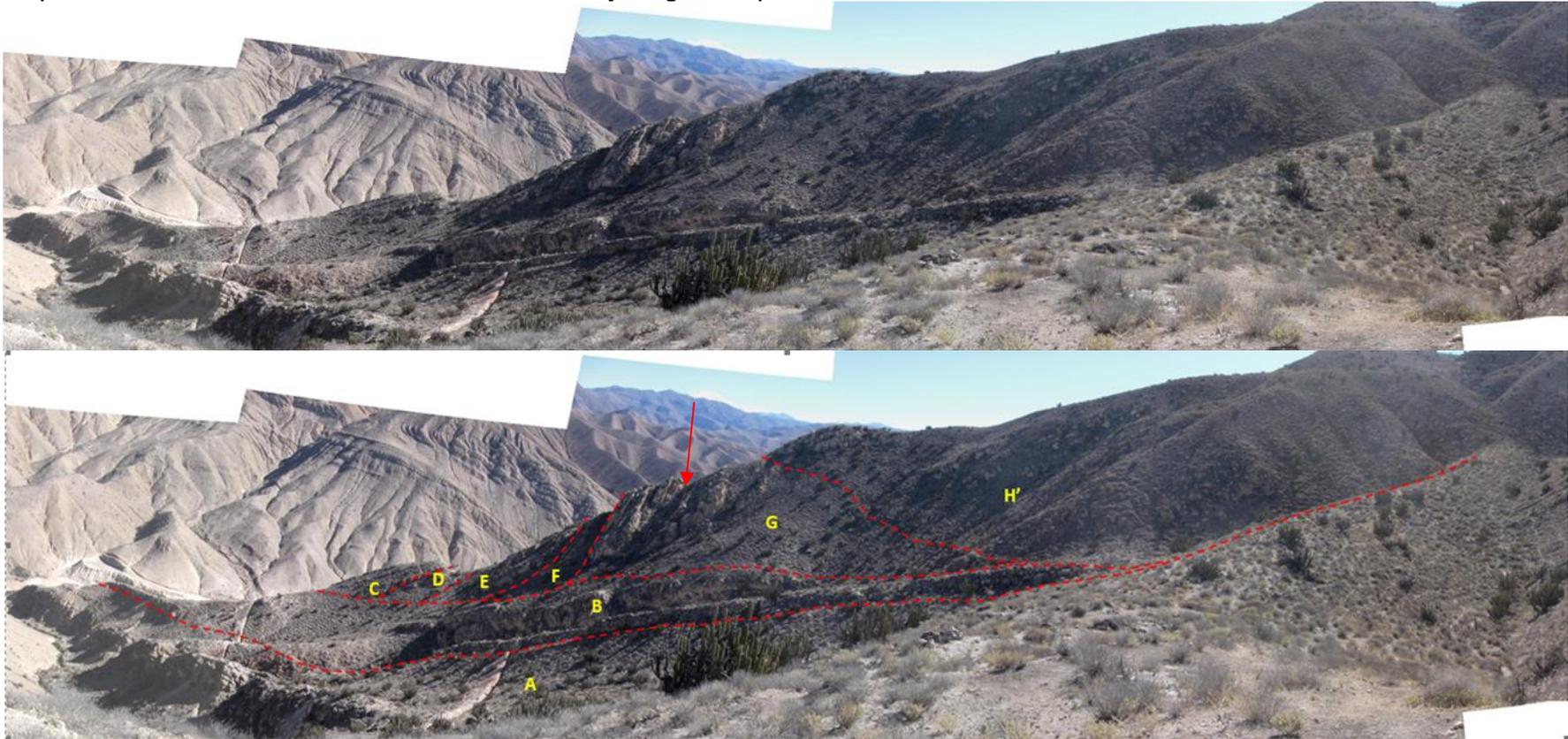
Concepción estructural del yacimiento, Sector Norte. Monoclinal.



Nota: Sectores donde aparecen pliegues de corrimiento (mega stumps) en la Formación Arcurquina. Vease la trinchera de exploración, mirando al este. Margen izquierda de la Quebrada Ojule
Fuente: Elaboración propia.

Figura 38

Concepción estructural del Sector Norte. Discordancias y mega-stump



Nota: Monoclinal con discordancias entre las Secuencias A,B,C,D,E,F,G,H. Al lado izquierdo, estratos buzando al noroeste. En la Secuencia G se aprecian estratos de alto buzamiento, pertenecen a un pliegue de corrimiento o slump (flecha roja).

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Columna estratigráfica

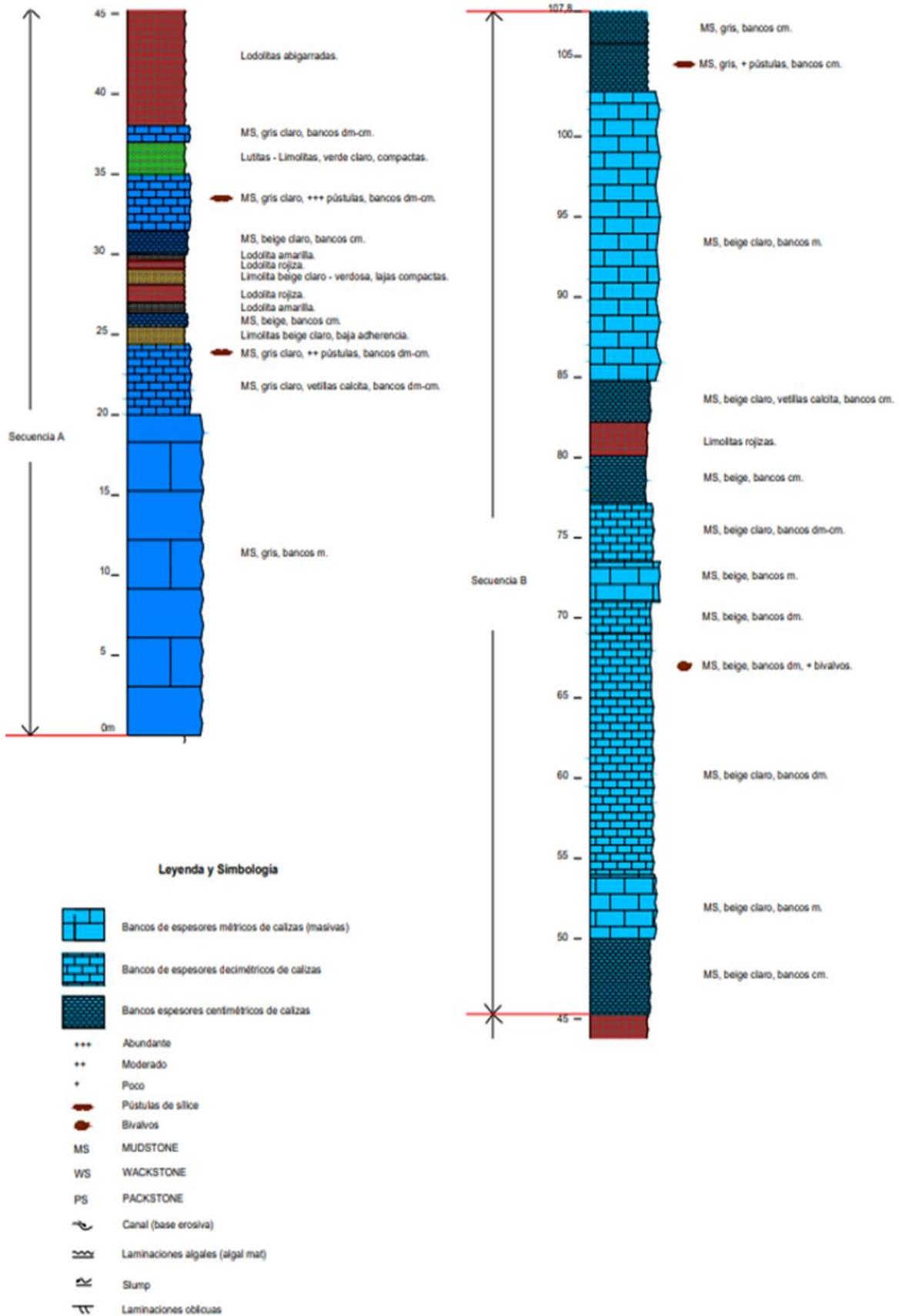
Siguiendo la metodología empleada en el Sector Sur, se midió el espesor de estratos. Se ubicó en las trincheras, quebradas y afloramientos, lugares donde se pudo medir con la wincha los espesores reales de los estratos. Se confeccionó una columna estratigráfica (ver Figura 39); a dicha columna se la ha dividido en 03 Secuencias denominadas: Caliza Base, Secuencia A y Secuencia B. Sólo se han hecho mediciones en las Secuencias A y B, sumando en total 107.8 m de espesor real estratigráfico (ver Figuras 40, 41, 42, 43, 44, 45)

Caliza Base: Se caracteriza por ser una alternancia de estratos de calizas de color gris y de espesores centimétricos con pústulas de sílice de color negro. Se aprecian en el lecho y en la margen izquierda de la quebrada secundaria a la quebrada Ojule. Tienen un estimado de más de 120 m. de espesor (ver Figura 40)

- **Secuencia A:** Se halla sobre la Caliza Base; se caracteriza por una alternancia de estratos mayormente de calizas con estratos terrígenos (lodolitas, areniscas); en la base comienzan con estratos de calizas grises a beige de espesores métricos y en el techo terminan en capas de lodolitas de colores abigarrados. Las calizas de la base se observan como relieves positivos o promontorios rocosos (peñas); mientras que las capas terrígenas constituyen los relieves de suave pendiente. Tiene 45 m de espesor.
- **Secuencia B:** Está encima de la Secuencia A. Se caracteriza por una alternancia de estratos mayormente de calizas con estratos terrígenos (lodolitas, areniscas); en la base comienzan con estratos de calizas grises a beige de espesores decimétricos y en el techo terminan en capas de lodolitas de colores rojizos. Tiene 37 m de espesor.

Figura 39

Columna Estratigráfica, Sector Norte



Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Cartografía Geológica

Teniendo como base el mapa topográfico a escala 1/2000 se han ubicado las secuencias descritas anteriormente. Las secuencias quedan representadas como franjas de diverso color (ver Plano 20).

Las trincheras (T-1, T-2, T-3, T4, T-5, T-6, T-7, T-4b, T-5b) que se muestran en las Figuras 40,41, 43, 44 y en el plano geológico han sido anteriormente excavadas y se han utilizado para recabar información de las litologías de los estratos estudiados en las diferentes secuencias.

3.3.4 Cálculo de los Recursos

Para calcular los volúmenes y tonelajes de las secuencias: Calizas Base, Secuencia A y Secuencia B, se ha seguido la misma metodología empleada para el Sector Sur; A partir del Plano Geológico elaborado a la escala 1/2000, se han obtenido diecisiete (17) Secciones Geológicas, mirando al noreste, separadas cada 50 metros y siguiendo la dirección 159°, que es más o menos perpendicular a la dirección general de las secuencias estratigráficas (ver Planos 21 - 37).

Nivel de Base: Para el cálculo de los volúmenes de roca, se ha considerado como nivel de base a la cota 2,692.8 m.s.n.m., que es el nivel inferior donde perforaciones anteriores (dato obtenido) corroboran la presencia de calizas.

En la Tabla 28 se tienen Volúmenes y Tonelajes Totales por Secuencias. Casi el 99% de total de las rocas son calizas; los terrígenos son poco más del 1% y solo sirven como capas guías para la ubicarse en alguna parte de la columna estratigráfica.

Tabla 28*Volúmenes y Tonelajes Totales por Secuencias, Sector Norte.*

Secuencia	Litología	Volumen total (m ³)	Tonelaje (Tm)
	Calizas	3,831,685.13	8,429,707.28
Secuencia A	Calizas	727,636.45	1,600,800.18
	Terrígenos + Calizas	1,448,069.05	2,461,717.38
Sub Total Calizas Secuencia A		4,559,321.57	10,030,507.45
	Calizas	1,603,121.85	3,526,868.06
	Terrígenos	83,578.51	142,083.47
Sub Total Calizas Secuencia B		1,603,121.85	3,526,868.06
	Caliza Base	52,850,868.32	116,271,910.30
Total Calizas Secuencias (A + B)		6,162,443.42	13,557,375.51

Fuente: Elaboración propia

Nota: El recuadro Terrígenos + Calizas, comprende a los tramos a lo largo de la columna estratigráfica donde las secuencias se corresponden con sucesivas etapas de transgresión y regresión marinas, antes de hacerse francas calizas; este fenómeno geológico da como resultado que existan en dichos tramos intercalaciones de estratos de areniscas/limolitas con calizas. En la Tabla 29 se resumen los volúmenes y tonelajes totales de las calizas en cada una de las secuencias.

Tabla 29*Resumen de Volúmenes y Tonelajes Totales. Sector Norte*

Secuencia	Volumen (m ³)	Tonelaje (TM)
Secuencia B	1,603,121.85	3,526,868.06
Secuencia A	4,559,321.57	10,030,507.45
Caliza Base	52,850,868.32	116,271,910.30
TOTAL:	57,410,189.89	126,302,417.75

Fuente: Elaboración propia

Nota. En las Tablas 30 y 31, se observan al detalle las Áreas y los Tonelajes Totales por Secuencias

Tabla 30

Áreas de las Secuencias por Secciones, Sector Norte

Sección	Secuencia	Litología		Área (m ²)
		Calizas		170.61
Sección A-A´	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	86.31
		+ Calizas	Terrígenos	262.69
	Secuencia B	Calizas		1,033.28
		Terrígenos		161.04
Caliza Base				33,655.59
Sección B-B´		Calizas		144.76
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	76.05
		+ Calizas	Terrígenos	252.43
	Secuencia B	Calizas		1,211.66
		Terrígenos		271.67
	Caliza Base			
Sección C-C´		Calizas		2,172.71
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	55.35
		+ Calizas	Terrígenos	107.84
	Secuencia B	Calizas		322.48
		Terrígenos		220.49
	Caliza Base			
Sección D-D´		Calizas		3,919.26
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	714.03
		+ Calizas	Terrígenos	790.26
	Secuencia B	Calizas		363.16
		Terrígenos		53.71
	Caliza Base			
Sección E-E´		Calizas		5,309.25
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	1,206.24
		+ Calizas	Terrígenos	2,366.35
	Secuencia B	Calizas		797.28
		Terrígenos		52.08
	Caliza Base			
Sección F-F´		Calizas		6,958.69
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	1,236.05
		+ Calizas	Terrígenos	2,639.19
	Secuencia B	Calizas		3,822.71
		Terrígenos		50.62
	Caliza Base			

Nota: Distancia constante entre secciones = 50 mts.

Fuente: Elaboración propia.

Continuación...

Sección	Secuencia	Litología		Área (m²)
		Calizas		8,848.63
Sección G-G´	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	1,303.64
		+ Calizas	Terrigenos	2,889.64
	Secuencia B	Calizas		4,958.01
		Terrígenos		321.99
	Caliza Base			59,589.59
Sección H-H´	Secuencia A	Calizas		7,400.85
		Terrígenos	Calizas	1,580.60
	+ Calizas	Terrigenos	3,336.64	
	Secuencia B	Calizas		5,648.97
		Terrígenos		279.41
Caliza Base			59,625.52	
Sección I-I´	Secuencia A	Calizas		6,213.95
		Terrígenos	Calizas	1,649.11
	+ Calizas	Terrigenos	3,529.15	
	Secuencia B	Calizas		4,713.74
		Terrígenos		271.66
Caliza Base			57,469.32	
Sección J-J´	Secuencia A	Calizas		5,100.63
		Terrígenos	Calizas	973.21
	+ Calizas	Terrigenos	2,170.40	
	Secuencia B	Calizas		2,072.46
		Terrígenos		0.00
Caliza Base			67,534.67	
Sección K-K´	Secuencia A	Calizas		3,279.39
		Terrígenos	Calizas	451.47
	+ Calizas	Terrigenos	760.02	
	Secuencia B	Calizas		233.75
		Terrígenos		0.00
Caliza Base			66,542.91	
Sección L-L´	Secuencia A	Calizas		3,423.59
		Terrígenos	Calizas	527.55
	+ Calizas	Terrigenos	1,018.32	
	Secuencia B	Calizas		664.54
		Terrígenos		0.00
Caliza Base			65,744.90	

Nota: Distancia constante entre secciones = 50 mts.

Fuente: Elaboración propia.

Continuación...

Sección	Secuencia	Litología		Área (m ²)
		Calizas		4,687.33
Sección LL-LL'	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	999.74
		+ Calizas	Terrígenos	1,806.06
	Secuencia B	Calizas		1,243.43
		Terrígenos		16.44
		Caliza Base		61,152.08
				4,807.01
Sección M-M'	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	864.92
		+ Calizas	Terrígenos	1,735.53
	Secuencia B	Calizas		1,057.87
		Terrígenos		1.62
		Caliza Base		62,856.80
				5,516.11
Sección N-N'	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	885.59
		+ Calizas	Terrígenos	1,718.55
	Secuencia B	Calizas		1,026.75
		Terrígenos		0.00
		Caliza Base		114,472.98
				6,111.92
Sección Ñ-Ñ'	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	1,354.71
		+ Calizas	Terrígenos	2,486.10
	Secuencia B	Calizas		2,031.15
		Terrígenos		0.00
		Caliza Base		95,719.45
				5,308.65
Sección O-O'	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	1,262.63
		+ Calizas	Terrígenos	2,447.11
	Secuencia B	Calizas		2,755.67
		Terrígenos		102.71
		Caliza Base		96,987.65

Nota: Distancia constante entre secciones = 50 mts.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31

Volúmenes de las Secuencias por Sectores, Sector Norte.

Intervalo	Secuencia	Litología		Volumen (m³)
Sección A-A'/B-B'		Calizas		7,884.10
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	4,058.90
		+ Calizas	Terrígenos	12,877.98
	Secuencia B	Calizas		56,123.46
		Terrígenos		10,817.85
	Caliza Base			
Sección B-B'/C-C'		Calizas		57,936.67
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	3,284.99
		+ Calizas	Terrígenos	9,006.74
	Secuencia B	Calizas		38,353.52
		Terrígenos		12,304.09
	Caliza Base			
Sección C-C'/D-D'		Calizas		152,299.25
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	19,234.56
		+ Calizas	Terrígenos	22,452.57
	Secuencia B	Calizas		17,141.12
		Terrígenos		6,855.08
	Caliza Base			
Sección D-D'/E-E'		Calizas		230,712.75
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	48,006.75
		+ Calizas	Terrígenos	78,915.25
	Secuencia B	Calizas		29,011.00
		Terrígenos		2,644.75
	Caliza Base			
Sección E-E'/F-F'		Calizas		306,698.50
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	61,057.25
		+ Calizas	Terrígenos	125,138.50
	Secuencia B	Calizas		115,499.75
		Terrígenos		2,567.50
	Caliza Base			
Sección F-F'/G-G'		Calizas		395,182.93
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	63,492.25
		+ Calizas	Terrígenos	138,220.75
	Secuencia B	Calizas		219,518.00
		Terrígenos		9,315.25
	Caliza Base			

Nota: Distancia constante entre secciones = 50 mts.

Fuente: Elaboración propia

Continuación...

Intervalo	Secuencia	Litología	Volumen (m ³)	
Sección G-G'/H-H'		Calizas	406,236.93	
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	72,106.00
		+ Calizas	Terrígenos	155,657.00
	Secuencia B	Calizas		265,174.50
		Terrígenos		15,035.00
		Caliza Base		2,980,377.87
Sección H-H'/I-I'		Calizas	340,370.00	
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	80,742.75
		+ Calizas	Terrígenos	171,644.75
	Secuencia B	Calizas		259,067.75
		Terrígenos		13,776.75
		Caliza Base		2,927,371.12
Sección I-I'/J-J'		Calizas	282,864.50	
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	65,558.00
		+ Calizas	Terrígenos	142,488.75
	Secuencia B	Calizas		169,655.00
		Terrígenos		6,791.50
		Caliza Base		3,125,099.75
Sección J-J'/K-K'		Calizas	209,500.50	
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	35,617.00
		+ Calizas	Terrígenos	73,260.50
	Secuencia B	Calizas		57,655.25
		Terrígenos		0.00
		Caliza Base		3,351,939.50
Sección K-K'-L-L'		Calizas	167,574.50	
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	24,475.50
		+ Calizas	Terrígenos	44,458.50
	Secuencia B	Calizas		22,457.25
		Terrígenos		0.00
		Caliza Base		3,307,195.25
Sección L-L'/LL-LL'		Calizas	202,773.00	
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	38,182.25
		+ Calizas	Terrígenos	70,609.50
	Secuencia B	Calizas		47,699.25
		Terrígenos		411.00
		Caliza Base		3,172,424.50

Nota: Distancia constante entre secciones = 50 mt

Fuente: Elaboración propia.

Continuación...

Intervalo	Secuencia	Litología		Volumen (m ³)
Sección LL-LL'/M-M'		Calizas		237,358.50
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	46,616.50
		+ Calizas	Terrígenos	88,539.75
	Secuencia B	Calizas		57,532.50
		Terrígenos		451.50
	Caliza Base			
Sección M-M'/N-N'		Calizas		258,078.00
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	43,762.75
		+ Calizas	Terrígenos	86,352.00
	Secuencia B	Calizas		52,115.50
		Terrígenos		40.50
	Caliza Base			
Sección N-N'/Ñ-Ñ'		Calizas		290,700.75
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	56,007.50
		+ Calizas	Terrígenos	105,116.25
	Secuencia B	Calizas		76,447.50
		Terrígenos		0.00
	Caliza Base			
Sección Ñ-Ñ'/O-O'		Calizas		285,514.25
	Secuencia A	Terrígenos	Calizas	65,433.50
		+ Calizas	Terrígenos	123,330.25
	Secuencia B	Calizas		119,670.50
		Terrígenos		2,567.75
	Caliza Base			

Nota: Distancia constante entre secciones = 50 mt

Fuete: Elaboración propia.

El propietario ha llevado a cabo varios trabajos de exploración, a saber: trincheras, planos y secciones geológicas, muestreos superficiales, perforaciones y muestreo; esta información ha sido consultada en la presente investigación.

3.3.5 Muestreo del Sector Norte

En el presente trabajo no se ha realizado el muestreo de los niveles de calizas; se toman algunos de los resultados de leyes de los muestreos de trincheras y de afloramientos que se hicieran tiempo atrás por la compañía propietaria de la concesión.

Tabla 32.

Reporte de leyes, Sector Norte.

Secuencia	Litología	SiO ₂ (%)	Ca CO ₃ (%)	Mg CO ₃ (%)
Secuencia B	Calizas	7,26	86,72	1,66
	Terrigenos	21,46	64,17	2,26
Secuencia A	Calizas	8,25	84,16	2,47
	Terrigenos	23,80	60,87	2,64

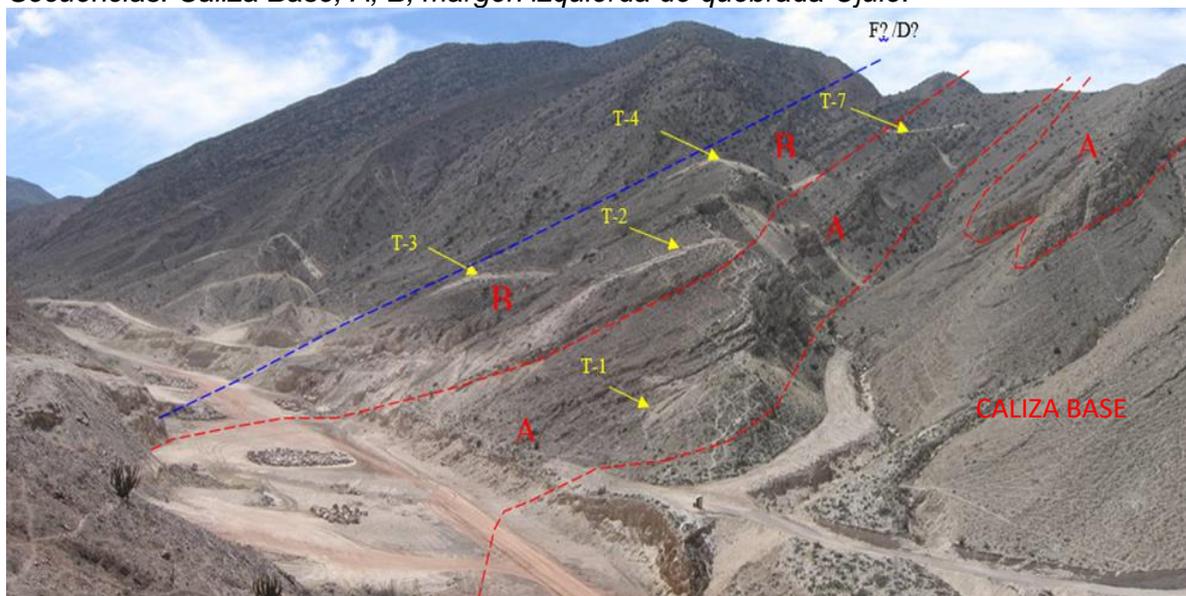
Fuente: Elaboración propia

No se tienen valores reportados de análisis de muestras de la Secuencia Caliza Base. Las leyes reportadas de la Tabla 33, son información recopilada del análisis de las muestras que se han extraído de las trincheras T-1, T-2, T-3, T-4 y de los afloramientos. Los valores de carbonato de calcio en las calizas son mayores al 80%, lo que las convierte en potencialmente explotables.

En algunas trincheras hay sectores que han sido excavados siguiendo la inclinación de las capas, por lo que un número apreciable de muestras están sobre el mismo techo del estrato; estos valores si bien son útiles para apreciar la variación lateral de las leyes, no lo son para ver la variación vertical de las mismas a lo largo del espesor del estrato

Figura 40

Secuencias: Caliza Base, A, B; margen izquierda de quebrada Ojule.

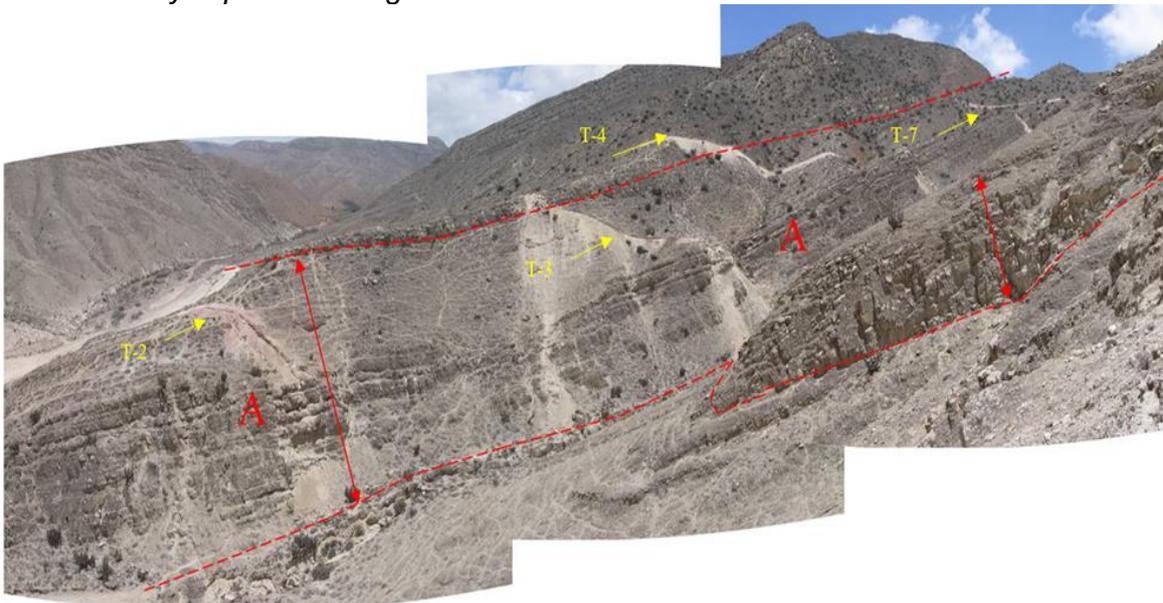


Nota: Véanse las trincheras que atraviesan a la Secuencia A y a la Secuencia B.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 41

Secuencia A y espesor estratigráfico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 42

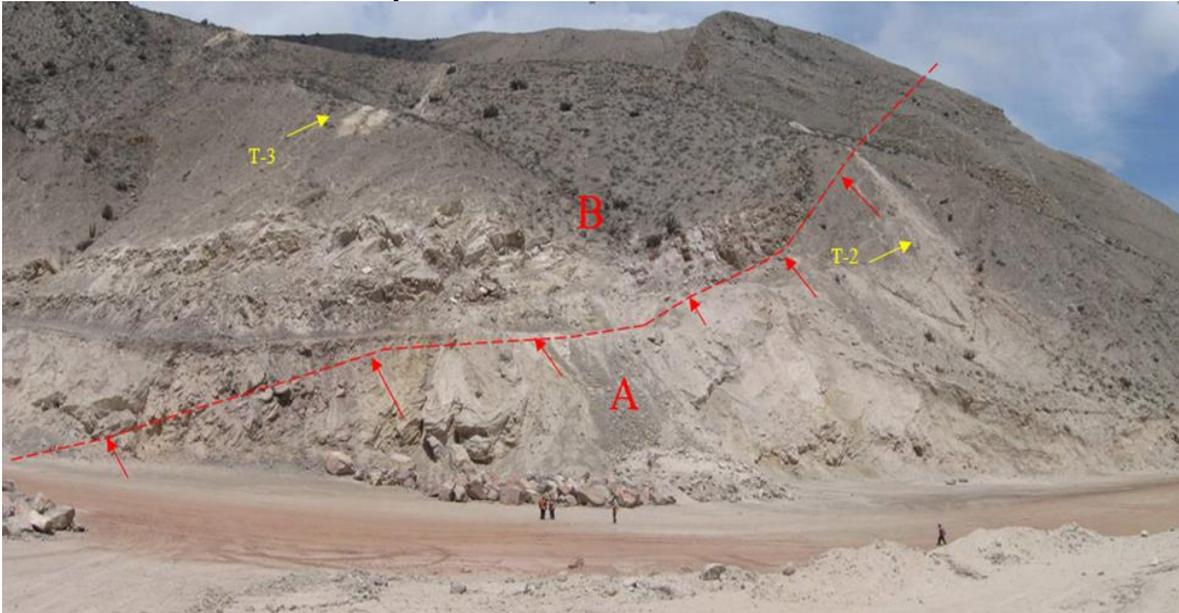
Secuencia A; se señala la trinchera T-2.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 43

Contacto entre Secuencias A y B; se señala trinchera T-3.



Nota: Estratos de calizas de espesores métricos de la Formación Arcurquina; en líneas segmentadas de color rojo, se señala la base de la Secuencia B. Mirando el sureste.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 44

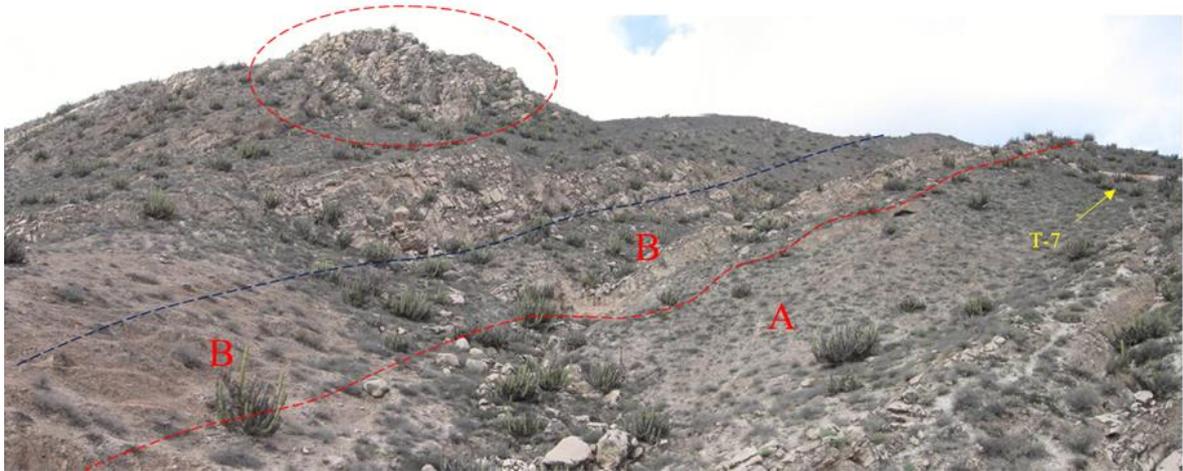
Probable tope de la Secuencia B (en azul): falla?/discondancia?



Fuente: Elaboración propia.

Figura 45

Estructura de corrimiento (mega-slump)



Nota: En la parte alta, los estratos de calizas tienen mayor buzamiento y están plegadas

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Geología local del Sector Noroeste

El área estudiada tiene 36 hectáreas de extensión; se ubica en una ladera con altas pendientes, y ubicada entre los 2,880 y 3,100 m.s.n.m.

Es un promontorio rocoso, a manera de una colina ovalada y al lado de la carretera en la margen izquierda de una quebrada principal por donde pasa la carretera de acceso. (Ver Figura 46).

En el lugar afloran las mismas rocas del Sector Norte y Sector Sur, esto es: rocas sedimentarias marinas y continentales de edad Jurásico superior a Terciario medio de la formación Arcurquina, deformados y cubiertos por piroclastos, ya descritos anteriormente. Al igual que los sectores Norte y Sur, el lugar está compuesto por estratos de calizas principalmente y que se hallan intercalados con niveles silico-clásticos (terrígenos) de areniscas limolitas y lodolitas calcáreas.

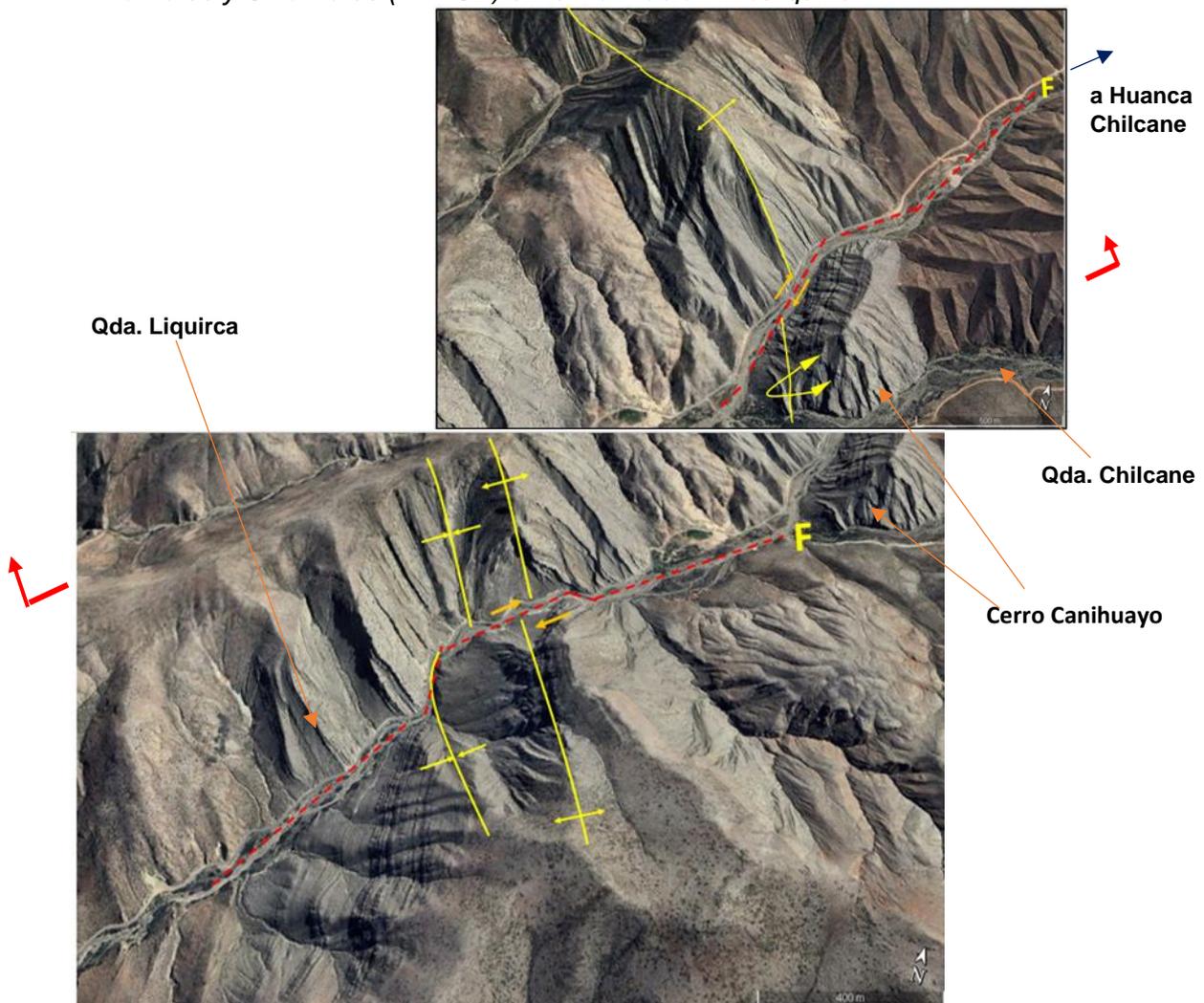
Los estratos tienen una dirección general NE-SW y buzamiento 21° - 85° NE. Estos valores tan variados de buzamientos se explican por las discordancias angulares que se presentan y porque los buzamientos pertenecen a los flancos de un anticlinal asimétrico. No hay cubierta de piroclastos el Grupo Tacaza

3.4.1 Concepción estructural del yacimiento

El lugar es un anticlinal asimétrico con plano axial inclinado hacia el noreste; los estratos del flanco este buzanan entre 21° - 50° NE y el flanco oeste de dicho pliegue, buza hasta 85° NE. Este alto buzamiento se aprecia en el extremo suroeste del lugar, al lado de la carretera de acceso (ver Figura 47).

Figura 46

Anticlinales y Sinclinales (NW-SE) en la Formación Arcurquina.

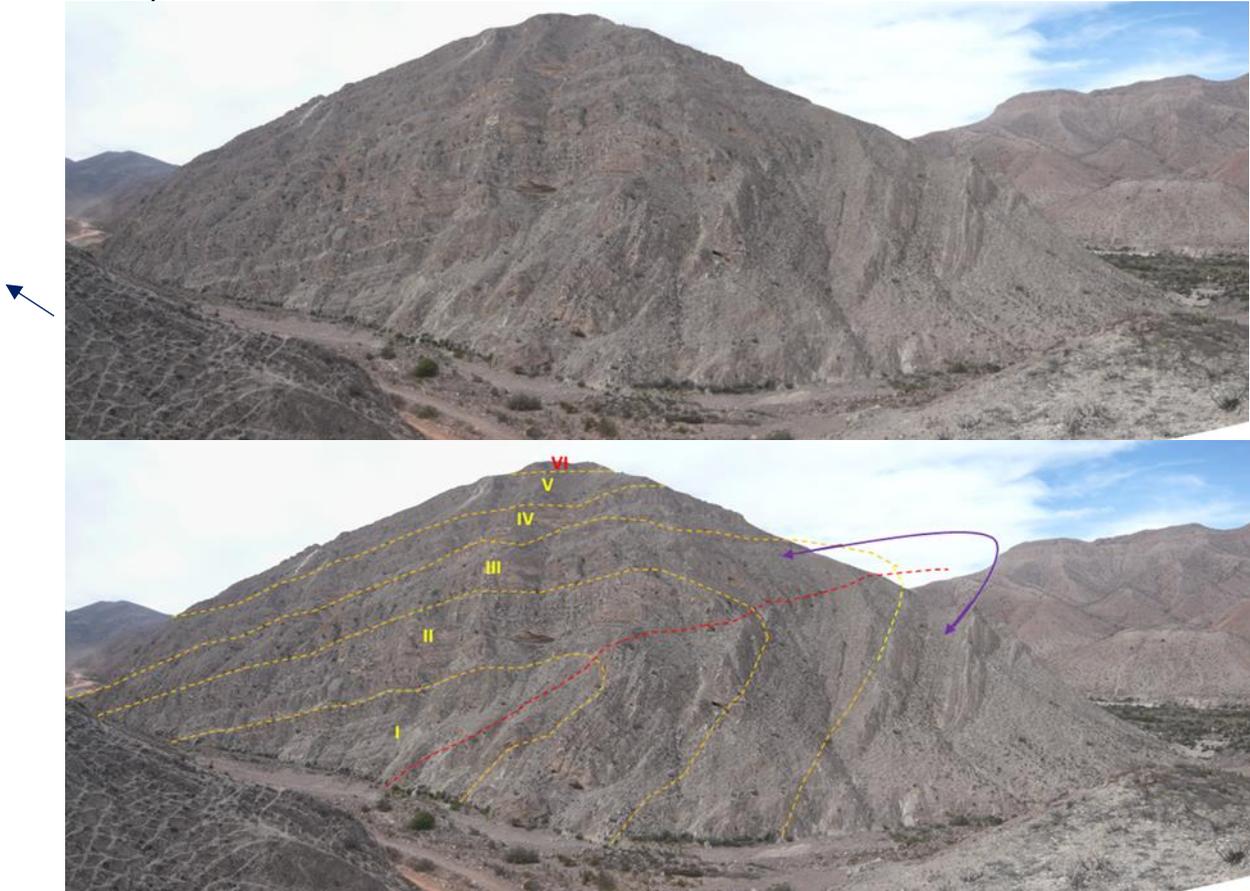


Nota: Se indica con flechas rojas la ubicación de una sección geológica

Fuente: Elaboración propia.

Figura 47

Concepción Estructural del Sector Noroeste



Nota: Cerro Cañihuayo; ver la traza (en rojo) del plano axial asimétrico inclinado.

En primer plano la carretera hacia Huanca por la margen izquierda de la quebrada Liquirca; detrás del cerro la quebrada Chilcane. Vista al sureste.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Estereograma del plano axial y del eje del anticlinal

En el plano geológico se muestran registros de campo de la dirección y buzamiento de los estratos en ambos flancos del anticlinal; también se ha dibujado la traza del plano axial del anticlinal y por las charnelas de los pliegues. En el plano geológico se observa que cuando dicha traza pasa por puntos de igual cota, podemos hallar la dirección promedio del plano axial (348°). Con estos datos y haciendo uso de la proyección estereográfica (Red de Wulff), se han obtenido los estereogramas del Plano axial y del Eje del anticlinal, tal como se muestra en la siguiente Figura

Figura 48

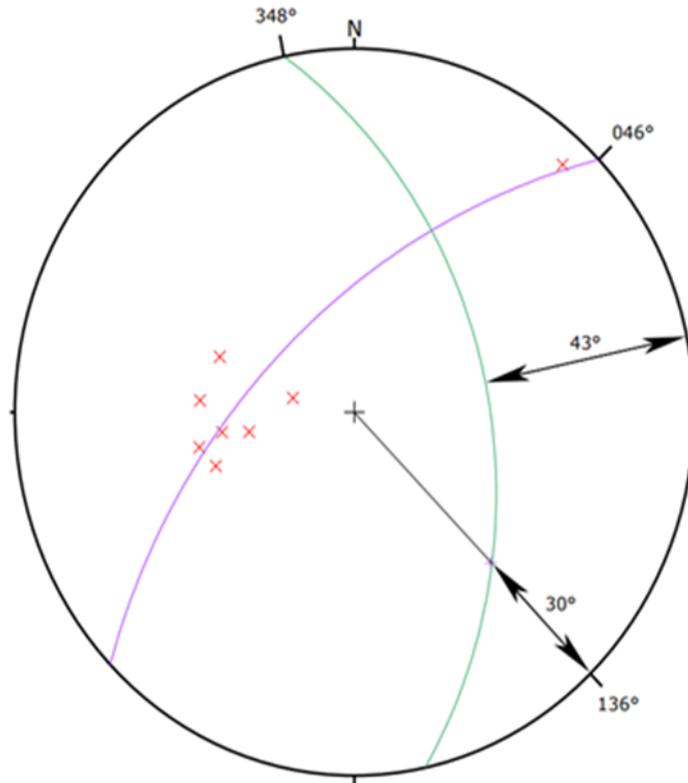
Estereograma: Plano Axial y del Eje del Anticlinal, Sector Noroeste.

Datos de campo (*)

Estratos	Dirección	Buzamiento
1	352°	43°
2	350°	35°
3	004°	49°
4	021°	49°
5	348°	50°
6	350°	47°
7	012°	21°
8	132°	85°

(*) ubicados en el Plano Geológico

Nota: Los puntos en rojo son los polos de los planos



Symbol	Feature
x	Pole Vectors

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
3		60	316	CICLÓGRAFA
4		47	78	PLANO AXIAL

Eje del anticlinal : 30°/136°

Plano Axial : 348°/43°

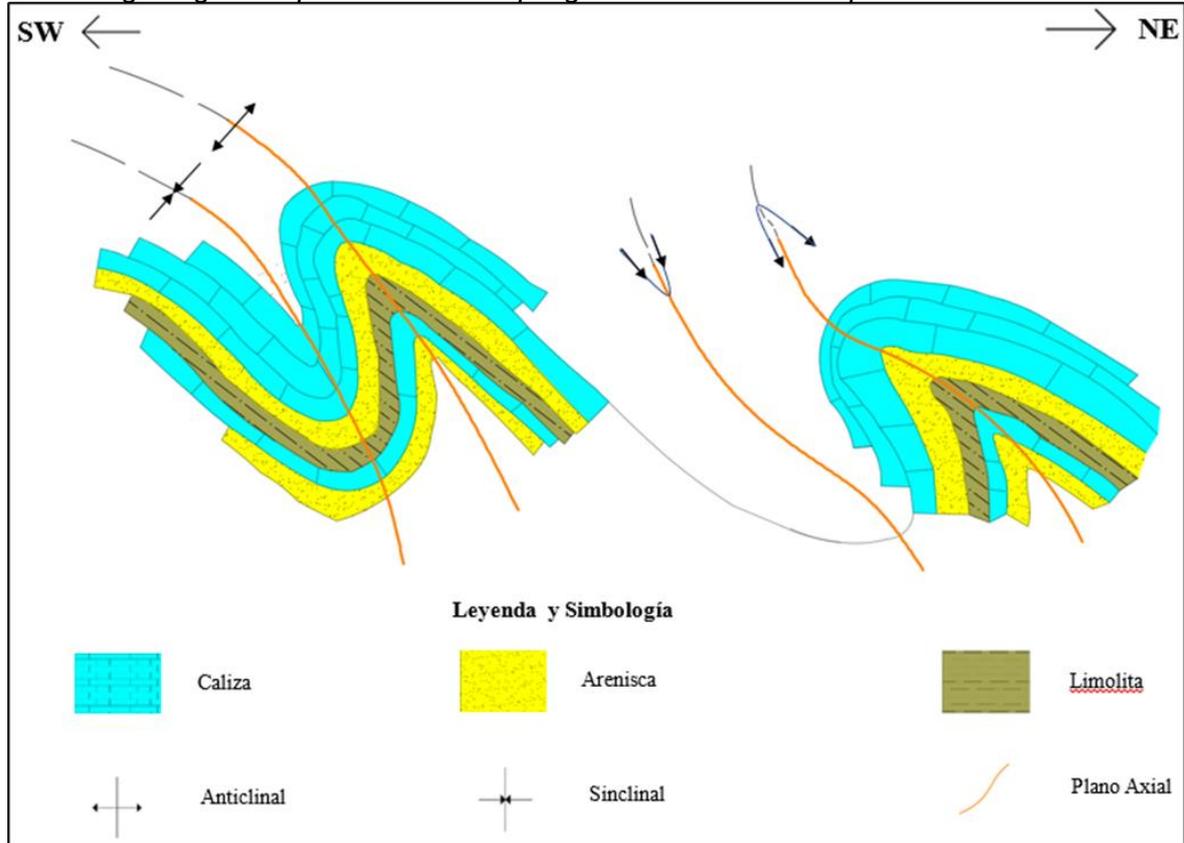
Nota: El eje anticlinal tiene un ángulo de inmersión (plunge) de 30° en la dirección 136° esto es hacia el SE y el plano axial tiene una dirección y buzamiento de 348°/43°, o sea que buza hacia el NE; corroborandose estas conclusiones en el Plano Geológico y en las Secciones Geológicas.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 49 es una sección esquemática cuya ubicación se muestra en la Figura 46. Se puede observar que se trata de varios pliegues con planos axiales inclinados hacia el noreste

Figura 49

Sección geológica esquemática de los pliegues asimétricos con planos axiales inclinados

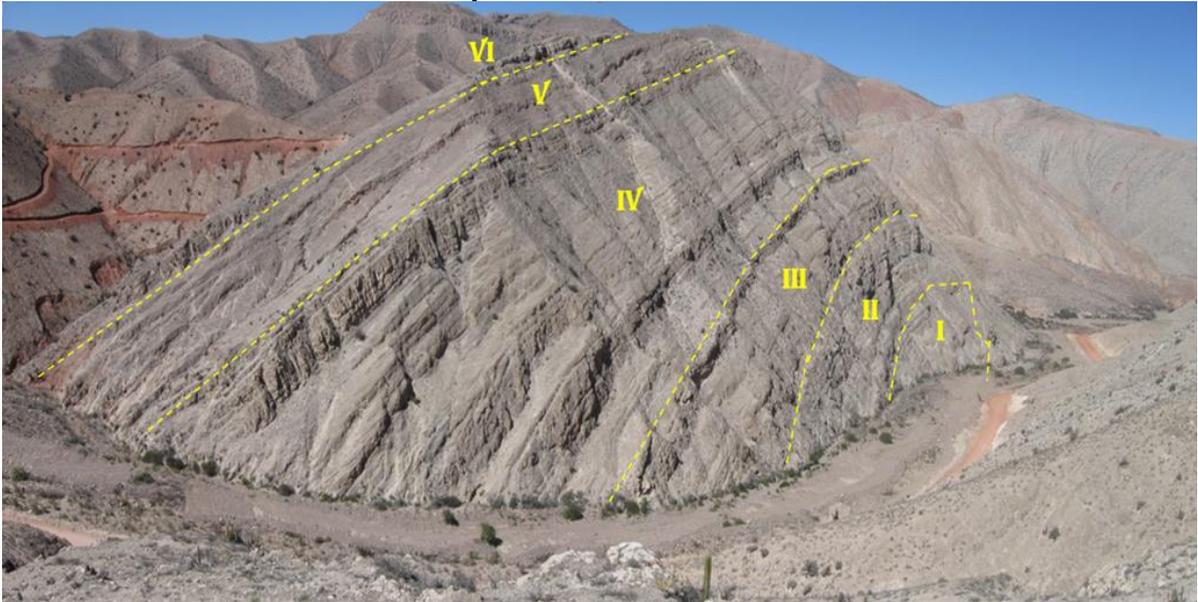


Nota: Los planos axiales buzcan hacia el noreste; la ubicación de la sección está en la Figura 46.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 50

Anticlinal asimétrico, Cerro Canihuayo, Sector Noroeste.



Nota: Se indican los límites de las secuencias I, II, III, IV, V, VI. Veanse las trochas de acceso a antiguas perforaciones; la secuencia IV tiene el mayor espesor. Vista al suroeste.

Fuente: Elaboración propia

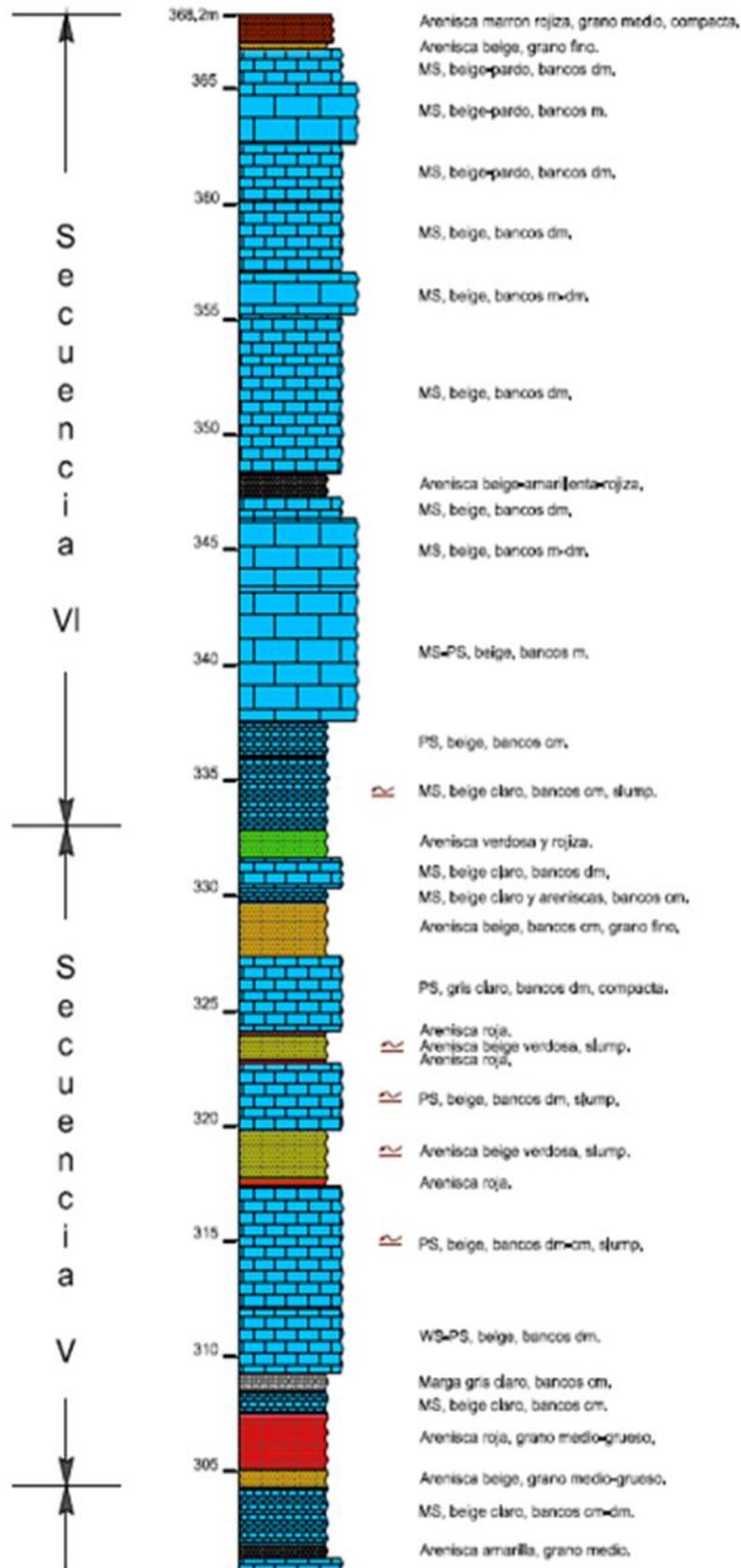
3.4.3 Columna estratigráfica

Siguiendo la metodología empleada en los sectores Norte y Sur y a lo largo de la base del afloramiento que está frente a la carretera que va hacia Huanca, se midió el espesor real de los estratos.

Se hizo el levantamiento de una columna estratigráfica, registrándose en total 368.2 m.; a la columna se la ha dividido en seis (06) Secuencias denominadas I, II, II, IV, V, VI (ver Figura 51).

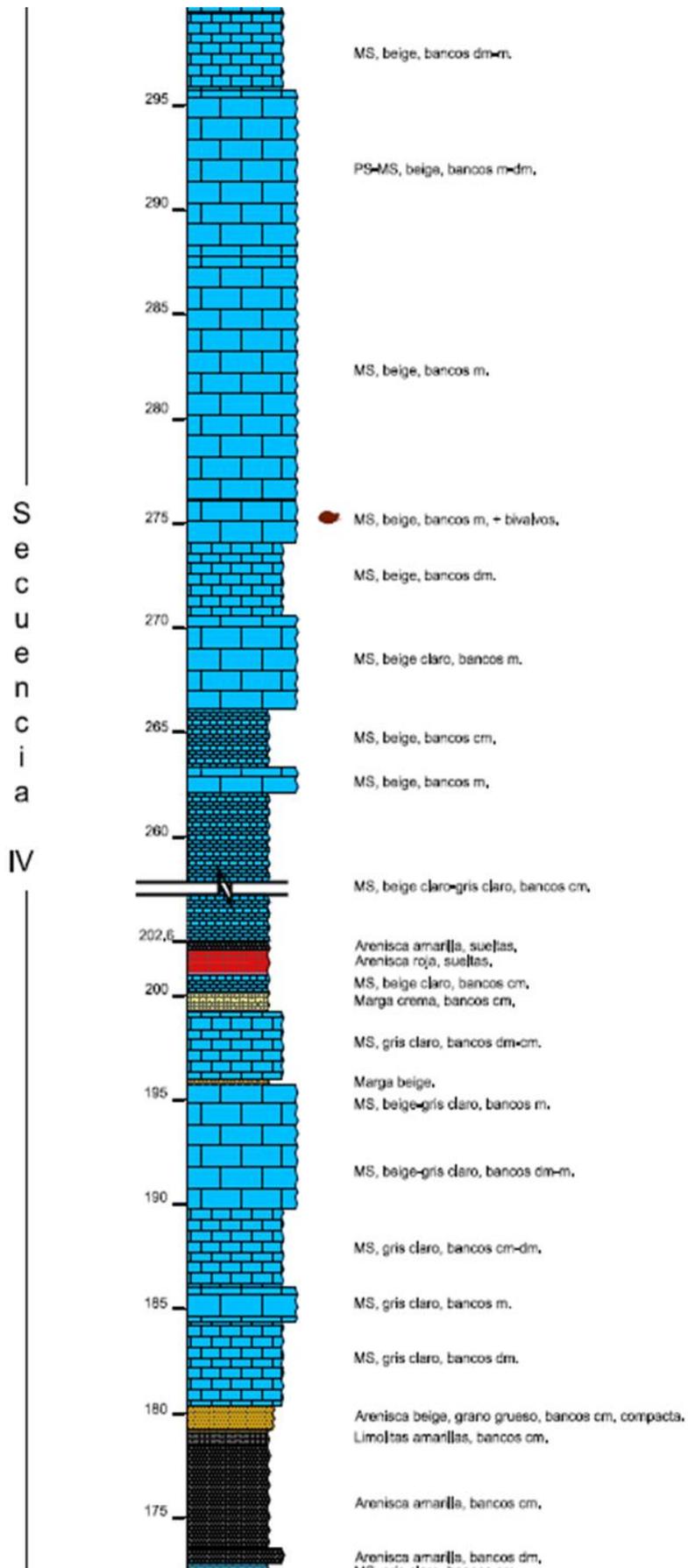
Figura 51

Anticlinal asimétrico, Cerro Canihuayo, Sector Noroeste 1

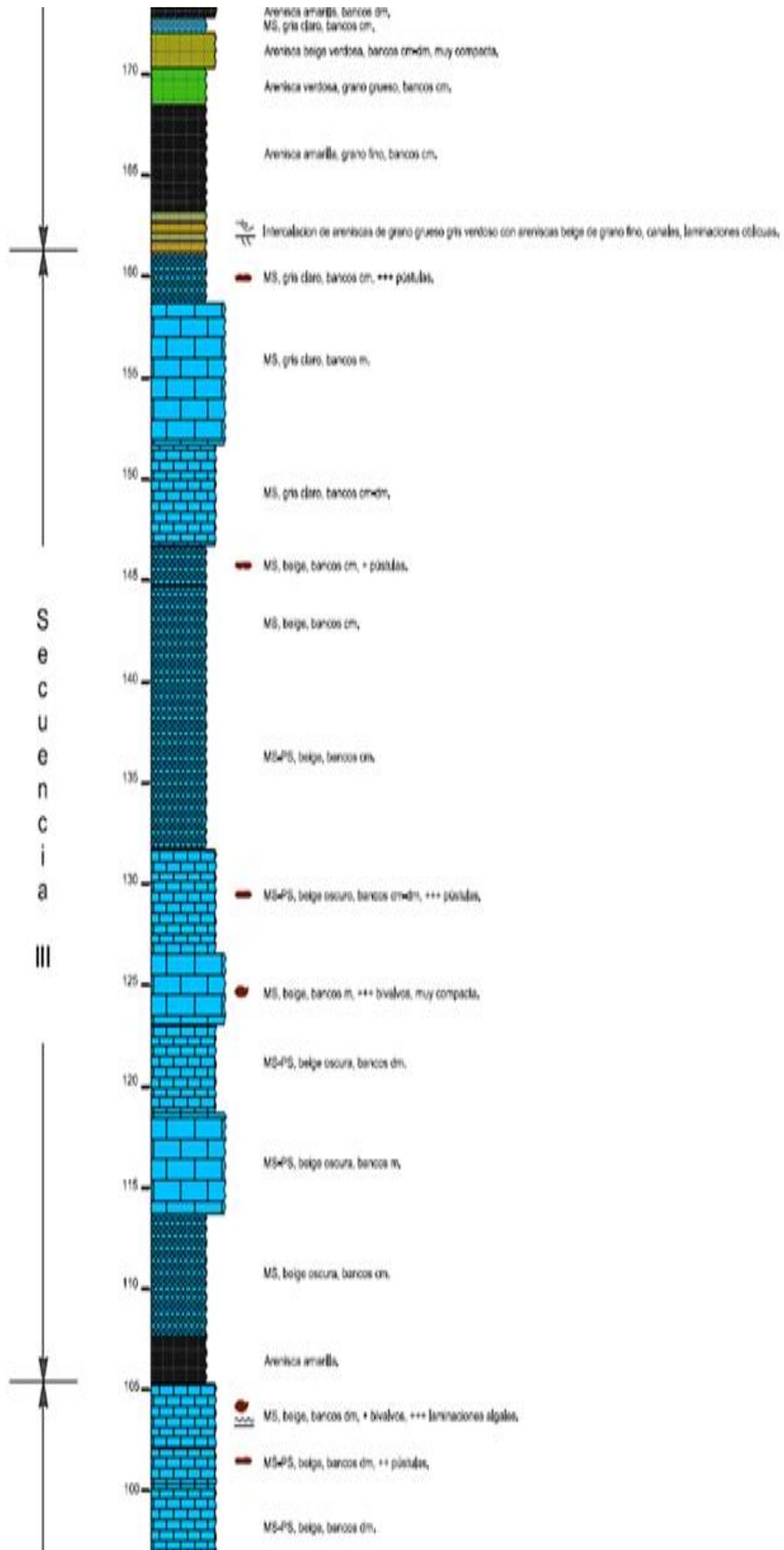


Fuente: Elaboración propia

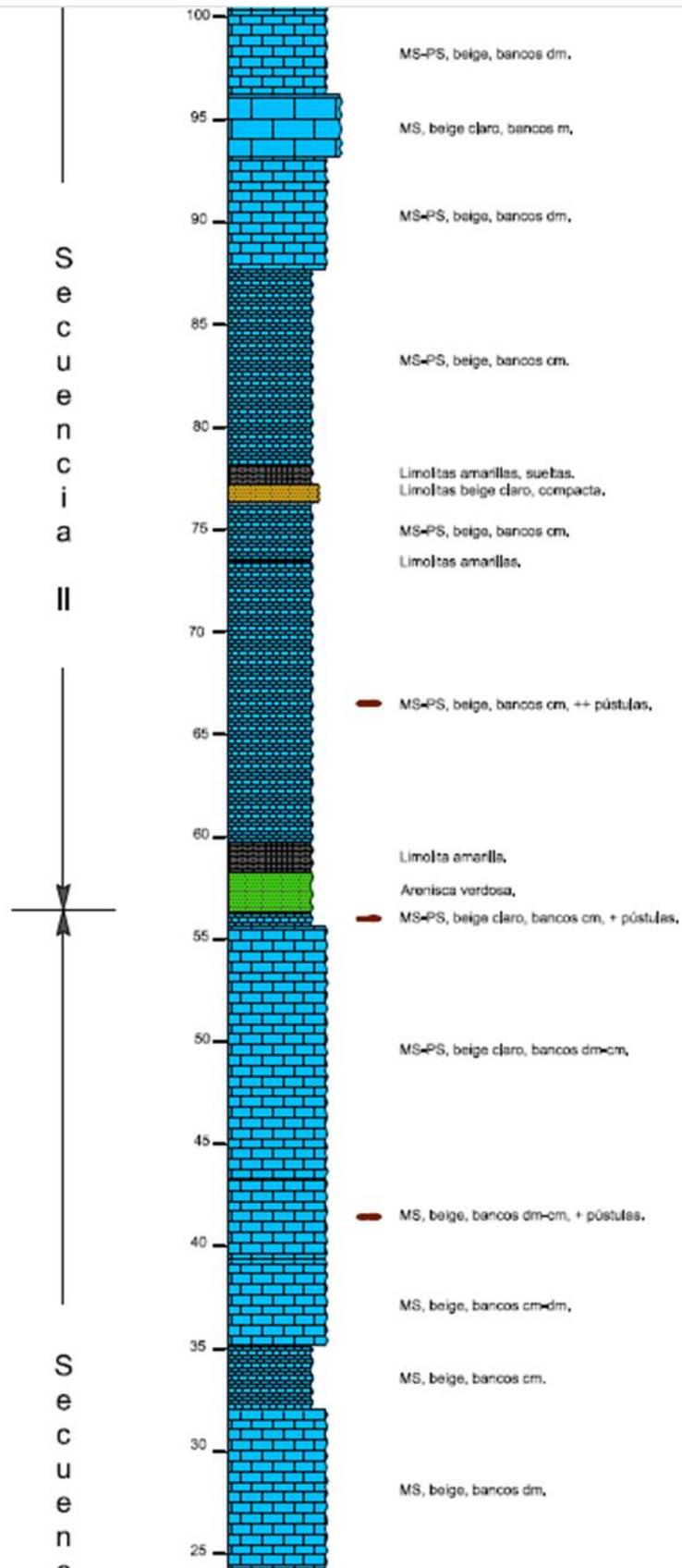
Continuación:



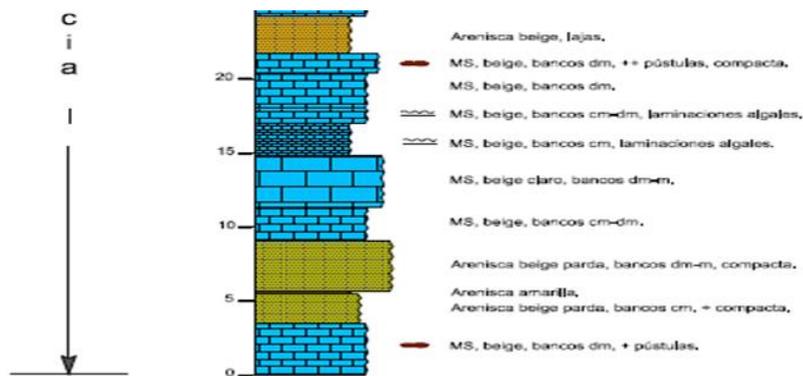
Continuación:



Continuación:



Continuación:



3.4.4 Descripción de las Secuencias

Secuencia I

Conformada por intercalaciones de areniscas de tonalidades beige, pardas, marrones, con calizas beige del tipo mudstone en bancos de espesores decimétricos a métricos mayormente; las calizas constituyen la mayor proporción.

La secuencia culmina en estratos de calizas de 1.0 m. en capas de grosores centimétricos. Al inicio hay una intercalación de eventos transgresivos y regresivos; más de la mitad culmina en un evento marcadamente transgresivo. Tiene un espesor total de 56.0 m.

Secuencia II

Comienza con capas de areniscas verdosas de 2 m. de espesor y al tope culmina bancos de calizas de espesores decimétricos. En esta secuencia las calizas son del tipo mudstone, packstone y constituyen casi la totalidad de la secuencia; en la base tienen espesores centimétricos y hacia las partes más superiores de la columna, culminan en calizas de espesores mayores: decimétricos a métricos. Es una secuencia transgresiva con dos períodos regresivos de corta duración. Tiene un espesor total de 49.0 m.

Secuencia III

Comienza con un estrato de arenisca de color amarillo de 2 m. de espesor; el resto de la secuencia está compuesta por calizas de espesores centimétricos, decimétricos y métricos; el tope culmina en 2.0 m. de calizas de espesores centimétricos. Se trata de una secuencia transgresiva con un corto período regresivo en la base. Tiene un espesor total de 56.0 m.

Secuencia IV

En la base hay 20 m de areniscas de colores amarillos, verdes, beigs, en bancos centimétricos a decimétricos; luego continúan, casi en su totalidad, estratos de calizas del tipo mudstone y packstone de espesores centimétricos, decimétricos y métricos. La secuencia culmina en 2.0 m. de calizas centimétricas en cuya base se halla un estrato de areniscas de color amarillo de 1.0 m. de grosor.

Se inicia la secuencia con un período regresivo de mayor duración, manifestándose en un espesor considerable de unos 18.0 m. de espesor de terrígenos. Es la de mayor espesor; tiene 143.0 m en total

Secuencia V

Comienza con un estrato de areniscas de color beige de 0.80 m.; luego continúa una intercalación de calizas de colores beiges del tipo mudstone, wackstone y packstone de espesores centimétricos a decimétricos; al tope culmina en un estrato de areniscas de tonalidad verdosa y rojiza de 2.0 m de grosor. Se aprecia una intercalación de eventos transgresivos y regresivos, con una ligera preponderancia de los primeros. Tiene un espesor total de 29.0 m.

Secuencia VI

Aparece en la parte alta del cerro Chilcane. Tiene un espesor desconocido, sólo se han medido 3.0 m, lo demás está erosionado. Son calizas de color beige claro del tipo mudstone en estratos de espesores centimétricos.

3.4.5 Descripción de los Estratos Guías

Estrato Guía 01

Pertenece a la Secuencia I y tiene un espesor de 2.50 m.; son areniscas de color beige en lajas. Se ubica poco antes de la mitad de dicha secuencia, entre estratos de calizas de espesores decimétricos.

Estrato Guía 02

Se encuentra en la base de la Secuencia II; tiene un espesor de 2.50 m. y son areniscas de colores verdosos. Sobre esta arenisca aparece un estrato de limolita de color amarillo de 1.50 m. de espesor.

Estrato Guía 03

Pertenece a la Secuencia II y tiene 2.0 m de espesor; se trata de limolitas compactas de color beige claro y de limolitas sueltas de color amarillo.

Se ubica poco antes de la mitad de la secuencia, entre calizas de espesores centimétricos.

Estrato Guía 04

Se encuentra en la base de la Secuencia III; tiene un espesor de 2.5 m y son areniscas de color amarillo. Sobre este estrato hay calizas de espesores centimétricos.

Estrato Guía 05

Se halla en la base de la Secuencia IV; tiene un espesor de 2.0 m y se trata de intercalaciones de areniscas de grano grueso de color gris verdoso con areniscas beige claro de grano fino.

Estrato Guía 06

Pertenece a la Secuencia IV; tiene un espesor de 1.20 m y son areniscas compactas de grano

grueso, color beige, en capas de espesores centimétricos. Se halla al final de un tramo grueso de capas de areniscas de colores verdosos, beiges, amarillos y limolitas amarillas al tope.

Estrato Guía 07

Se encuentra en la Secuencia IV; tiene un espesor de 1.20 m. y son areniscas de color rojo, sueltas. Sobre este estrato la secuencia es completamente transgresiva casi hasta el tope de la misma.

Estrato Guía 08

Se encuentra casi a la base de la Secuencia V; tiene un espesor de 2.40 m. y son areniscas de color rojo, de grano medio a grueso. Debajo de dicho estrato, en la misma base de la secuencia, hay una arenisca de color beige de grano medio a grueso de 0.80 m. de grosor.

3.4.6 Cartografía Geológica

Teniendo como base el mapa topográfico a escala 1/2000 se han ubicado con diferentes colores las secuencias descritas anteriormente. Dichas secuencias quedan representadas como franjas de diverso color (ver Plano 38).

3.4.7 Cálculo de los Recursos

Para calcular los volúmenes y tonelajes de las Secuencias I, II, II, IV, V, VI se ha seguido la misma metodología empleada para el Sector Norte y Sector Sur. A partir del Plano Geológico elaborado a la escala 1/2000, se han generado dieciséis (16) Secciones Geológicas separadas cada 50 metros. Para una mejor visualización de la inclinación de los estratos plegados, las secciones se han construido mirando al sur y siguiendo la dirección de 116° de Azimut, que es más o menos perpendicular a la dirección general de las secuencias estratigráficas. Se ha tomado la cota 2978 m.s.n.m como nivel base para las secciones por ser el nivel más bajo del afloramiento (ver Planos 39 - 54).

En la Tabla 33 se tiene un resumen de los tonelajes totales hallados de calizas y de terrígenos. Los terrígenos incluyen a las areniscas, areniscas calcáreas, limolitas, limolitas calcáreas y lutitas. Se aprecia que las calizas constituyen casi el 90% de total de las rocas estudiadas.

Tabla 33*Resumen de Tonelajes Totales, Sector Noroeste*

Litología	Tonelaje
Calizas	90.391.752,19
Terrígenos	11.100.205,73

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 34 se muestran los cálculos de los Volúmenes y Tonelajes por Secuencias. Se observa que las Secuencias II y IV son las que tienen el mayor volumen y tonelaje; en cambio la Secuencia I, tiene los menores valores.

Tabla 34*Volúmenes y Tonelajes Totales por Secuencias, Sector Noroeste*

Secuencia	Litología	Volumen total (m ³)	Tonelaje
Secuencia I	Caliza	865,718.25	2,328,782.08
	Terrígenos	36,909.00	80,092.53
Secuencia II	Caliza	3,222,962.76	8,669,769.81
	Terrígenos	272,644.75	591,639.11
Secuencia III	Caliza	6,560,795.10	17,648,538.82
	Terrígenos	302,103.01	655,563.53
Secuencia IV	Caliza	18,144,931.59	48,809,865.98
	Terrígenos	2,928,606.08	6,355,075.18
Secuencia V	Caliza	2,425,497.42	6,524,588.05
	Terrígenos	1,441,066.35	3,127,113.97
Secuencia VI	Caliza	2,382,976.75	6,410,207.46
	Terrígenos	133,973.00	290,721.41
Total Calizas		33,602,881.86	90,391,752.19
Total Terrígenos		5,115,302.18	11,100,205.73

Fuente: Elaboración propia.

Nota. En las Tablas 35, 36 se observan al detalle las áreas entre secciones, además de los volúmenes por sectores de las secuencias.

Peso específico, calizas = 2.69 Tn/m³; Peso específico, terrígenos = 2.17 Tn/m³

Tabla 35

Áreas de las Secuencias por Secciones, Sector Noroeste

Sección	Secuencia	Litología	Área	Sección	Secuencia	Litología	Área
Sección A-A'	Secuencia I	Caliza	0	Sección D-D'	Secuencia I	Caliza	0
		Terrígeno	0			Secuencia II	Caliza
	Secuencia II	Caliza	0		Secuencia III		Terrígeno
		Terrígeno	0			Secuencia IV	Caliza
	Secuencia III	Caliza	0		Secuencia V		Terrígeno
		Terrígeno	0			Secuencia VI	Caliza
	Secuencia IV	Caliza	5224.97		Secuencia VII		Terrígeno
		Terrígeno	0			Secuencia VIII	Caliza
	Secuencia V	Caliza	1046.93		Secuencia IX		Terrígeno
		Terrígeno	546.77			Secuencia X	Caliza
	Secuencia VI	Caliza	191.05		Secuencia XI		Terrígeno
		Terrígeno	0.26			Secuencia XII	Caliza
Sección B-B'	Secuencia I	Caliza	0	Sección E-E'	Secuencia I		Terrígeno
		Terrígeno	0			Secuencia II	Caliza
	Secuencia II	Caliza	0		Secuencia III		Terrígeno
		Terrígeno	0			Secuencia IV	Caliza
	Secuencia III	Caliza	853.07		Secuencia V		Terrígeno
		Terrígeno	0			Secuencia VI	Caliza
	Secuencia IV	Caliza	12835.26		Secuencia VII		Terrígeno
		Terrígeno	1239.75			Secuencia VIII	Caliza
	Secuencia V	Caliza	2289.13		Secuencia IX		Terrígeno
		Terrígeno	1383.63			Secuencia X	Caliza
	Secuencia VI	Caliza	1480.63		Secuencia XI		Terrígeno
		Terrígeno	86.57			Secuencia XII	Caliza
Sección C-C'	Secuencia I	Caliza	0	Sección F-F'	Secuencia I		Terrígeno
		Terrígeno	0			Secuencia II	Caliza
	Secuencia II	Caliza	174.61		Secuencia III		Terrígeno
		Terrígeno	0			Secuencia IV	Caliza
	Secuencia III	Caliza	2615.28		Secuencia V		Terrígeno
		Terrígeno	61.75			Secuencia VI	Caliza
	Secuencia IV	Caliza	15362.5		Secuencia VII		Terrígeno
		Terrígeno	1767.91			Secuencia VIII	Caliza
	Secuencia V	Caliza	2592.48		Secuencia IX		Terrígeno
		Terrígeno	1069.69			Secuencia X	Caliza
	Secuencia VI	Caliza	4706.28		Secuencia XI		Terrígeno
		Terrígeno	375.19			Secuencia XII	Caliza

Nivel de base: 2978 m.s.n.m

Fuente: Elaboración propia

Continuación...

Sección	Secuencia	Litología	Área
	Secuencia	Caliza	0
	I	Terrígeno	0
	Secuencia	Caliza	1554.51
	II	Terrígeno	64.01
	Secuencia	Caliza	4315.89
Sección	III	Terrígeno	174.92
D-D'	Secuencia	Caliza	19568.65
	IV	Terrígeno	2301.69
	Secuencia	Caliza	3618.82
	V	Terrígeno	2206.34
	Secuencia	Caliza	2359.73
	VI	Terrígeno	71.58
	Secuencia	Caliza	122.77
	I	Terrígeno	0
	Secuencia	Caliza	2349.45
	II	Terrígeno	84.52
	Secuencia	Caliza	5351.49
Sección	III	Terrígeno	169.7
E-E'	Secuencia	Caliza	22889.36
	IV	Terrígeno	2892.76
	Secuencia	Caliza	3706.51
	V	Terrígeno	2397.56
	Secuencia	Caliza	2232.11
	VI	Terrígeno	73.01
	Secuencia	Caliza	543.53
	I	Terrígeno	0
	Secuencia	Caliza	2728.35
	II	Terrígeno	275.24
	Secuencia	Caliza	5840.24
Sección	III	Terrígeno	258.64
F-F'	Secuencia	Caliza	23468.16
	IV	Terrígeno	3207.57
	Secuencia	Caliza	3286.2
	V	Terrígeno	2315.03
	Secuencia	Caliza	2213.79
	VI	Terrígeno	73.74

Sección	Secuencia	Litología	Área
	Secuencia	Caliza	792.39
	I	Terrígeno	0
	Secuencia	Caliza	3388.64
	II	Terrígeno	299.58
	Secuencia	Caliza	6704.97
Sección	III	Terrígeno	285.69
G-G'	Secuencia	Caliza	26766.26
	IV	Terrígeno	3818.09
	Secuencia	Caliza	3242.77
	V	Terrígeno	1929.41
	Secuencia	Caliza	2113.4
	VI	Terrígeno	63.21
	Secuencia	Caliza	1585.5
	I	Terrígeno	162.22
	Secuencia	Caliza	4105.1
	II	Terrígeno	452.96
	Secuencia	Caliza	7287.69
Sección	III	Terrígeno	287.44
H-H'	Secuencia	Caliza	28573.93
	IV	Terrígeno	4820.1
	Secuencia	Caliza	4953.51
	V	Terrígeno	2875.36
	Secuencia	Caliza	4588.29
	VI	Terrígeno	169.61
	Secuencia	Caliza	2467.45
	I	Terrígeno	301.48
	Secuencia	Caliza	4365.4
	II	Terrígeno	414.55
	Secuencia	Caliza	7703.16
Sección	III	Terrígeno	353.66
I-I'	Secuencia	Caliza	32420.79
	IV	Terrígeno	4181.21
	Secuencia	Caliza	5652.37
	V	Terrígeno	3245.52
	Secuencia	Caliza	5508.95
	VI	Terrígeno	177.2

Continuación...

Sección	Secuencia	Litología	Área
	Secuencia	Caliza	792.39
	I	Terrígeno	0
	Secuencia	Caliza	3388.64
	II	Terrígeno	299.58
	Secuencia	Caliza	6704.97
	III	Terrígeno	285.69
Sección G-G'	Secuencia	Caliza	26766.26
	IV	Terrígeno	3818.09
	Secuencia	Caliza	3242.77
	V	Terrígeno	1929.41
	Secuencia	Caliza	2113.4
	VI	Terrígeno	63.21
	Secuencia	Caliza	1585.5
	I	Terrígeno	162.22
	Secuencia	Caliza	4105.1
	II	Terrígeno	452.96
	Secuencia	Caliza	7287.69
	III	Terrígeno	287.44
Sección H-H'	Secuencia	Caliza	28573.93
	IV	Terrígeno	4820.1
	Secuencia	Caliza	4953.51
	V	Terrígeno	2875.36
	Secuencia	Caliza	4588.29
	VI	Terrígeno	169.61
	Secuencia	Caliza	2467.45
	I	Terrígeno	301.48
	Secuencia	Caliza	4365.4
	II	Terrígeno	414.55
	Secuencia	Caliza	7703.16
	III	Terrígeno	353.66
Sección I-I'	Secuencia	Caliza	32420.79
	IV	Terrígeno	4181.21
	Secuencia	Caliza	5652.37
	V	Terrígeno	3245.52
	Secuencia	Caliza	5508.95
	VI	Terrígeno	177.2

Sección	Secuencia	Litología	Área
	Secuencia	Caliza	4560.99
	I	Terrígeno	274.48
	Secuencia	Caliza	5864.92
	II	Terrígeno	672.05
	Secuencia	Caliza	8855.94
	III	Terrígeno	429.89
Sección J-J'	Secuencia	Caliza	31381.52
	IV	Terrígeno	5528.26
	Secuencia	Caliza	5239.8
	V	Terrígeno	3070.7
	Secuencia	Caliza	7113.61
	VI	Terrígeno	438.9
	Secuencia	Caliza	3132.39
	I	Terrígeno	0
	Secuencia	Caliza	8072.98
	II	Terrígeno	696.51
	Secuencia	Caliza	9673.51
	III	Terrígeno	627.7
Sección K-K'	Secuencia	Caliza	32981.32
	IV	Terrígeno	3782.14
	Secuencia	Caliza	5031.25
	V	Terrígeno	3135.8
	Secuencia	Caliza	7382.98
	VI	Terrígeno	697.44
	Secuencia	Caliza	1323.83
	I	Terrígeno	0
	Secuencia	Caliza	8557.47
	II	Terrígeno	680.26
	Secuencia	Caliza	13278.61
	III	Terrígeno	962.76
Sección L-L'	Secuencia	Caliza	31917.71
	IV	Terrígeno	4876.81
	Secuencia	Caliza	4118.7
	V	Terrígeno	2403.94
	Secuencia	Caliza	5954.66
	VI	Terrígeno	385.8

Continuación...

Sección	Secuencia	Litología	Área
Sección J-J'	Secuencia I	Caliza Terrígeno	4560.99 274.48
	Secuencia II	Caliza Terrígeno	5864.92 672.05
	Secuencia III	Caliza Terrígeno	8855.94 429.89
	Secuencia IV	Caliza Terrígeno	31381.52 5528.26
	Secuencia V	Caliza Terrígeno	5239.8 3070.7
	Secuencia VI	Caliza Terrígeno	7113.61 438.9
Sección K-K'	Secuencia I	Caliza Terrígeno	3132.39 0
	Secuencia II	Caliza Terrígeno	8072.98 696.51
	Secuencia III	Caliza Terrígeno	9673.51 627.7
	Secuencia IV	Caliza Terrígeno	32981.32 3782.14
	Secuencia V	Caliza Terrígeno	5031.25 3135.8
	Secuencia VI	Caliza Terrígeno	7382.98 697.44
Sección L-L'	Secuencia I	Caliza Terrígeno	1323.83 0
	Secuencia II	Caliza Terrígeno	8557.47 680.26
	Secuencia III	Caliza Terrígeno	13278.61 962.76
	Secuencia IV	Caliza Terrígeno	31917.71 4876.81
	Secuencia V	Caliza Terrígeno	4118.7 2403.94
	Secuencia VI	Caliza Terrígeno	5954.66 385.8

Sección	Secuencia	Litología	Área
Sección LL-LL'	Secuencia I	Caliza Terrígeno	469.25 0
	Secuencia II	Caliza Terrígeno	8807.78 473.58
	Secuencia III	Caliza Terrígeno	15091.65 669.67
	Secuencia IV	Caliza Terrígeno	27964.65 2016.34
	Secuencia V	Caliza Terrígeno	1848.48 1077.76
	Secuencia VI	Caliza Terrígeno	1909.58 67.08
Sección M-M'	Secuencia I	Caliza Terrígeno	2314.22 0
	Secuencia II	Caliza Terrígeno	11825.03 996.2
	Secuencia III	Caliza Terrígeno	21210.87 1131
	Secuencia IV	Caliza Terrígeno	37007.35 8772.52
	Secuencia V	Caliza Terrígeno	1773.69 1053.17
	Secuencia VI	Caliza Terrígeno	0 0
Sección N-N'	Secuencia I	Caliza Terrígeno	1.69 0
	Secuencia II	Caliza Terrígeno	1543.87 267.97
	Secuencia III	Caliza Terrígeno	12272.1 333.89
	Secuencia IV	Caliza Terrígeno	9834.92 5936.69
	Secuencia V	Caliza Terrígeno	0 0
	Secuencia VI	Caliza Terrígeno	0 0

Continuación...

Sección	Secuencia	Litología	Área
LL-LL'	Secuencia	Caliza	469.25
	I	Terrígeno	0
	Secuencia	Caliza	8807.78
	II	Terrígeno	473.58
	Secuencia	Caliza	15091.65
	III	Terrígeno	669.67
M-M'	Secuencia	Caliza	27964.65
	IV	Terrígeno	2016.34
	Secuencia	Caliza	1848.48
	V	Terrígeno	1077.76
	Secuencia	Caliza	1909.58
	VI	Terrígeno	67.08
Sección	Secuencia	Caliza	2314.22
	I	Terrígeno	0
	Secuencia	Caliza	11825.03
	II	Terrígeno	996.2
	Secuencia	Caliza	21210.87
	III	Terrígeno	1131

Sección	Secuencia	Litología	Área
N-N'	Secuencia	Caliza	1.69
	I	Terrígeno	0
	Secuencia	Caliza	1543.87
	II	Terrígeno	267.97
	Secuencia	Caliza	12272.1
	III	Terrígeno	333.89
O-O'	Secuencia	Caliza	9834.92
	IV	Terrígeno	5936.69
	Secuencia	Caliza	0
	V	Terrígeno	0
	Secuencia	Caliza	0
	VI	Terrígeno	0
Sección	Secuencia	Caliza	0
	I	Terrígeno	0
	Secuencia	Caliza	1122.44
	II	Terrígeno	27.03
	Secuencia	Caliza	10682.1
	III	Terrígeno	317.23

Tabla 36

Volúmenes de las Secuencias por Sectores, Sector Noroeste

Intervalo	Secuencia	Litología	Volumen	Intervalo	Secuencia	Litología	Volumen
Sección A-A'/ B-B'	Secuencia I	Calizas	0	Sección D-D'/E-E'	Secuencia I	Calizas	3,069.25
		Terrígenos	0			Secuencia II	Calizas
	Secuencia II	Calizas	0		Secuencia II		Terrígenos
		Terrígenos	0			Secuencia III	Calizas
	Secuencia III	Calizas	21,326.75		Secuencia III		Terrígenos
		Terrígenos	0			Secuencia IV	Calizas
	Secuencia IV	Calizas	451,505.75		Secuencia IV		Terrígenos
		Terrígenos	30,993.75			Secuencia V	Calizas
	Secuencia V	Calizas	83,401.50		Secuencia V		Terrígenos
		Terrígenos	48,260.00			Secuencia VI	Calizas
	Secuencia VI	Calizas	41,792.00		Secuencia VI		Terrígenos
		Terrígenos	2,170.75			Sección E-E'/F-F'	Secuencia I
Secuencia I	Calizas	0	Secuencia I	Terrígenos	0		
	Secuencia II	Calizas		4,365.25	Secuencia II		Calizas
Terrígenos		0	Secuencia III	Terrígenos			8,994.00
Secuencia III	Calizas	86,708.75		Secuencia III	Calizas		279,793.25
	Terrígenos	1,543.75	Secuencia IV		Terrígenos		10,708.50
Secuencia IV	Calizas	704,944.00		Secuencia IV	Calizas		1,158,938.00
	Terrígenos	75,191.50	Secuencia V		Terrígenos		152,508.25
Secuencia V	Calizas	122,040.25		Secuencia V	Calizas		174,817.75
	Terrígenos	61,333.00	Secuencia VI		Terrígenos		117,814.75
Secuencia VI	Calizas	154,672.75		Secuencia VI	Calizas		111,147.50
	Terrígenos	11,544.00	Secuencia I		Terrígenos		3,668.75
Sección B-B'/C-C'	Secuencia I	Calizas		0	Sección F-F'/G-G'	Secuencia I	Calizas
		Terrígenos	0	Secuencia II			Calizas
	Secuencia II	Calizas	43,228.00			Secuencia II	Terrígenos
		Terrígenos	1,600.25	Secuencia III			Calizas
	Secuencia III	Calizas	173,279.25			Secuencia III	Terrígenos
		Terrígenos	5,916.75	Secuencia IV			Calizas
	Secuencia IV	Calizas	873,278.75			Secuencia IV	Terrígenos
		Terrígenos	101,740.00	Secuencia V			Calizas
	Secuencia V	Calizas	155,282.50			Secuencia V	Terrígenos
		Terrígenos	81,900.75	Secuencia VI			Calizas
	Secuencia VI	Calizas	176,650.25			Secuencia VI	Terrígenos
		Terrígenos	11,169.25				

Nivel de base: 2978 m.s.n.m

Fuente: Elaboración propia

Continuación...

Intervalo	Secuencia	Litología	Volumen
Sección D-D'/E-E'	Secuencia I	Calizas	3,069.25
		Terrígenos	0
	Secuencia II	Calizas	97,599.00
		Terrígenos	3,713.25
	Secuencia III	Calizas	241,684.50
		Terrígenos	8,615.50
Secuencia IV	Calizas	1,061,450.25	
	Terrígenos	129,861.25	
Secuencia V	Calizas	183,133.25	
	Terrígenos	115,097.50	
Secuencia VI	Calizas	114,796.00	
	Terrígenos	3,614.75	
Sección E-E'/F-F'	Secuencia I	Calizas	16,657.50
		Terrígenos	0
	Secuencia II	Calizas	126,945.00
		Terrígenos	8,994.00
	Secuencia III	Calizas	279,793.25
		Terrígenos	10,708.50
Secuencia IV	Calizas	1,158,938.00	
	Terrígenos	152,508.25	
Secuencia V	Calizas	174,817.75	
	Terrígenos	117,814.75	
Secuencia VI	Calizas	111,147.50	
	Terrígenos	3,668.75	
Sección F-F'/G-G'	Secuencia I	Calizas	33,398.00
		Terrígenos	0
	Secuencia II	Calizas	152,924.75
		Terrígenos	14,370.50
	Secuencia III	Calizas	313,630.25
		Terrígenos	13,608.25
Secuencia IV	Calizas	1,255,860.50	
	Terrígenos	175,641.50	
Secuencia V	Calizas	163,224.25	
	Terrígenos	106,111.00	
Secuencia VI	Calizas	108,179.75	
	Terrígenos	3,423.75	

Nivel de base: 2978 m.s.n.m

Fuente: Elaboración propia

Intervalo	Secuencia	Litología	Volumen
Sección G-G'/H-H'	Secuencia I	Calizas	59,447.25
		Terrígenos	4,055.50
	Secuencia II	Calizas	187,343.50
		Terrígenos	18,813.50
	Secuencia III	Calizas	349,816.50
		Terrígenos	14,328.25
Secuencia IV	Calizas	1,383,504.75	
	Terrígenos	215,954.75	
Secuencia V	Calizas	204,907.00	
	Terrígenos	120,119.25	
Secuencia VI	Calizas	167,542.25	
	Terrígenos	5,820.50	
Sección H-H'/I-I'	Secuencia I	Calizas	101,323.75
		Terrígenos	11,592.50
	Secuencia II	Calizas	211,762.50
		Terrígenos	21,687.75
	Secuencia III	Calizas	374,771.25
		Terrígenos	16,027.50
Secuencia IV	Calizas	1,524,868.00	
	Terrígenos	225,032.75	
Secuencia V	Calizas	265,147.00	
	Terrígenos	153,022.00	
Secuencia VI	Calizas	252,431.00	
	Terrígenos	8,670.25	
Sección I-I'/J-J'	Secuencia I	Calizas	175,711.00
		Terrígenos	14,399.00
	Secuencia II	Calizas	255,758.00
		Terrígenos	27,165.00
	Secuencia III	Calizas	413,977.50
		Terrígenos	19,588.75
Secuencia IV	Calizas	1,595,057.75	
	Terrígenos	242,736.75	
Secuencia V	Calizas	272,304.25	
	Terrígenos	157,905.50	
Secuencia VI	Calizas	315,564.00	
	Terrígenos	15,402.50	

Continuación...

Intervalo	Secuencia	Litología	Volumen	Intervalo	Secuencia	Litología	Volumen
Sección G-G'/H-H'	Secuencia I	Calizas	59,447.25	Secuencia I	Calizas	192,334.50	
		Terrigenos	4,055.50			Secuencia II	Calizas
	Secuencia II	Calizas	187,343.50	Secuencia II	Terrigenos		
		Terrigenos	18,813.50		Secuencia III	Calizas	463,236.25
	Secuencia III	Calizas	349,816.50	Secuencia III			Terrigenos
		Terrigenos	14,328.25		Secuencia IV	Calizas	1,609,071.00
	Secuencia IV	Calizas	1,383,504.75	Secuencia IV			Terrigenos
		Terrigenos	215,954.75		Secuencia V	Calizas	256,776.25
	Secuencia V	Calizas	204,907.00	Secuencia V			Terrigenos
		Terrigenos	120,119.25		Secuencia VI	Calizas	362,414.75
	Secuencia VI	Calizas	167,542.25	Secuencia VI			Terrigenos
		Terrigenos	5,820.50		Sección H-H'/I-I'	Secuencia I	Calizas
Secuencia I	Terrigenos	101,323.75	Secuencia I	Terrigenos			
	Secuencia II	Calizas		211,762.50		Secuencia II	Calizas
Terrigenos		21,687.75	Secuencia II	Terrigenos			34,419.25
Secuencia III	Calizas	374,771.25		Secuencia III		Calizas	573,803.00
	Terrigenos	16,027.50	Secuencia III			Terrigenos	39,761.50
Secuencia IV	Calizas	1,524,868.00		Secuencia IV		Calizas	1,622,475.75
	Terrigenos	225,032.75	Secuencia IV			Terrigenos	216,473.75
Secuencia V	Calizas	265,147.00		Secuencia V		Calizas	228,748.75
	Terrigenos	153,022.00	Secuencia V			Terrigenos	138,493.50
Secuencia VI	Calizas	252,431.00		Secuencia VI		Calizas	333,441.00
	Terrigenos	8,670.25	Secuencia VI			Terrigenos	27,081.00
Sección I-I'/J-J'	Secuencia I	Calizas		175,711.00	Secuencia I	Calizas	44,827.00
		Terrigenos	14,399.00	Secuencia I		Terrigenos	0
	Secuencia II	Calizas	255,758.00		Secuencia II	Calizas	434,131.25
		Terrigenos	27,165.00	Secuencia II		Terrigenos	28,846.00
	Secuencia III	Calizas	413,977.50		Secuencia III	Calizas	709,256.50
		Terrigenos	19,588.75	Secuencia III		Terrigenos	40,810.75
	Secuencia IV	Calizas	1,595,057.75		Secuencia IV	Calizas	1,497,059.00
		Terrigenos	242,736.75	Secuencia IV		Terrigenos	172,328.75
	Secuencia V	Calizas	272,304.25		Secuencia V	Calizas	149,179.50
		Terrigenos	157,905.50	Secuencia V		Terrigenos	87,042.50
	Secuencia VI	Calizas	315,564.00		Secuencia VI	Calizas	196,606.00
		Terrigenos	15,402.50	Secuencia VI		Terrigenos	11,322.00

Nivel de base: 2978 m.s.n.m

Fuente: Elaboración propia

Continuación...

Intervalo	Secuencia	Litología	Volumen	Intervalo	Secuencia	Litología	Volumen
Sección J- J'/K-K'	Secuencia I	Calizas	192,334.50	Sección LL-LL'/M-M'	Secuencia I	Calizas	69,586.75
		Terrigenos	6,862.00			Secuencia II	Calizas
	Secuencia II	Calizas	348,447.50		Secuencia II		Terrigenos
		Terrigenos	34,214.00			Secuencia III	Calizas
	Secuencia III	Calizas	463,236.25		Secuencia III		Terrigenos
		Terrigenos	26,439.75			Secuencia IV	Calizas
Secuencia IV	Calizas	1,609,071.00	Secuencia IV	Terrigenos	269,721.50		
	Terrigenos	232,760.00		Secuencia V	Calizas	90,554.25	
Secuencia V	Calizas	256,776.25	Secuencia V		Terrigenos	53,273.25	
	Terrigenos	155,162.50		Secuencia VI	Calizas	47,739.50	
Secuencia VI	Calizas	362,414.75	Secuencia VI		Terrigenos	1,677.00	
	Terrigenos	28,408.50		Sección M-M'/N-N'	Secuencia I	Calizas	57,897.75
Secuencia I	Calizas	111,405.50	Secuencia I			Terrigenos	0
	Terrigenos	0			Secuencia II	Calizas	334,222.50
Secuencia II	Calizas	415,761.25	Secuencia II			Terrigenos	31,604.25
	Terrigenos	34,419.25			Secuencia III	Calizas	837,074.25
Secuencia III	Calizas	573,803.00	Secuencia III			Terrigenos	36,622.25
	Terrigenos	39,761.50		Secuencia IV	Calizas	1,171,056.75	
Secuencia IV	Calizas	1,622,475.75	Secuencia IV		Terrigenos	367,730.25	
	Terrigenos	216,473.75		Secuencia V	Calizas	44,342.25	
Secuencia V	Calizas	228,748.75	Secuencia V		Terrigenos	26,329.25	
	Terrigenos	138,493.50		Secuencia VI	Calizas	0	
Secuencia VI	Calizas	333,441.00	Secuencia VI		Terrigenos	0	
	Terrigenos	27,081.00		Sección N- N'/O-O'	Secuencia I	Calizas	60
Secuencia I	Calizas	44,827.00	Secuencia I			Terrigenos	0
	Terrigenos	0			Secuencia II	Calizas	94,654.01
Secuencia II	Calizas	434,131.25	Secuencia II			Terrigenos	10,472.50
	Terrigenos	28,846.00			Secuencia III	Calizas	814,874.10
Secuencia III	Calizas	709,256.50	Secuencia III			Terrigenos	23,114.76
	Terrigenos	40,810.75		Secuencia IV	Calizas	611,561.34	
Secuencia IV	Calizas	1,497,059.00	Secuencia IV		Terrigenos	319,931.33	
	Terrigenos	172,328.75		Secuencia V	Calizas	31,638.67	
Secuencia V	Calizas	149,179.50	Secuencia V		Terrigenos	19,201.60	
	Terrigenos	87,042.50		Secuencia VI	Calizas	0	
Secuencia VI	Calizas	196,606.00	Secuencia VI		Terrigenos	0	
	Terrigenos	11,322.00					

Nivel de base: 2978 m.s.n.m

Fuente: Elaboración propia

3.4.8 Muestreo del Sector Noroeste

En el presente trabajo no se ha realizado el muestreo de los niveles de calizas; se toman algunos de los resultados de leyes de los muestreos de trincheras y de afloramientos que se hicieran tiempo atrás por la compañía propietaria de la concesión. Las leyes corresponden a una información recopilada del muestreo superficial que hiciera el propietario en el llamado “Cuerpo3”, abarcando las Secuencias II, III, IV, V y VI.

En la Tabla 37 se presentan los contenidos de carbonatos, sílice, alúmina, potasio. Se aprecia el alto contenido de sílice en Secuencia I, lo que la hace desechable para fabricar cemento; por el contrario, las demás Secuencias tienen valores mayores a 80% en contenido de carbonato de calcio.

Tabla 37

Leyes por secuencias, Sector Noroeste.

Secuencia	Litología	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	CO ³ (%)	CO ₃ Ca (%)	Mg CO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)
Secuencia II	Caliza	22.70	1.82	40.73	0.95	70.75	69.25	1.27	0.07	0.24
Secuencia III	Caliza	12.36	0.89	46.72	1.04	84.31	81.81	2.12	0.08	0.30
Secuencia IV	Caliza	9.85	1.16	47.59	1.04	86.51	84.00	2.12	0.06	0.49
Secuencia V	Caliza	8.46	0.93	48.76	0.94	87.86	85.60	1.90	0.14	0.45
Secuencia VI	Caliza	8.83	0.88	48.65	0.70	87.24	85.31	1.63	0.07	0.39

Fuente: Elaboración propia

Capítulo IV: Análisis y discusión de los resultados

4.1 Resultados de laboratorio

Se discuten los resultados de los análisis de las muestras del Sector Sur; los reportes de los Sectores Norte y Sector Noroeste se acompañan en las Tablas adjuntas como información a tener en cuenta, pero no formaron parte de la presente investigación.

Según se aprecia en la Tabla 3, de las 540 muestras el 97% de dichas muestras de calizas, tienen más del 82% de Ca CO_3 .

El rango fluctúa entre 64.63% y 94.63%; en los valores menores se debe a que las muestras presentan mayores contenidos de sílice; los contenidos de potasio, alúmina son bajos. Los estratos de calizas con presencia de pústulas de sílice, son los que presentan los valores bajos de carbonatos de calcio.

El porcentaje de carbonatos en las areniscas varía entre valores muy bajos hasta otros muy altos, entre 5.25% - 82.38%; las areniscas de mayores valores en la práctica son calcarenitas (areniscas calcáreas). Los promedios son bajos y llegan a 51.25% de carbonatos.

Para que unos estratos de calizas sean potencialmente útiles para la fabricación del cemento deben poseer como mínimo más del 80% de carbonatos; por esta razón se aprecia que solo la Secuencia VII con un 79% no puede ser considerada. Todas las demás Secuencias tienen valores mayores, siendo la Secuencia II con un 87.81% la más atractiva.

No se discuten los valores hallados en las calizas dolomíticas, por ser poco importantes en cuanto a su volumen y por no ser aptas para la producción de cemento, Tampoco se discuten los valores hallados en las limolitas y en lutitas, dado que no son importantes en cuanto a su volumen y además contienen una gran proporción de sílice.

Hay una mayor presencia de calizas del tipo mudstone, esto es con contenidos de calcitas micríticas. Estos compuestos químicos se originaron por precipitación en aguas del mar, en condiciones de bajas temperaturas mayormente en ambientes de baja energía, es de esperarse que lo hayan hecho a manera de las algas esto es “decantándose” hacia el lecho marino, formando los futuros estratos cuyo contenido en carbonatos lateralmente debe ser muy parecido; en cambio, verticalmente si pueden haber cambios en los contenidos de las secuencias dado que en ese sentido se intercambian con capas de terrígenos o de otras calizas de menor espesor. Este criterio debe tenerse en cuenta para desechar el errado concepto de “cuerpos” que se le había dado a las diferentes ocurrencias calcáreas; los cuerpos son de formas irregulares, los estratos no, son paralelepípedos.

También se puede apreciar en la Tabla 3 que la Secuencia V es la que tiene el mayor contenido de carbonato de calcio (85.60%), así como que el menor contenido se encuentra en la Secuencia II con 69.25%.

4.2 Análisis de los Volúmenes y Tonelajes

Sector Sur

Es el sector con el mayor volumen y tonelajes de recursos. En la Tabla 4 se puede observar que las calizas constituyen poco más de la mitad de volumen total de las rocas, esto es 58.3%; que a simple vista no se puede observar, dado que el intemperismo y la cubierta de la polvareda por la explotación no permite distinguir los tipos de roca (entre los estratos de calizas y los de areniscas); es necesario partirlas y observarlas directamente. A la distancia no se ven muchas diferencias, salvo para el ojo del observador experimentado.

Otro porcentaje importante lo constituyen las areniscas calcáreas que junto a las areniscas dolomíticas llegan al 38.67% del volumen total. Finalmente, los estratos de calizas dolomíticas y de limolitas /lodolitas calcáreas constituyen un volumen casi despreciable, son el 3.03% del volumen total. La importancia de las limolitas y lodolitas calcáreas es que, debido a sus colores y poco espesor, constituyen excelentes referentes visuales para la ubicación de las diferentes secuencias estratigráficas a cartografiar.

En Tabla 6 se puede notar que las secuencias inferiores: Secuencia II, III, IV tienen los mayores tonelajes de calizas; también se aprecia que las areniscas de la Secuencia II son las de mayor espesor (58.40 m). La caliza de la Secuencia VI presenta el mayor espesor medido (62.00 m), aunque su tonelaje hallado es el menor (9 369, 591.00 toneladas); finalmente las calizas de la Secuencia III son las de mayor tonelaje medido (66 249, 869.51 toneladas).

Sector Norte

En la Tabla 29 se puede ver que las calizas constituyen del 97% de volumen total de rocas y que los terrígenos son una proporción muy baja, casi despreciable de poco más del 2.4% del volumen total de rocas.

Los terrígenos solo son útiles como niveles guías para el reconocimiento lateral de las secuencias; también son muy útiles cuando se hace perforaciones programadas para saber en qué parte de la de la columna estratigráfica se está. La Secuencia de la Caliza Base es la de mayor volumen, constituye poco más del 83% del volumen total de rocas.

Sector Noroeste

En la Tabla 33 se puede apreciar que las calizas constituyen poco más del 86% del volumen total de rocas y los terrígenos algo más del 13%. En la Tabla 34 se observa que la Secuencia IV es la de mayor volumen de calizas (48'809,865.98 Tm) , con poco más del 46% del volumen total de rocas.

4.3 Sobre las columnas estratigráficas

En los tres sectores se han elaborado al detalle columnas estratigráficas, midiendo los espesores reales de todos los estratos hallados, como puede apreciarse en las figuras correspondientes. Las columnas han permitido dividir los afloramientos de estratos en secuencias cartografiables.

4.4 Sobre la cartografía geológica

Hasta el año 2000 no existía un plano geológico que mostrara las diferentes secuencias reconocidas, se usaban representaciones con el errado concepto de “cuerpos de calizas”. La nomenclatura de Secuencias (I, II,.....VI) dada a grupos de estratos, es utilizada en la actividad de explotación y control del desbroce que el departamento de ingeniería de la compañía lleva a cabo.

El plano geológico elaborado en base a la concepción estructural del yacimiento y su representación a manera de franjas de las Secuencias carbonatadas-silicoclásticas, es utilizado para los trabajos de planeamiento minado, modelamientos 3D, cálculos geoestadísticos, perforaciones, muestreo.

Todo lo anterior corrobora el aporte de la presente investigación a los trabajos de la ingeniería de exploración y de explotación que se ejecutan en la actualidad.

4.5 Sobre la metodología del cálculo de los volúmenes de roca

El método de las secciones geológicas es el más adecuado para el cálculo de volúmenes de roca para yacimientos no metálicos estratiformes que se hallan deformados, que son las ocurrencias más comunes de estos recursos geológicos.

La metodología de las curvas de nivel se aplica mejor a ocurrencias de estratos horizontales o de muy bajo buzamiento de un solo tipo de roca, no cuando se presentan intercalaciones de rocas calcáreas con sedimentos silicoclásticos (terrígenos).

4.6 Propuesta de Ingeniería

La labor del monitoreo geológico es una actividad constante y en esta investigación de tipo aplicada, se ha mostrado que debe ser así.

En la presente tesis se han hecho mediciones y registros de campo para elaborar planos geológicos y aplicar una metodología que ha permitido calcular volúmenes y tonelajes del recurso calcáreo. También se han obtenido resultados en porcentajes (%) de contenidos de análisis e laboratorio para ser discutidos.

En las recomendaciones se enfatiza la necesidad de contar con ingenieros geólogos especialistas en producción, en exploración de recursos, y en geomecánica.

Los ingenieros geólogos especialistas en producción, mediante un programa establecido, tendrán al día la información geológica, estructural y de leyes, de todos los frentes de producción, a fin de cotejar los avances con el planeamiento del minado.

Los ingenieros geólogos de exploración de recursos, deben estar a cargo de manera exclusiva, del planeamiento de la exploración en sus diferentes fases, esto es:

- completar lateralmente la cartografía superficial de detalle para reconocer en la continuación de las secuencias establecidas,
- recomendar la evaluación geofísica en áreas donde la cubierta de volcánicos cubre las secuencias calcáreas,
- hacer el programa de perforaciones en número, locación, dirección e inclinación, registro de testigos
- elaborar el muestreo sistemático tanto de superficie, como de los testigos de las campañas perforación.

Los ingenieros geomecánicos, deberán hacer el monitoreo de los frentes de producción para el monitoreo y control de las caídas de rocas que pudieran ocurrir, en especial en los frentes donde los estratos tienen altos buzamientos, haciendo además el seguimiento de los niveles susceptibles a desprendimientos (limolitas y areniscas con bajo grado de adherencia) luego de probables períodos de lluvias inusuales.

Conclusiones

En los tres sectores estudiados las secuencias estratigráficas son del tipo calcáreas-silicoclásticas que aparecen en una sucesión de calizas y areniscas calcáreas principalmente (98% del total del volumen) con algunos estratos de limolitas y lodolitas calcáreas. Pertenecen a la de la Formación Arcurquina.

SECTOR SUR

El yacimiento del Sector Sur está en el flanco oeste de un sinclinal. El mayor volumen de recursos lo constituyen las calizas (58% del volumen total). No hay importantes deformaciones debidas a fallas, los desplazamientos son bajos (de unos centímetros a pocos metros). En Lugmirca los estratos tienen buzamientos bajos, entre 13°- 22°SE, pero hacia el lado de la quebrada Ojule son mayores, hasta más de 70°SE.

Las secuencias I, II,, VII se han señalado con fines de facilitar la cartografía y la ubicación de las muestras. En el plano geológico se las tiene representadas y es posible hacer una estimación visual de sus volúmenes. Las secuencias IV, V, VI, VII son las que tienen mayor proporción de calizas.

El Nivel de Base, 2700 m.s.n.m. es el de la Chancadora y en Lugmirca coincide con el techo del yeso; pero en el Sector Norte y debajo de esta cota hay un volumen importante por calcular. Esto se aprecia en las secciones A-A', B-B' y C-C'. El volumen del yeso, a la base de todas las secuencias, no se ha calculado; tampoco la cubierta (montera) de tufos volcánicos arenosos.

Los estratos guías son útiles de reconocer por su coloración (rojiza, amarilla, verde, marrón) y se pueden seguir por tramos largos tanto en Ojule como en Lugmirca. El seguimiento de los estratos no es difícil de hacer, tanto en superficie como en profundidad, debido a que los cortes de extracción, sobre todo en el Sector Sur han descubierto claramente su geología.

Identificadas las secuencias estratigráficas en los tres sectores Norte, Sur y Noroeste, se podrá hacer con propiedad la exploración en base al muestreo, la cartografía, ubicación adecuada de trincheras y de las perforaciones (DDH).

Los desprendimientos de rocas durante el proceso de explotación dejan sectores debilitados, sobre todo en el lado hacia la quebrada Ojule, en donde los buzamientos de los estratos son altos y a favor de la pendiente.

SECTOR NORTE

El Sector Norte se encuentra en una secuencia de discordancias angulares. Las discordancias son más notorias hacia el lado norte por la trinchera T- 6 y T-7b donde además aparecen los pliegues de corrimiento (megaslumps); el tamaño de estos pliegues dificulta el reconocimiento geológico de las secuencias por los cambios bruscos en la dirección y el buzamiento de los estratos.

La Secuencia A es la que contiene mayor cantidad de calizas: 10'891,424 toneladas; tiene además unas 2'461,00 toneladas de sedimentos terrígenos calcáreos; aparece en la margen derecha e izquierda de la quebrada secundaria a la quebrada Ojule. Contiene entre 82% - 93 % de CaCO_3 , 1.55% - 3.78% de MgCO_3 y 6.7% -12.8% de SiO_2 .

La Secuencia B tiene 3'526,868 toneladas de calizas y unas 142,000 toneladas de sedimentos terrígenos calcáreos; parte de esta secuencia se está explotando en la margen derecha de la quebrada Ojule. Contiene entre 80% - 86 % de CaCO_3 , 2.0% - 3.4% de MgCO_3 y 5.5% - 9% de SiO_2 .

La Caliza Base tiene más de 116'000,000 de calizas con alto contenido de sílice; no se ha medido su espesor total, tampoco se ha muestreado.

SECTOR NOROESTE

El Sector Noroeste comprende dos flancos de un anticlinal asimétrico cuyos flancos tienen altos buzamientos. El afloramiento presenta una topografía de alta pendiente, que favorecerá su explotación.

Las secuencias de estratos se prolongan hacia el norte, pasando la carretera, donde el anticlinal aparece claramente, pero con el plano axial casi vertical.

Recomendaciones

Completar la geología a la escala 1/1000 hacia la zona de la Cantera “Los Alemanes”, haciendo la geología de detalle, a una escala 1/500 de la zona correspondiente al yeso. Cubicar el yeso en el sector Ojule - Lugmirca y completar los ensayos de Laboratorio.

Debido a que el seguimiento de los estratos tanto en superficie como en la vertical se puede realizar con relativo éxito, al utilizar el plano geológico y las secciones geológicas, las futuras perforaciones exploratorias se podrán hacer con una buena prognosis, en los tres sectores.

Se sugiere hacer el control de la geología de superficie identificando plenamente los flancos de los pliegues de las Formación Arcurquina, a partir del seguimiento lateral de los niveles o estratos guías u otros que aparezcan, de tal manera de tener todas y cada una de las secuencias establecidas, plenamente identificadas en el campo, para ser cartografiadas en los tres sectores. Esta labor deberá hacerla un geólogo regional con la debida experiencia.

La cartografía de los niveles de explotación debe mantenerse actualizada en todos y cada uno de los niveles de producción; esta labor deberá estar a cargo del geólogo residente de producción.

Realizar el estudio geoestadístico para conocer la óptima distancia de muestreo (malla), peso y radio de influencia de la muestra. Para los trabajos de planeamiento de minado, realizar la cartografía geológica de detalle (a escala 1/500) de cada frente de desbroce, incluyendo el muestreo sistemático.

Por razones de seguridad y control, se recomienda realizar la evaluación geomecánica de cada frente de trabajo. Deberá estar a cargo de un geólogo geomecánico y cada mes deberán ser revisados cada uno de los frentes de explotación.

SECTOR NORTE

Continuar con los trabajos de geología la hasta agotar la exploración superficial; esto es continuar con los levantamientos de columnas estratigráficas y la cartografía geológica tanto al sur como al norte del sector estudiado, así como hacia la parte de la margen derecha de la quebrada Ojule.

Hacer el seguimiento de los resultados de las leyes en las trincheras, a fin de cotejar dichos valores con la calidad de roca. Muestrear en el extremo sur Ojule, la Secuencia Caliza Base (margen izquierda de la quebrada secundaria a Ojule).

SECTOR NORESTE

Explorar al frente de cerro Chilcane los afloramientos de calizas que son la prolongación hacia el norte de las secuencias estudiadas.

Referencias Bibliográficas

- Acevedo, H. y Guerra, R. (2015). Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de Caliza en la Región Metropolitana. Universidad de Chile.
- Berenguer, Tadeo y Chilelemi, M. (2016). Modelación de un depósito de calizas. Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba
- Chávez, E. y Carranza, C. (2020). Caracterización geológica superficial para la estimación de recursos de caliza en la concesión Paulita 25, Sorochuco-Cajamarca.
- Contento, J. (2014). Diseño del método de explotación del yacimiento de caliza módulo norte de la mina La Esperanza, municipio de La Calera - Cundinamarca
<https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1525/1/TGT265.pdf>.
- Correa, D. y Santillán, L. (2016). Factibilidad económica de la explotación de roca caliza para producir óxido de calcio en la concesión minera no metálica José Gálvez, Bambamarca, Cajamarca. Tesis. Hualgayoc, Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte.
- Dávila, J. (2019). Diccionario de Geología, INGEMMET.
<https://vdocuments.net/j-davila-burga-diccionario-geologico.html?page=1>
- INGEMMET. (2019). Identificación de peligros geológicos en el anexo de San Basilio”, distrito de Huanca, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa. Informe Técnico No A6886.
- RACEFN. (2009) Glosario de Geología. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España
https://www.ugr.es/~agcasco/personal/rac_geologia/rac.htm#C
- Pérez, F. (2019). Estimación de reservas por el método de los perfiles para determinar la vida útil del Punto la vida útil del Punto. Tesis. Chiclayo, Perú: Universidad César Vallejo.

- Piérola, D. (2015). Optimización del Plan de Minado de Cantera de Caliza La Unión distrito de Baños del Inca – Cajamarca”. Tesis. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Rebaza, B. (2015). Estimación de reservas probables de yacimientos no metálicos en arcillas del distrito de Llacanora Cajamarca, Perú. Tesis. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Reinoso, C. (2015). Evaluación de Reservas y Diseño del sistema de Explotación del Área Minera Mary Elena. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar por el Título de Ingeniero de Minas. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Sempere T., Jacay J., Pino A., Bretrand H., Carlotto V., Fornari M., Garcia, R., Jimenez, N., Marzoli, A., Meyer, Ch., Rosas, S. y Soler, P. (2004). Estiramiento Litosférico Del Paleozoico Superior Al Cretáceo medio en el Perú y Bolivia. In Jacay J. y Sempere T. (eds.) «Nuevas contribuciones del IRD y sus contrapartes al conocimiento geológico del sur del Perú». Publicación especial N.º 5 Sociedad Geológica del Perú. pp: 45-79.
- Silva, E. (2015). Investigación Geológica para la Estimación de Recursos de Roca Caliza del Proyecto Peña Blanca, Prov. Contumaza. Universidad Nacional de Piura.
- Vargas, L. (1970). Geología del cuadrángulo de Arequipa- Boletín 24, Serie: INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, N°24.
- Valdivia V., La Torre B., Oswaldo O. (2003). Memoria Descriptiva de la revisión y actualización del Cuadrángulo de Antabamba (29-Q). INGEMMET.