

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA**



**TESIS**

**“YACIMIENTO DE EPSOMITAS NICANOR SEBASTIÁN  
EXPLORACIÓN Y DESARROLLO – OCUCAJE – ICA”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO GEÓLOGO**

**ELABORADO POR  
JOSÉ RIVEROS YAURI**

**ASESORA  
Mg. Ing. NORA NELLY REVOLLE ÁLVAREZ**

**LIMA-PERU**

**2021**

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo a mis padres: Dionicio Riveros y Eugenia Yauri; quienes, a pesar de las múltiples dificultades, supieron sacar adelante a sus hijos, enseñándonos que el esfuerzo siempre dará frutos, sin su gran ayuda e infinito amor no hubiese podido lograrlo.*

*Así como también a mis hermanos y amigos que conocí tanto en la época de estudios y en la época laboral, gracias a ellos que me dieron las herramientas para terminar esta tesis.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A la Ing. Nora Nelly Revolle Álvarez y al Ing. Alfonso Huamán Guerrero, por las observaciones y recomendaciones realizadas durante el desarrollo y finalización del presente trabajo.*

## **RESUMEN**

Las concesiones mineras Nicanor Sebastián IV y Nicanor Sebastián V, contienen minerales no metálicos de epsomita, se ubican en Ocucaje - Ica, zona eriaza y desértica con lluvias muy escasas, que permite que la epsomita se concentre para explotarla. Los vientos suaves a moderados evitan que el suelo se erosione rápidamente, o que las arenas transportadas por el viento cubran las zonas mineralizadas con dunas de gran tamaño, que harían la extracción complicada y poco rentable.

La génesis de la epsomita de la zona de estudio, está relacionada a la evaporación del agua de mar y su precipitación en secuencia sedimentaria con prevalecencia en rocas diatomíticas. Por tanto, su génesis es de tipo químico sedimentario de costa.

En el yacimiento Nicanor, algunos mineros artesanales realizaron durante varios años, calicatas y trincheras, con resultados poco interesantes. Para tener una mejor posibilidad de encontrar yacimientos favorables de epsomita, se empleó el muestreo sistemático en las áreas donde el mineral afloraba, luego se realizó un muestreo con mayor detalle en las zonas más pequeñas de mejor mineralización.

Antes de iniciar la extracción, se realizó un estudio geomecánico que permitió conocer el nivel de fracturamiento y estabilidad de la diatomita, aunque las zonas de trabajo están principalmente en lugares planos con una posibilidad casi nula de ocurrir deslizamientos, es importante conocer el nivel de fracturamiento de la roca ya que

permitirá saber si estas fracturas presentan el ancho necesario para ser rellenados con epsomita que fluye y se recristaliza en estas fracturas, pudiéndose así mejorar la calidad del yacimiento.

Con los resultados que se obtuvieron en los análisis químicos de los muestreos realizados, se efectuó el cálculo de las reservas para cada área estudiada, mediante la triangulación de los puntos donde se realizó el muestreo, y con ayuda de programas como Minesight y los datos tanto del muestreo y la potencia de las zonas mineralizadas se estimó las reservas en cada área mineralizada. Una vez calculadas las reservas, se delimitaron las zonas de trabajo, y se definió el método de explotación con el cual se realizará la extracción del mineral, así como los sistemas de trabajos complementarios como botaderos, calicatas y trincheras, así también de carguío y transporte del mineral a planta y fundamentalmente la organización de los trabajadores relacionados con la operación.

Para cuando esté concluida la explotación y vida útil de la mina, se plantea un plan de cierre adecuado, que cumpla con las normas legales, técnicas y ambientales establecidas por la autoridad competente. El objetivo final al cierre de mina es dejar en lo posible terrenos de morfología similar a las encontradas antes de la operación, para lo cual la empresa estimo las inversiones necesarias para el cierre de mina.

Esta experiencia busca conocer la naturaleza de la formación de un yacimiento de epsomita para contribuir con nuevos alcances en la identificación de yacimientos similares en otras zonas del país.

## **ABSTRACT**

Mining concessions Nicanor Sebastian IV & V, are non Mineral Deposits of Epsomite located in Ocucaje, Ica, an arid and desert place which weather was beneficial and profitable for the epsomite preservation and exploitation otherwise, an humid and windy weather would erode or cover the deposit and make it non-economic.

The recognition of the epsomite was not a big deal; since epsomite and diatomite have a structural relation, being the diatomite easily to recognize in field. Which characteristics and the accessibility will be economically analyzed for exploration and exploitation.

The deposit is evaporitic whose origin is related to deep and shallow marine environment with continental transitions, which formation takes million years, having the diatomite as the predominant rock and container of the epsomite.

In order to locate and get a reasonable comprehension of the deposit, Sampling is a good method, which was applied a prior by artisanal and informal miners but in incorrectly way that led them to get bad results. For this reason, we decided to apply a systematic sampling on each economic area at first sight. In case we found a profitable zone, we proceed to carry out a systematic sampling in more detail to quantify the resources.

Epsomite has a structural control related to fractures. Therefore, a geomechanical study must be applied in order to know the fracture distribution since epsomite is deposited within them. Besides, this study allows us to make a decision whether or not the width of the fractures contains economical amount of epsomite.

After systematic sampling, some of them were sent to laboratory for chemical analysis. These results and the field data such as thickness, topography, lithology, etc were integrated to build maps, and to estimate the reserves using Minesight software for every area. Then, we choose the more profitable area to decide the exploitation method to be applied; the location of trenches, pits and tailings to be constructed; the charge and transportation route to be traced as well as the amount of workers to be required.

A mining closure plan must be developed once useful life has been reached, this plan ought to fulfill with legal, technical and environmental requirements before authority, whose objective is to guarantee that our labors does not leave a big environmental impact.

To conclude, the present thesis aims to understand the nature of this kind of evaporitic deposits as well as to give a new scope in the identification of new targets all over the country.

## PRÓLOGO

El presente trabajo muestra información sobre los yacimientos de epsomitas encontrados en Ica, así como también dar alcances sobre reconocimiento en campo, extracción y transporte.

La epsomita es un mineral no metálico poco conocido en el Perú; la minería en el país principalmente se enfoca más en minerales metálicos, sin embargo, el creciente aumento en la actividad agrícola hace que los minerales no metálicos sean cada vez más importantes, así como el desarrollo de nuevas áreas en el sector de construcción, pinturas, papel, entre muchas otras aplicaciones de los minerales no metálicos.

Este trabajo es fruto de varios años de estudio del terreno y del mineral, anotándose todos los rasgos físicos y químicos observados en campo. El trabajo abarca investigaciones desde el 2014 hasta el 2021, tiempo donde no solo se ha ido extrayendo el mineral sino también se ha observado como el terreno ha ido cambiando, obligando a buscar nuevas zonas y formas de extracción.

El Perú cuenta con diversos minerales no metálicos como bentonitas, fosfatos, carbonatos, sulfatos y silicatos. Por tal razón este trabajo tiene como objetivo mostrar como un mineral no metálico puede lograr interés económico y ser fuente importante de ingresos para el país.



## ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
PROLOGO	viii
ÍNDICE	ix
RELACIÓN DE FIGURAS	xii
RELACIÓN DE TABLAS	xv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Planteamiento de la investigación	1
1.3 Justificación de la investigación	3
1.4 Ubicación y accesos	3
1.5 Clima y vegetación	5
1.5.1 Temperatura y precipitación	7
1.5.2 Humedad y velocidad del viento	11
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	15
2.1 Origen de la epsomita	15
2.2.1 Roca diatomita	15
2.2 Epsomita	22
CAPÍTULO III: GEOLOGÍA REGIONAL	28
3.1 Geología regional	28

3.1.1	Geomorfología	28
3.1.2	Estratigrafía	31
3.1.3	Geología estructural	45
CAPÍTULO IV: GEOLOGÍA LOCAL		49
4.1	Geología local	49
4.1.1	Geomorfología	50
4.1.2	Estratigrafía	52
CAPÍTULO V: GEOMECÁNICA		57
5.1	Presión de la roca	57
5.2	Investigaciones geotécnicas de campo y laboratorio	63
5.3	Mapeo geomecánico	67
5.3.1	Caracterización del macizo rocoso	67
5.3.2	Parámetro de resistencia del macizo rocoso	70
5.4	Clasificación geomecánica	71
5.5	Análisis de estabilidad física y diseño de taludes	73
CAPÍTULO VI: YACIMIENTO Y RESERVAS MINERALES		76
6.1	Yacimiento Nicanor Sebastián	76
6.2	Trincheras y calicatas	78
6.3	Muestreo y descripción de muestras	79
6.4	Campaña de exploración 2015 y 2017	87
6.5	Cálculo de reservas	90
6.5.1	Estimación de reservas minerales	90
6.5.2	Método para el cálculo de reservas	95



## RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1.1	Ubicación Nicanor Sebastián IV y Nicanor Sebastián V	4
Figura 1.2	Comportamiento de la temperatura (°C)	8
Figura 1.3	Comportamiento de la precipitación (mm)	9
Figura 1.4	Isoyetas cuenca río Ica	10
Figura 1.5	Comportamiento de la humedad (%)	11
Figura 1.6	Comportamiento de la velocidad del viento (m/s)	12
Figura 1.7	Rosa de vientos	14
Figura 2.1	Diatomita de Ayacucho y diatomita de Ica	16
Figura 2.2	Diatomea pennada y diatomea centrada	16
Figura 2.3	Ambiente de formación marina	17
Figura 2.4	Ambiente de formación lacustrino	18
Figura 2.5	Tierra de diatomitas y diatomita seca	20
Figura 2.6	Banco de diatomitas de la concesión Nicanor Sebastián	22
Figura 2.7	Kainita ( $MgSO_4KCl \cdot 3H_2O$ )	23
Figura 2.8	Kieserita ( $MgSO_4H_2O$ )	23
Figura 2.9	Epsomita en cristales	24
Figura 2.10	Sistema cristalino de la epsomita	24
Figura 2.11	Caverna con mineralización de epsomitas	26
Figura 2.12	Ataque de epsomitas en pinturas	26
Figura 2.13	Epsomita de la concesión	27
Figura 3.1	Cordillera de la costa	29
Figura 3.2	Penillanura costera	29

Figura 3.3	Valle costero	30
Figura 3.4	Estribaciones andinas	31
Figura 3.5	Dunas de arena en la localidad de Guadalupe - Ica	36
Figura 3.6	Mapa geológico de la Región Ica	37
Figura 3.7	Sección de una gabrodiorita porfirítica	40
Figura 4.1	Geomorfología de la zona	52
Figura 4.2	Vista de la Formación Pisco	53
Figura 4.3	Río Ica cerca de la concesión	53
Figura 4.4	Vista de la Formación Guaneros	54
Figura 4.5	Río Ica pasando sobre la Formación Guaneros	54
Figura 4.6	Vista de los depósitos aluviales	54
Figura 4.7	Depósitos aluviales	54
Figura 4.8	Depósitos eólicos sobre la concesión	55
Figura 4.9	Dunas de arena al sur de la concesión	55
Figura 4.10	Plano de la geología local de la concesión	56
Figura 5.1	Dibujo de la columna de diatomita con Mg en su interior	58
Figura 5.2	Dibujo de la erosión de la capa superficial	58
Figura 5.3	Imagen del suelo removido	59
Figura 5.4	Dibujo de la fracturación de la roca	60
Figura 5.5	Resultado del corte directo, deformación y esfuerzo	66
Figura 5.6	Plano de la estación geomecánica	75
Figura 6.1	Epsomita con fragmentos de diatomitas	77
Figura 6.2	Epsomita extraída a 1.2 m de profundidad	77
Figura 6.3	Imagen satelital de las trincheras	78

Figura 6.4	Trincheras cubiertas por arena y polvo	78
Figura 6.5	Puntos de muestreo	80
Figura 6.6	Polígonos de muestreo	88
Figura 6.7	Dibujo de la diatomita inicial	89
Figura 6.8	Dibujo de la presión sobre la diatomita	89
Figura 6.9	Triangulación de las muestras	91
Figura 6.10	Solido resultante con Minesight	93
Figura 6.11	Vista lateral del solido de epsomita	94
Figura 6.12	Datos obtenidos del software Minesight	94
Figura 6.13	Proceso de excavación de una calicata	96
Figura 6.14	Limpieza de la zona de trabajo	96
Figura 7.1	Maquinaria ablandando el terreno	100
Figura 7.2	Proceso de recolección de epsomita	100
Figura 7.3	Imagen de la falta de vegetación en la zona	102
Figura 7.4	Principales elementos de la cantera, en un corte de talud	104
Figura 7.5	Diseño del banco de explotación	105
Figura 7.6	Extracción sales de magnesio en Nueva Zelanda y Australia	107
Figura 8.1	Diagrama bioclimático de Holdridge	116

## RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1.1	Coordenadas Nicanor Sebastián IV	4
Tabla 1.2	Coordenadas Nicanor Sebastián V	5
Tabla 1.3	Rutas de acceso a las concesiones	5
Tabla 1.4	Red de estación pluviométrica en Ocucaje	7
Tabla 1.5	Temperatura media mensual (°C)	7
Tabla 1.6	Precipitación (mm)	8
Tabla 1.7	Humedad en Ocucaje (%)	11
Tabla 1.8	Velocidad del viento (m/s)	12
Tabla 1.9	Efectos de la velocidad del viento en tierra-escala de Beaufort	13
Tabla 2.1	Porcentajes de componentes de las diatomitas	18
Tabla 2.2	Características físicas de las diatomitas del Perú	20
Tabla 2.3	Composición química de las diatomitas en el Perú	21
Tabla 2.4	Características de las evaporitas marinas y lacustres	26
Tabla 3.1	Estratigrafía de la Región Ica	38
Tabla 5.1	Representación de una columna de 2.5 m de material de campo	62
Tabla 5.2	Estación geomecánica	63
Tabla 5.3	Ensayo de corte directo ASTM	65
Tabla 5.4	Sistema de juntas	67
Tabla 5.5	Clasificación RMR de Bieniawski	69
Tabla 5.6	Valoración del macizo rocoso	70
Tabla 5.7	Parámetros de resistencia del macizo rocoso	71
Tabla 5.8	Clasificación del macizo rocoso Nicanor Sebastián IV-V	72

Tabla 5.9	Evaluación de acuerdo a Bieniawski (1989)	72
Tabla 5.10	Descripción de las clases de SMR	73
Tabla 5.11	Evaluación de acuerdo al SRM	73
Tabla 6.1	Método y tipo de muestra recolectada	80
Tabla 6.2	Datos ubicación de las muestras recolectadas	81
Tabla 6.3	Códigos de las muestras analizadas	81
Tabla 6.4	Muestra N° 1	82
Tabla 6.5	Muestra N° 2	82
Tabla 6.6	Muestra N° 3	83
Tabla 6.7	Muestra N° 4	83
Tabla 6.8	Muestra N° 5	83
Tabla 6.9	Muestra N° 6	84
Tabla 6.10	Muestra N° 7	84
Tabla 6.11	Muestra N° 8	84
Tabla 6.12	Muestra N° 9	85
Tabla 6.13	Muestra N° 10	85
Tabla 6.14	Muestra N° 11	85
Tabla 6.15	Muestra N° 12	86
Tabla 6.16	Muestra N° 13	86
Tabla 6.17	Muestra N° 14	86
Tabla 6.18	Muestra N° 15	87
Tabla 6.19	Estimación de reservas minerales	92
Tabla 6.20	Cuadro de resultados obtenidos	94
Tabla 7.1	Producción programada 2021	98



Tabla 7.2	Área efectiva de trabajo	101
Tabla 7.3	Relación de personal y materiales	106
Tabla 7.4	Presupuesto de personal	106
Tabla 7.5	Presupuesto para materiales	106
Tabla 7.6	Costo de extracción	108
Tabla 8.1	Componentes mineros de la concesión	112
Tabla 8.2	Clasificación de suelos según su capacidad de uso	114
Tabla 8.3	Vértices del área de influencia ambiental indirecta	120
Tabla 8.4	Resumen de las actividades de cierre progresivo	122
Tabla 8.5	Lista de componentes considerados para el cierre final	123
Tabla 8.6	Cuadro de monitoreo ambiental	128
Tabla 8.7	Puntos de monitoreo ambiental	129
Tabla 8.8	Hitos de monitoreo ambiental	129
Tabla 8.9	Ubicación de las estaciones post cierre de calidad del aire	130
Tabla 8.10	Datos para el cálculo de presupuesto	131
Tabla 8.11	Calculo costo alquiler retroexcavadora	131
Tabla 8.12	Cronograma de pagos cierre de mina	132
Tabla 8.13	Resumen presupuesto plan de cierre	150

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Generalidades**

A mediados del 2014, se llegó por primera vez a los desiertos de Ocucaje, distrito de Ica. Se tuvo como primera tarea, determinar la presencia del mineral epsomita, que no se halla con facilidad. La epsomita ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) es de suma importancia en la agricultura, aunque también tiene otras aplicaciones como la producción de sal magnesiana.

La presente tesis está enfocada en la aplicación agrícola de la epsomita, ya que por sus características mineralógicas (su gran solubilidad), es un mineral de interés en la agricultura.

### **1.2 Planteamiento de la investigación**

La empresa Comercial Andina Industrial SAC, en su calidad de titular de las concesiones Nicanor Sebastián IV y Nicanor Sebastián V, vienen explotando desde hace algunos años el sulfato de magnesio hidratado, en los desiertos de Ocucaje en Ica.

De la epsomita se obtiene el magnesio para la elaboración de productos agrícolas como fertilizantes, fitohormonas, entre otros. La epsomita se encuentra diseminada principalmente en la roca diatomita, muy abundante en la zona, pero en gran concentración solo se encuentra en algunos lugares, por tal motivo se busca fuentes nuevas dentro de la concesión minera.

Actualmente se explota un promedio de 120 toneladas de mineral al mes, pero la mayor parte de las 120 toneladas está conformada por sílice procedente de la diatomita, y solo el 20% aproximadamente es epsomita.

El rango óptimo para que una carga de 30 toneladas sea aceptada en la planta de procesamiento, es que contenga más del 5% de Mg, pero el yacimiento en su mayoría solo tiene de 1 a 3.5% de Mg, encontrándose pocos lugares que logran sobrepasar este porcentaje. Por esta razón se deben realizar programas de exploración detallados que permitan ubicar nuevas zonas con leyes superiores al 5%.

La epsomita a extraer debe estar preferentemente a poca profundidad, entre los 0.15 a 1.50 m de profundidad ya que cristaliza a poca presión, a una profundidad mayor sólo se encuentra en pequeños rellenos de fracturas. Además, al tratarse de un yacimiento con poca presencia de mineral económico, no se pueden desarrollar programas de exploración a gran escala.

El precio de la epsomita, oscila entre los \$ 100 a \$ 150 dólares americanos por tonelada, dependiendo del porcentaje de Mg que contenga.

Actualmente existen 4 zonas de trabajo que suman un área de 501,912 m<sup>2</sup>, sin embargo, toda el área no tiene ley de Mg en porcentaje aceptable, sino que se han encontrado indicios, con presencia de epsomita cristalizada y sedimentos conteniendo este mineral en forma de relleno tanto en las fracturas como en superficie. La presencia de epsomita tiene un comportamiento aleatorio, ya que puede haber epsomita y en pocos metros desaparecer y volver a encontrarse nuevamente, presenta leyes muy diferentes con incremento o disminución en su contenido de Mg.

### **1.3 Justificación de la investigación**

La presente investigación tiene como finalidad conocer los depósitos de epsomita en Ocucaje, ya que se cuenta con muy poca información disponible, resultando difícil la elaboración de un programa de exploración y explotación. Los procedimientos usados para la exploración y explotación del yacimiento han sido elaborados siguiendo técnicas poco convencionales y guiándose en su mayoría por los análisis químico, ya que la presencia de sílice procedente de la diatomita en donde está contenida la epsomita, hace que cerca del 60 al 70% de lo que se explota solo sea SiO<sub>2</sub>, que se utiliza en la fabricación de los productos agrícolas, ya que se trata de un tipo de sílice soluble, que está siendo utilizada como relleno de los productos.

### **1.4 Ubicación y accesos**

Geográficamente las Concesiones Mineras “NICANOR SEBASTIÁN IV” y “NICANOR SEBASTIÁN V” se encuentran ubicadas, en la Carta Nacional ICA 29-L de la cuadratura del derecho minero. Los mapas que comprende el presente estudio, se presentan mediante coordenadas UTM (Datum WGS 84, Zona 18). Políticamente,

la concesión minera pertenece al Distrito de Ocucaje, Provincia de Ica, Región Ica.  
(figura 1.1, tabla 1.1, tabla 1.2)

Tabla 1.1

Coordenadas de la concesión minera "NICANOR SEBASTIÁN IV" (400 ha)

VÉRTICE	NORTE	ESTE
1	434,768.26	8'405,638.01
2	434,768.26	8'403,638.04
3	432,768.29	8'403,638.04
4	432,768.29	8'405,638.01

Datum horizontal UTM WGS 84.

Fuente: Elaboración propia.

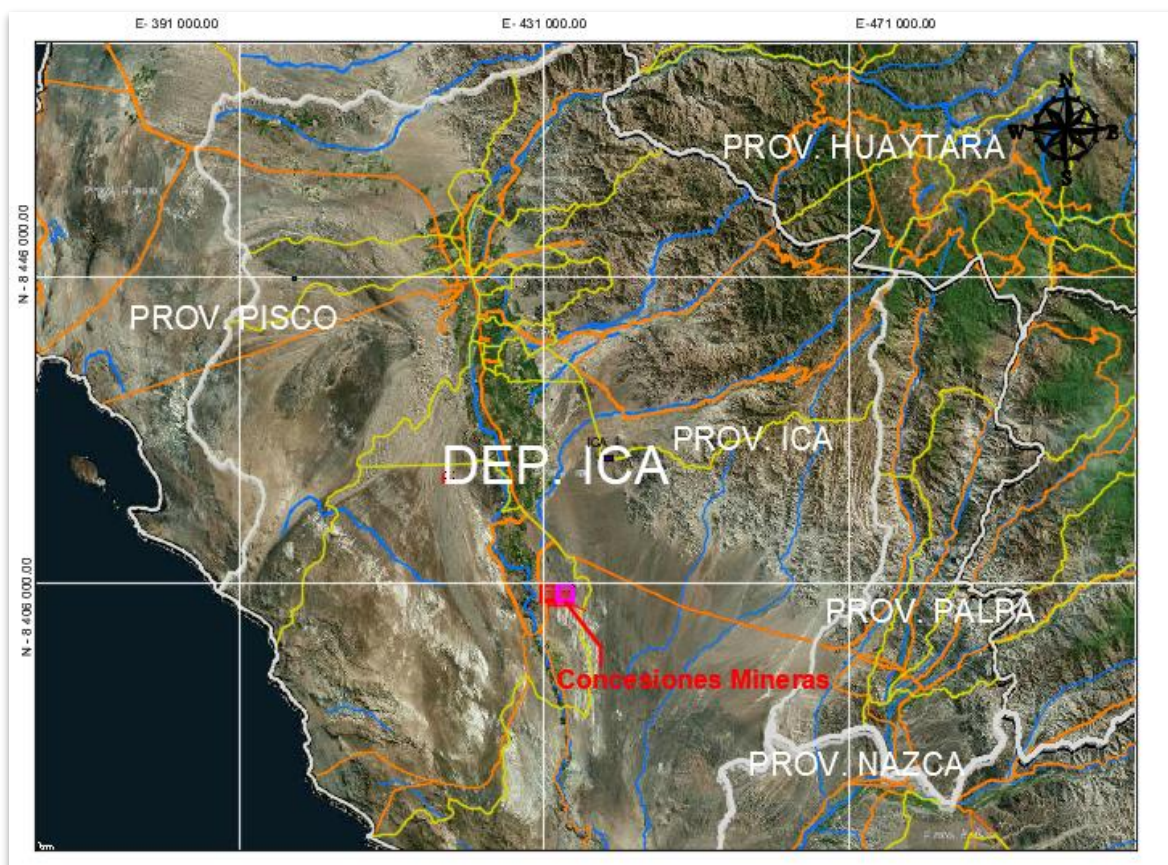


Figura 1.1 Ubicación Nicanor Sebastián IV y Nicanor Sebastián V, con 800 hectáreas.

Fuente: Modificado de Google Earth.

Tabla 1.2

*Coordenadas de la concesión minera “NICANOR SEBASTIÁN V” (400 ha)*

VÉRTICE	NORTE	ESTE
1	432,768.29	8'405,638.01
2	432,768.29	8'403,638.04
3	430,768.02	8'403,638.04
4	430,768.02	8'405,638.01

Datum horizontal UTM WGS 84.

Fuente: Elaboración propia

Se accede a los denuncios mineros NICANOR SEBASTIÁN IV y NICANOR SEBASTIÁN V desde Ocucaje, por la carretera afirmada que se dirige hacia la hacienda Callango. En el punto cuyas coordenadas son 431796.60 E y 8402776.10 N (Datum WGS 84) hay un desvío hacia el este que luego dobla al norte, esta trocha carrozable cruza a las concesiones mineras.

En la tabla 1.3 se muestra la accesibilidad desde la ciudad de Lima a las concesiones mineras.

Tabla 1.3

*Rutas de acceso a las concesiones mineras*

Localidad	Vía de acceso	km	Tiempo
Lima – Ica	Carretera asfaltada	305	4 horas
Ica – Ocucaje	Carretera asfaltada	36	34 minutos
Ocucaje - Callango	Carretera afirmada	23	22 minutos
Callango – Concesiones	Trocha carrozable	8	10 minutos
TOTAL		372	5 hr 7 m

Fuente: Elaboración propia

## 1.5 Clima y vegetación

La clasificación climática de Thornthwaite (citado de Deb consulting 2019), se basa en los conceptos de evapotranspiración potencial (ETP) y en el balance de vapor de agua. Utiliza cuatro criterios básicos de clasificación, índice global de humedad,

variación estacional de la humedad efectiva, índice de eficiencia térmica y concentración estival de la eficacia térmica.

La ETP se determina a partir de la temperatura media mensual, corregida según la duración del día. El exceso o déficit se calcula a partir del balance de vapor de agua, que se obtiene a partir de la humedad ( $I_m$ ), y la ETP. Thornthwaite (citado de DEB consulting 2019) establece dos clasificaciones una en función de la humedad, y otra en función de la eficacia térmica.

Según Thornthwaite (citado de DEB consulting, 2019), en el área del proyecto se puede encontrar el siguiente tipo de clima:

Árido. Deficiencia de lluvias en todas las estaciones, Semicálido. Húmedo. E (d) B'1 H3.

Esta dentro del rango de altitud de 0 a 2000 m.s.n.m., eficiencia de temperatura: Semicálido; con humedad atmosférica: Húmedo; de precipitación efectiva: Árido; y una distribución de precipitación anual de todo el año de deficiencia de lluvias en todas las estaciones con una ubicación aproximada en la franja costera de toda la costa desde Talara hasta Ica en la región natural costa. (DEB consulting, 2019).

Para el análisis y evaluación de las características meteorológicas y clima, se han considerado los registros y datos de la estación meteorológica de Ocucaje, por ser la que se encuentra más próxima al proyecto y presenta características similares al área de estudio. Los datos meteorológicos analizados, para el desarrollo del presente

trabajo, son: temperatura, precipitación, dirección y velocidad del viento. En la tabla 1.4 se muestran los datos de ubicación de la estación meteorológica Ocucaje.

Tabla 1.4

*Red de estación pluviométrica Ocucaje. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*

Estación	Tipo	Ubicación	Latitud	Longitud	Altitud
Ocucaje	Meteorológica Convencional	Ocucaje, Ica	14°22'56.8"	75°40'52.6"	313 m

Fuente: SENAMHI (2019)

### 1.5.1 Temperatura y precipitación

Se estima una temperatura media de 19.6 °C. De acuerdo a los registros de la estación meteorológica de Ocucaje, las temperaturas promedio registradas durante los años, 2009, 2010, 2011, 2012 y 2013 son 18.4, 19.6, 18.7, 22.1 y 19.7°C respectivamente (tabla 1.5, figura 1.2).

Tabla 1.5

*Temperatura media mensual (°C)*

PERIODO	Temperatura Media Mensual °C											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2009	24.9	16.5	25.9	23.6	21.2	17.6	16.6	18.6	18.3	19.9	13.8	3.9
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.8	20.5	22.6
2011	25.9	25.8	27.6	23.5	19.3	18.0	17.7	16.8	18.6	17.2	4.4	9.3
2012	25.6	29.8	26.0	24.2	21.6	19.3	17.4	17.4	19.3	19.8	21.1	23.9
2013	24.7	26.1	25.4	22.1	19.9	17.9	17.4	17.3	19.3	7.9	21.1	26.2
PROMEDIO	25.4	24.0	26.5	23.7	20.7	18.3	17.2	17.6	18.7	18.1	14.9	14.9
IO	3	4	1	9	0	1	4	0	6	9	6	2

Fuente: SENAMHI (2019)



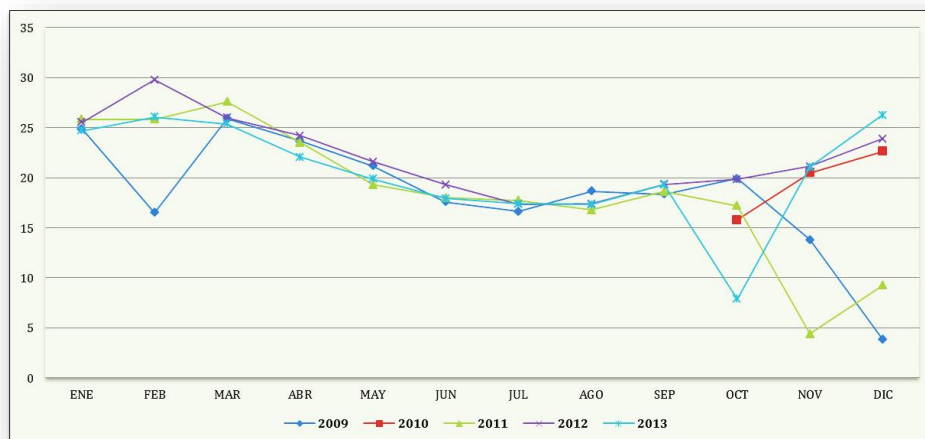


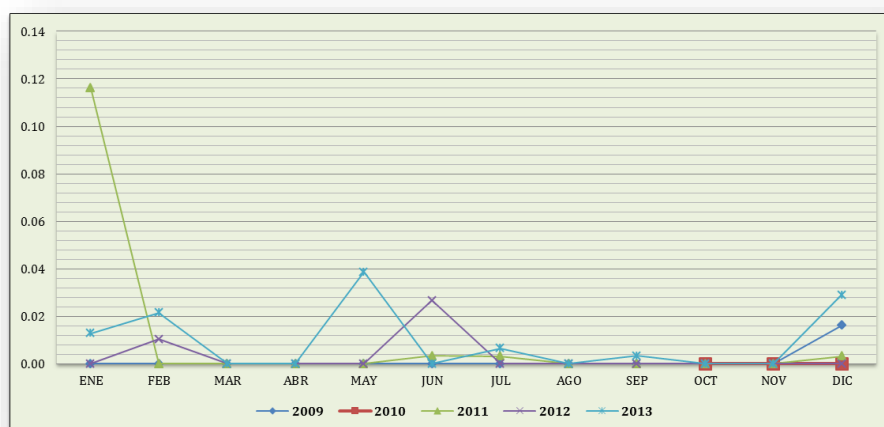
Figura 1.2 Comportamiento de la temperatura (°C)  
Fuente: Elaboración propia.

Según los registros de la estación pluviométrica Ocucaje, las precipitaciones promedio registradas durante los años 2009, 2010, 2011, 2012 y 2013 son 0.0, 0.0, 0.01, 0.0 y 0.01 mm respectivamente (tabla 1.6, figura 1.3).

Tabla 1.6  
Precipitación (mm)

PERIODO	Precipitación (mm)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	Ma	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00
2011	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2013	0.01	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
PROMEDIO	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: SENAMHI (2019)



*Figura 1.3* Comportamiento de la precipitación (mm)

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 1.4 se muestran las isoyetas de la cuenca del río Ica, cada línea representa igualdad de precipitación. Obsérvese en la figura 1.4 que hacia el oeste las isoyetas van desapareciendo, por lo que en la zona de Ocucaje prácticamente no se producen precipitaciones.

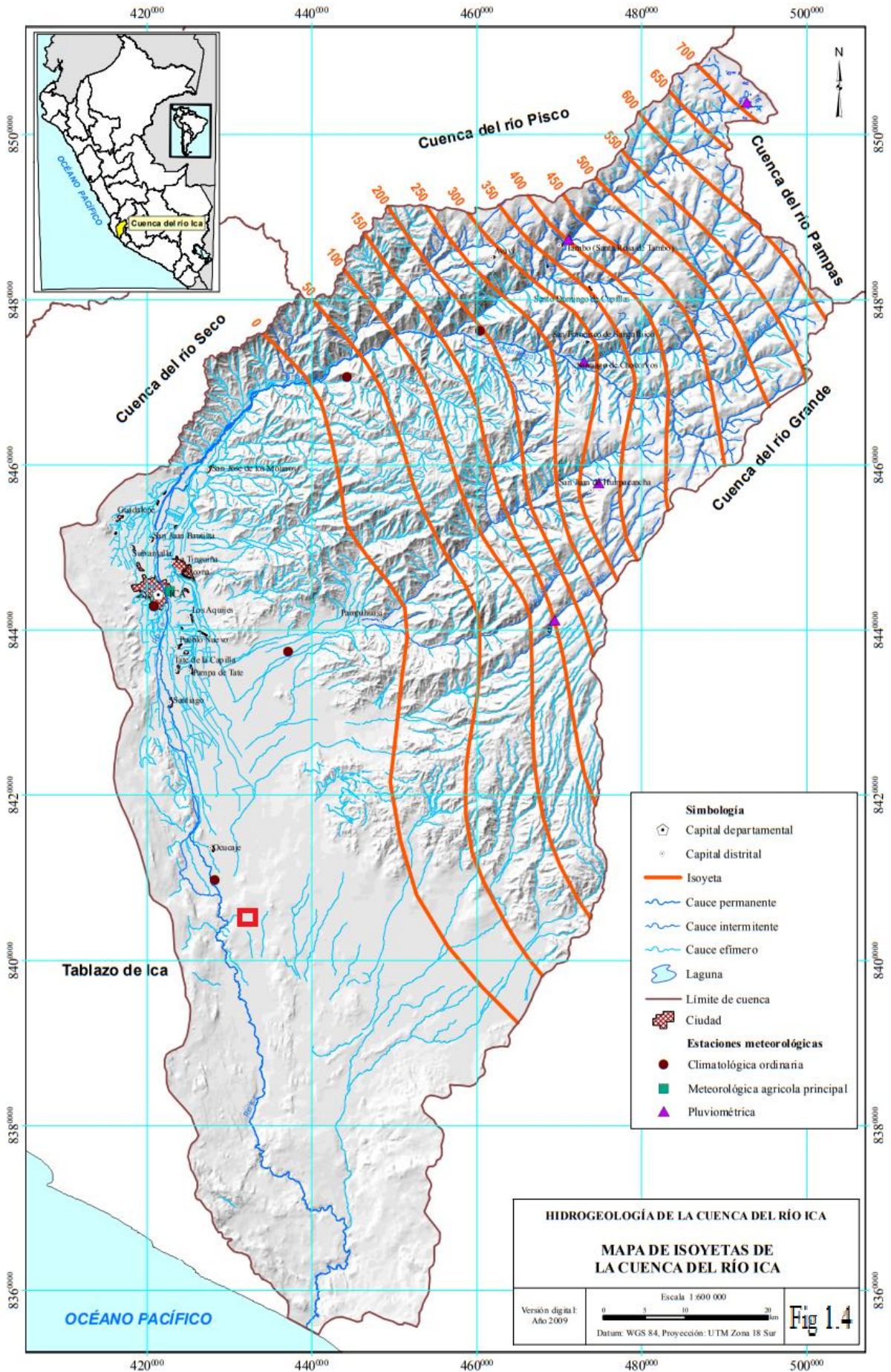


Figura 1.4 Isoyetas de la Cuenca del río Ica  
Fuente: Peña, Sánchez y Parí (2010)

### 1.5.2 Humedad y velocidad del viento

Según los registros de la red de estación pluviométrica Ocucaje, la humedad promedio registradas durante los años 2009, 2010, 2011, 2012 y 2013 son 63.3, 59.4, 63.4, 73.6 y 64.9 % respectivamente (tabla 1.7, figura 1.5).

Tabla 1.7  
Humedad en Ocucaje (%)

PERIODO	Humedad %											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2009	65.0	42.6	63.5	70.8	76.8	79.6	80.3	77.1	76.1	71.0	45.2	11.9
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43.1	69.5	65.5
2011	60.7	63.5	69.7	70.2	74.1	81.5	81.5	78.5	74.1	63.0	17.5	27.1
2012	65.5	70.8	69.2	68.4	77.2	81.7	80.0	79.4	77.2	70.3	72.2	70.9
2013	68.3	66.1	68.7	69.5	73.4	77.7	80.5	76.9	75.2	28.2	69.8	74.8
PROMEDIO	64.9	59.0	67.5	69.8	76.0	80.9	80.6	78.3	75.8	61.8	51.1	43.9

Fuente: SENAMHI (2019)

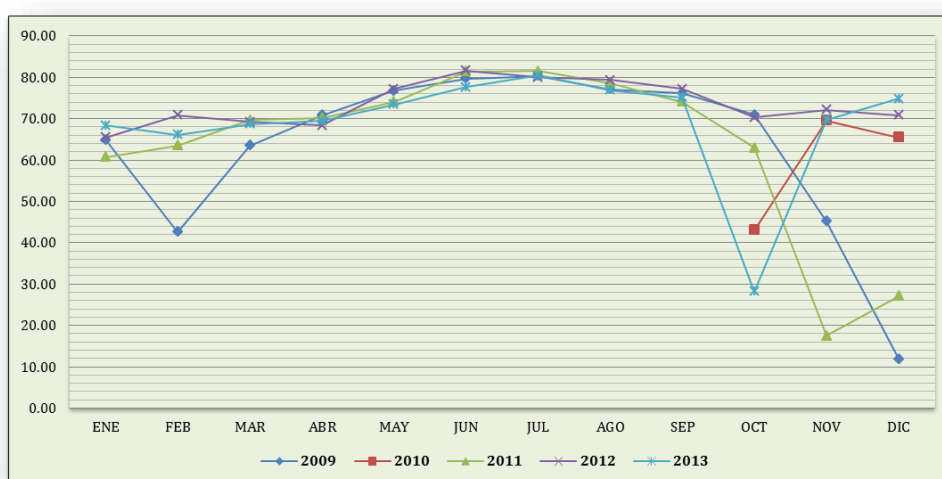


Figura 1.5 Comportamiento de la Humedad en Ocucaje (%)

Fuente: Elaboración propia con datos de SENAMHI (2019).

La estación pluviométrica de Ocucaje también registra la información sobre la velocidad del viento. Véase tabla 1.8 y su comportamiento se grafica en la figura 1.6.

Tabla 1.8  
Velocidad del viento (m/s)

PERIODO	Velocidad del viento (m/s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2009	4.0	2.4	3.0	3.2	3.1	3.0	3.4	3.5	4.6	4.1	2.6	0.5
2010	-	--	--							1.7	3.1	2.9
2011	3.3	3.2	3.3	2.8	2.4	2.8	3.1	3.3	3.2	3.2	0.8	1.4
2012	3.5	3.5	3.4	2.9	2.4	2.5	3.1	3.4	3.3	3.3	3.3	3.6
2013	3.4	3.4	3.1	2.8	2.6	2.6	2.7	3.1	3.2	1.4	3.2	3.5
PROMEDIO	3.6	3.1	3.2	3.0	2.7	2.8	3.2	3.4	3.7	3.1	2.5	2.1

Fuente: SENAMHI (2019)

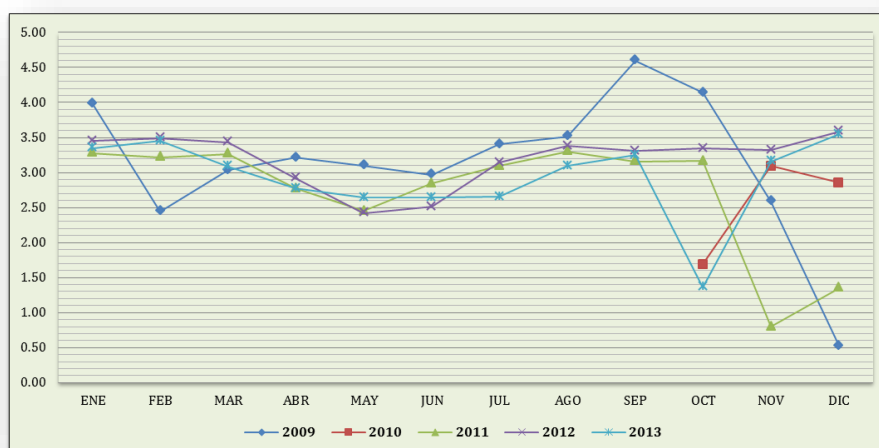


Figura 1.6 Comportamiento de la velocidad del viento (m/s) en Ocucaje  
Fuente: Elaboración propia con datos de SENAMHI (2019).

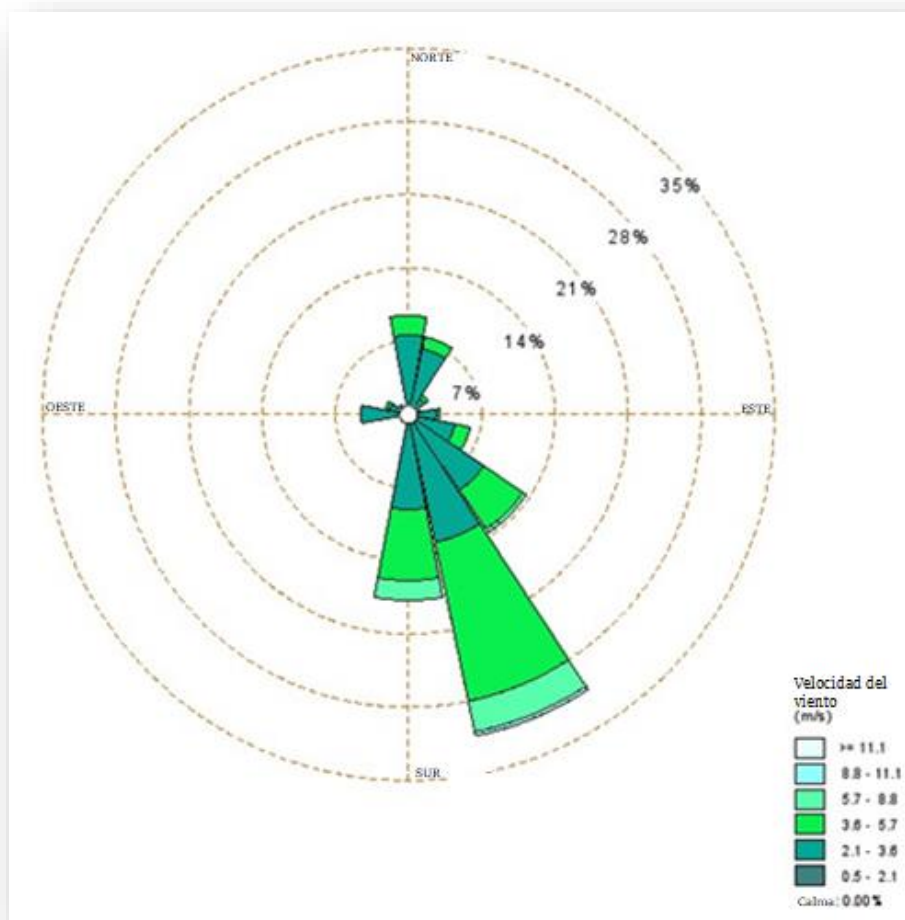
De acuerdo a los registros de viento disponibles (tabla 1.8), la velocidad del viento promedio es de 2.6 a 3.2 m/s. Por lo tanto, los vientos para esta estación, son denominados brisas muy débiles de escala 2, según la clasificación de Beaufort (Citado de Meteorología en red 2019) (tabla 1.9).

Tabla 1.9  
*Efectos de la velocidad de viento en tierra - escala de Beaufort*

Escala Beaufort	Velocidad (m/s)	Denominación	Efectos en Tierra
<b>0</b>	0 - 0.2	Calma	Calma, el humo asciende verticalmente
<b>1</b>	0.3-1.5	Ventolina	El humo indica la dirección del viento
<b>2</b>	1.6-3.3	Flojito (Brisa muy débil)	Se mueven las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos
<b>3</b>	3.4-5.4	Flojo (Brisa débil)	Se agitan las hojas, ondulan las banderas
<b>4</b>	5.5-7.9	Bonancible (Brisa moderada)	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles
<b>5</b>	8.0-10.7	Fresquito (Brisa fresca)	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada
<b>6</b>	10.8-13.8	Fresco (Brisa fuerte)	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas
<b>7</b>	13.9-17.1	Frescachón (Viento fuerte)	Se mueven los árboles grandes, dificultad para andar contra el viento
<b>8</b>	17.2-20.7	Temporal (Viento duro)	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas dificultosa
<b>9</b>	20.8-24.4	Temporal fuerte (Muy duro)	Daños en árboles, imposible andar contra el viento
<b>10</b>	24.5-28.4	Temporal duro (Temporal)	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones
<b>11</b>	28.5-32.6	Temporal muy duro (Borrasca)	Estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles
<b>12</b>	>32.7	Temporal huracanado (Huracán)	Destrucción total

Fuente: Meteorología en Red (2019)

En la rosa de vientos que se muestra en la figura 1.7 se observa que la dirección dominante para la dirección del viento es norte (N) con un 92% de frecuencia y una velocidad promedio anual de 4.6 m/s.



*Figura 1.7* Rosa de vientos

Fuente: Elaboración propia con datos de SENAMHI (2019).

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

Para realizar el presente trabajo de investigación, se examinó información sobre procesos de formación de la diatomita, epsomita; así como sus características más resaltantes.

#### **2.1 Origen de la epsomita**

Se origina principalmente por la evaporación de agua de mar y precipitación de minerales de magnesio ya formados. Las ocurrencias de epsomita son variadas (Garces (s.f)), formándose como incrustaciones o eflorescencias en cavernas de roca carbonatada, en fumarolas volcánicas, en aguas termales y raramente en lechos en capas de evaporita. Los sulfatos de magnesio hidratados según Kriscautzky, Colombo y Brodtkorb (2012), se encuentran principalmente en entornos áridos. Se ha detectado además en varios sitios de la superficie de Marte, donde se hidratan y deshidratan de acuerdo a la presión parcial de agua en la atmósfera marciana.

##### **2.1.1 Roca diatomita**

La diatomita, según García, y Martínez, (2009), es una roca sedimentaria silícea

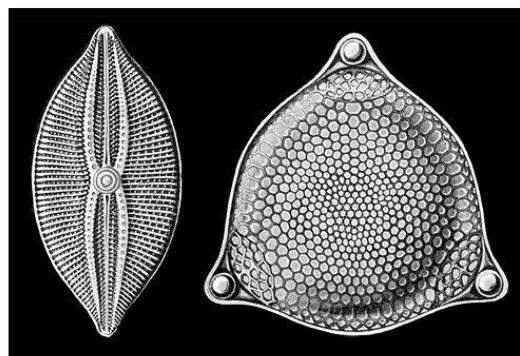


formada principalmente por la acumulación de frústulas (parte inorgánica del alga) de diatomeas. Las frústulas están constituidas por sílice amorfa (ópalo A), un silicato que contiene agua en su interior ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), el ópalo también es componente de los esqueletos de ciertas esponjas, radiolarios y silicoflageados, que pueden aparecer también junto a las diatomeas.



*Figura 2.1* Diatomita de Ayacucho (izquierda), y diatomita de Ica (derecha)  
Fuente: Elaboración propia

Gózales, Herrmann, y Zappettini, (2004) consideran que las diatomeas son organismos unicelulares clasificados como algas, ya que fotosintetizan y normalmente requieren luz y  $\text{CO}_2$  para crecer y reproducirse. Las diatomeas pueden encontrarse prácticamente en todo ambiente donde haya luz y humedad, incluidos los ambientes marinos (a menos de 100 metros de profundidad) y de agua dulce, como también en suelos y hielo. Del total de especies de diatomeas vivientes y fósiles, 70% son exclusivamente marinas y 17% son de ambientes de agua dulce.



*Figura 2.2* Diatomea pennada y diatomea centrada, clasificadas según la distribución de poros y ornamentación. Frústulas de simetría radial o trímica son centradas (imagen derecha). Frústulas de simetría bilateral y forma alargada son pennadas.  
Fuente: Díaz y Ramírez (2009)

La diatomea, según Verdeja, Ayala, Llavona, Vásquez, y Barranzuela, (1993) en todos sus géneros y especies, tiene la capacidad de extraer sílice de su hábitat natural acuoso. Cuando el organismo muere se hunde dentro del medio acuoso, formando un sedimento de carácter orgánico. La descomposición del residuo orgánico deja paso a la acumulación de los caparazones silíceos, los cuales se van compactando para convertirse en depósitos potenciales de diatomita.

La diatomea se asocia a ambientes sedimentarios extensos y poco profundos, principalmente en aguas saladas, en la que existe una lenta deposición de sedimentos clásticos. Además, el agua debe contener abundantes nutrientes y sílice. Debe tratarse de medios protegidos de los aportes terrígenos, para que la acumulación sea suficientemente rica en restos silíceos. Valentín (1996) afirma: “En ambientes marinos las diatomeas proliferan en zonas fóticas, asociado a márgenes activos, donde ocurre el fenómeno de upwelling (fenómeno por el cual las aguas frías de los fondos suben a la superficie)”.

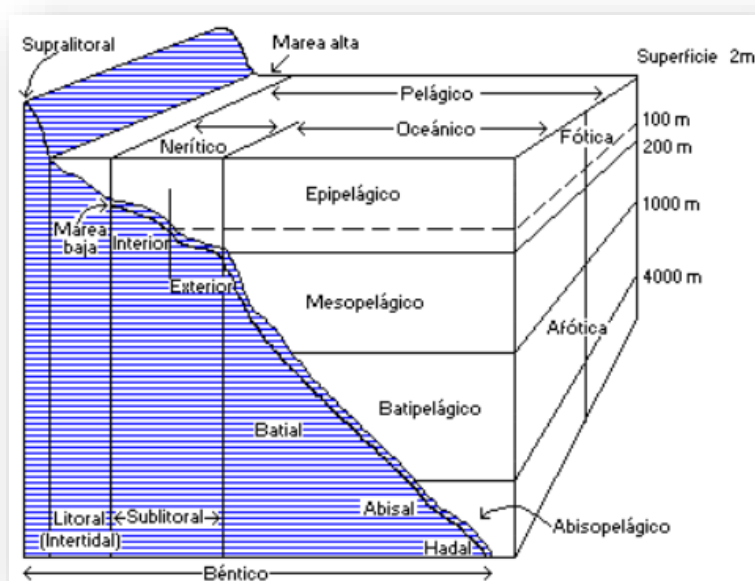
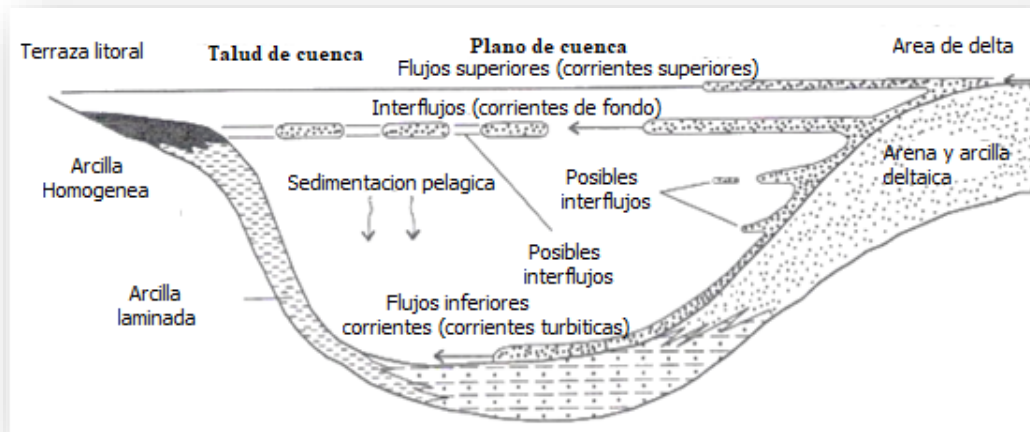


Figura 2.3 Ambiente de formación marina, asociado a márgenes activos. Fuente: Márquez (1996).

En ambientes lacustres las diatomeas están condicionadas a zonas de vulcanismo activo, el vulcanismo provee la sílice necesaria para la proliferación de las diatomeas en agua dulce.



*Figura 2.4* Ambiente de formación lacustrino. Muestra la distribución de los sedimentos y su posterior deposición.

Fuente: Modificado de Sturm y Matter (1978)

### Composición química de las diatomitas

De acuerdo a Díaz y Ramírez (2009) las diatomitas están formadas por sílice opalina o hídrica, con pequeñas cantidades de componentes inorgánicos como alúmina, hierro, y metales alcalinos, y otros constituyentes menores, tal como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1

*Porcentajes aproximados de los componentes de las diatomitas*

SiO <sub>2</sub>	(65-95%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(0.2-8%)
CaO + MgO	(0.1-7%)
K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	(0-5%)
H <sub>2</sub> O + Materia orgánica	(4-15%)

Fuente: Díaz y Ramírez (2009)

### **Características de las diatomitas**

Según Verdeja, et al. (1993) las características son:

- Roca purulenta, fina y porosa con aspecto margoso, es químicamente inerte.
- Color por lo regular blanco brillante (en el caso de alta pureza), también pueden estar coloreadas (contaminación con otros elementos). Adopta los siguientes colores cuando se la prepara: blanco (calcinado con fundente), rosa (calcinado) y gris (sin calcinar).
- Tiene alta porosidad y una capacidad muy alta para absorber líquidos
- Tiene densidad muy baja, 2,0 (la calcinación la incrementa a 2,3).
- Capacidad abrasiva mínima y alta resistencia a la temperatura.
- Conductividad térmica muy baja y punto de fusión entre 1.400°C a 1.750°C.
- Área superficial 10 a 30 m<sup>2</sup>/g (la calcinación la reduce a 0,5 a 5m<sup>2</sup>/g).
- Índice de refracción 1,4 a 1,46 (la calcinación la incrementa a 1,49).
- Dureza de Mohs es de 4,5 a 5, (la calcinación la incrementa a 5,5 a 6)

### **Las diatomitas se utilizan:**

Como filtros en la clarificación y purificación de gran cantidad de líquidos; en procesos químicos y metalúrgicos; en la producción de alimentos, productos farmacéuticos, petróleo. Se utiliza también como carga, aislante absorbente, fuente de sílice reactiva, aditivo en cementos, vehículo catalizador. (Bustillo, 1992, p. 162-163).



*Figura 2.5* Tierra de diatomitas (izquierda) y diatomita seca (derecha) antes de la molienda.

Fuente: Elaboración propia

### **Diatomitas en el Perú**

En las tablas 2.2 y 2.3 se muestran las características y composición de las diatomitas en el Perú.

Tabla 2.2

*Características físicas de las diatomitas en el Perú*

TIPO DE YACIMIENTO	LACUSTRE		MARINO	
	Ayacucho	Arequipa	Piura	Ica
Región				
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	2.22	2.12	2.26	2.51
Densidad Global (g/cm <sup>3</sup> )	0.36	0.4	0.38	0.59
Porosidad total (%)	83.76	80.9	83.24	76.43
Superficie específica (Hg.m <sup>2</sup> /g)	11.3	N.D.	13.5	7.3

Fuente: Verdeja. (1993)

Tabla 2.3  
Composición química (%) de las diatomitas en el Perú

TIPO DE YACIMIENTO	LACUSTRE		MARINO			
	Región	Arequipa	Ayacucho	Tacna	Piura	Ica
SiO <sub>2</sub>		84.89	85.78	68	65.5	73.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		2.62	2.71	8.15	2	9.7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1.04	1.22	3	1.3	3
CaO		0.94	0.64	2	9.6	2.9
MnO		0.03	0.01	0.56		
MgO		0.5	0.55	2.57	3.3	1.2
TiO <sub>2</sub>			0.14	0.31		
Na <sub>2</sub> O		0.92	0.26	1.38	1.9	1.8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0.01	0.02	0.33		
K <sub>2</sub> O		0.58	0.39	1.45	0.5	1.3
PXC		7.34	8.29	11.2	14.75	4.66

PXC: Perdida por calcinación

Fuente: Díaz y Ramírez (2009)

La pérdida por calcinación (PXC), es el porcentaje de disminución de la masa total del material, al ser sometido a altas temperaturas, por lo general es agua y elementos de bajo punto de fusión.

### **Diatomitas de la concesión Nicanor Sebastián**

La diatomita en la concesión Nicanor Sebastián V, no es explotada, porque no es de la calidad que se necesita para la industria, debido a su baja concentración de SiO<sub>2</sub>, que no pasa del 65%, buscándose para su explotación un porcentaje en SiO<sub>2</sub> de al menos 80%. Otra desventaja es que gran parte del material se encuentra contaminado por sedimentos finos, como arenas, limos y en ciertas partes las fracturas de la roca se rellenan con yeso. Además, el color no es el adecuado, ya que es de color gris pálido a gris oscuro, siendo las diatomitas comerciales las de color blanco.



*Figura 2.6* Banco de diatomitas de la concesión Nicanor Sebastián.  
Fuente: Elaboración propia

## 2.2 Epsomita

La epsomita según Bonewitz (2009), se descubrió por primera vez cerca de los manantiales de agua de la ciudad de Epsom, en Inglaterra. Se forma en soluciones de agua marina, lagos salados y aguas de manantial. Cuando el agua se evapora la epsomita precipita y forma depósitos lacustres. También se encuentra como costras en carbón, en las zonas desgastadas de rocas ricas en magnesio, en las zonas de oxidación de depósitos de mena de sulfuros y en cuevas de caliza como en Kentucky, EEUU. El zinc y el níquel pueden sustituir el magnesio en la estructura.

La epsomita se forma en evaporitas marinas y lacustres. El agua de mar, al evaporarse precipita halita, epsomita, yeso, calcita como minerales más abundantes. En algún punto de desarrollo del depósito se pueden transformar tanto en kainita-epsomita-halita, la kainita debido a la solubilidad se descompone en epsomita, con presencia frecuente de halita, cuando los depósitos son de origen marino; o más frecuentemente en carnalita-kieserita-halita, dependiendo del grado de evaporación.

El primer ensamble posee más moléculas de agua en su composición y necesita estar en un ambiente soluble o en lugares protegidos de la evaporación, generalmente cavernas o estratos más profundos de la superficie, el segundo ensamble está relacionado a ambientes más secos donde la carnalita va perdiendo moléculas de agua en su composición, formando progresivamente nuevos minerales de kieserita acompañado siempre de halita.



*Figura 2.7* Kainita ( $\text{MgSO}_4\text{KCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ )

Fuente:

<http://roble.pntic.mec.es/~jfes0017/mineral.php?letra=k&orden=1877>



*Figura 2.8* Kieserita ( $\text{MgSO}_4\text{H}_2\text{O}$ )

Fuente: [https://www.alamy.es/foto-](https://www.alamy.es/foto-kieserita-sulfato-de-magnesio-pakistan-mineral-96354728.html)

[kieserita-sulfato-de-magnesio-pakistan-mineral-96354728.html](https://www.alamy.es/foto-kieserita-sulfato-de-magnesio-pakistan-mineral-96354728.html)

### Características mineralógicas de la epsomita

- Clase mineral: Sulfatos, del Grupo epsomita
- Serie: Epsomita-Morenosita, Epsomita-Goslarita
- Sistema cristalino: Ortorrómico
- Parámetros de celda:

$$a = 11.86\text{Å}, b = 11.99\text{Å}, c = 6.858\text{Å},$$

$$Z = 4; \alpha=0^\circ \beta=0^\circ \gamma=0^\circ$$



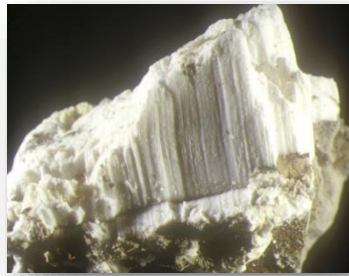


Figura 2.9 Epsomita en cristales.  
Fuente:  
<https://www2.uned.es/cristamine/fichas/epsomita/epsomita.htm>

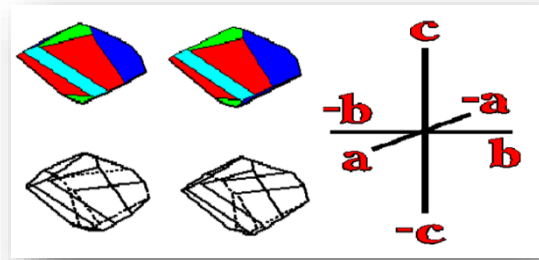


Figura 2.10 Sistema cristalino de la epsomita: ortorrómbico  
Fuente: Garces (s.f)

- Composición química:  $\text{MgSO}_4 \cdot 7(\text{H}_2\text{O})$   
S: 13.01%, H: 5.73%,  $\text{H}_2\text{O}$ : 51.11%, O: 71.40%, Mg: 9.86%.  
De acuerdo a Kriscautzky, Colombo y Brodtkor (2012), si bien la composición química es sencilla,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , el sistema de los sulfatos de magnesio hidratados es complejo, con existencia de fases metaestables.
- Hábito: Fibroso, botroidal o acicular
- Brillo: Vítreo
- Transparencia: Transparente a translúcido
- Color: Amarillo pálido, blanco, rosado pálido, verde pálido o incoloro
- Color de la raya: Blanca
- Dureza de Mohs: 2-2.5
- Tenacidad: Frágil
- Clivaje: perfecto en dos direcciones [010], [101]
- Densidad:  $1,7 \text{ g/cm}^3$  (medida) |  $1,68 \text{ g/cm}^3$  (calculada)
- Se disuelve en agua fría
- Formación de sublimados: Con nitrato de cobalto da un residuo rosa

- Otras propiedades: Tiene una densidad de  $2660 \text{ kg/m}^3$ ;  $2,66 \text{ g/cm}^3$ , masa molar de  $120.36 \text{ g/mol}$  (anhidroso) y  $246.48 \text{ g/mol}$  (heptahidratado)  $\text{g/mol}$ . El punto de fusión es de  $1397 \text{ K}$  ( $1124 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y solubilidad en agua de  $35.5 \text{ g/100 ml}$  ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ).
- Asociación mineral: Los minerales asociados a la epsomita son aragonito, yeso, calcita, mirabilita, pirrotina, kieserita.

La epsomita forma cristales, agregados fibrosos, costras, estalactitas y eflorescencias. Habitualmente se encuentra como eflorescencias en afloramientos de dolomitas y calizas, a menudo también se puede hallar en las paredes de cuevas y en depósitos de lagos salados (tabla 2.4). Asimismo, abunda en paredes de minas de carbón y minas metalíferas, incluso en los soportes de madera y en el material abandonado. Comúnmente se forma como eflorescencias en las paredes de las cuevas como la deposición de material de manantiales salinos. Por lo general, se forma en las regiones áridas y en cuevas secas que lo protegen de la lluvia y la humedad, pues de lo contrario se disuelve. La epsomita también puede formar eflorescencia en los túneles de las minas de sulfuros por la deposición de agua rica en azufre y magnesio durante las operaciones de minería. La epsomita no se ve comúnmente en las colecciones, ya que carece de atractivo, es muy frágil, y se debe mantener en áreas secas para evitar que se disgregue.



*Figura 2.11* Caverna con mineralización de epsomitas.  
Fuente: Galan (2003)



*Figura 2.12* Ataque de epsomitas en pinturas.  
Fuente:  
<http://espiadellabo.com/2014/02/noticia-no5-el-ataque-de-los-sulfatos/>

Tabla 2.4  
*Características de evaporitas marinas y lacustres*

EVAPORITAS MARINAS	EVAPORITAS LACUSTRES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitan a partir del agua de mar</li> <li>• Constituyen el 3% de las rocas sedimentarias</li> <li>• En zona de rift o cerca de márgenes continentales, implica a) Agua de mar entrando en cuencas restringidas; b) Separación del área marina por barras y barreras costeras c) Formación de lagos y lagos costeros</li> <li>• En clima cálido con limitada recarga, comparado con la evaporación.</li> <li>• En zonas áridas</li> <li>• Composición es casi constante</li> <li>• Salinidad del mar promedio es de 35 partes por mil</li> <li>• 12 son los elementos presentes</li> <li>• Constituyen la mayor fuente de sales: halita, yeso, anhidrita y silvita</li> <li>• Asociados a los diversos ciclos evaporíticos mesozoicos, se encuentran los depósitos de baritina (<math>\text{Ba SO}_4</math>), celestina (<math>\text{Sr SO}_4</math>), yeso (<math>\text{Ca}_2\text{SO}_4 \text{H}_2\text{O}</math>), y halita (<math>\text{HCl}</math>), silvita (<math>\text{K Cl}</math>).</li> </ul>	<p>Más diversas en composición, incluyen, además:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Trona (<math>\text{Na}_3(\text{HCO}_3)(\text{CO}_3)2\text{H}_2\text{O}</math>,</li> <li>➤ Mirabilita (<math>\text{Na}_2\text{SO}_4 10\text{H}_2\text{O}</math>)</li> <li>➤ Glauberita (<math>\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2</math>)</li> <li>➤ Bórax (<math>\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 10\text{H}_2\text{O}</math>)</li> <li>➤ Epsomita (<math>\text{MgSO}_4 7\text{H}_2\text{O}</math>)</li> <li>➤ Thenardita (<math>\text{Na}_2\text{SO}_4</math>).</li> <li>➤ También contiene anhidrita (<math>\text{CaSO}_4</math>), yeso (<math>\text{CaSO}_4 2\text{H}_2\text{O}</math>) y halita (<math>\text{NaCl}</math>).</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentran residuos de agua que son volcánicas en origen y agua de lluvia</li> <li>• Están en cuencas de clima árido con sistemática evaporación de aguas de superficie.</li> <li>• En fallas de bloques extensional</li> <li>• En zonas desérticas en cavernas protegidas del sol.</li> </ul>
<p>Para ambos casos, tienen disposición mantiforme y se asocian a diferentes horizontes estratificados, marcando distintos momentos de la evolución de la Cuenca</p>	
<p>Fuente: Garces (s.f)</p>	

### Usos de la epsomita

En agricultura y jardinería, la epsomita se emplea como corrector de la deficiencia de magnesio en el suelo (el magnesio es un elemento esencial en el proceso de la molécula de clorofila). Es común su aplicación en el cultivo de plantas en huerto

o en maceta cuando sus suelos carecen de suficiente magnesio, por ejemplo, para papas, rosas, y tomates. La ventaja de la epsomita sobre otros aditivos de magnesio para el suelo, es su alta solubilidad.

El magnesio ha mostrado tener efectos benéficos al producir relajación del músculo lastimado y disminución de la inflamación. Por lo tanto, se usa para tratamiento de procesos inflamatorios por traumas o para la uña encarnada, en gel se usa sobre heridas y áreas doloridas.

La epsomita se emplea como sales de baño, particularmente en la terapia de flotación, porque altas concentraciones de epsomita disuelta en agua aumentan la densidad de la solución, lo que hace que la persona flote como una boya. En algunas partes del mundo (como en Nueva Zelanda) se añade a las bebidas caseras; en este caso el radical sulfato no es importante, porque es el magnesio es el que proporciona un sabor entre ácido y amargo, debido al ion  $Mg^{2+}$  que actúa como saborizante. No debe confundirse el sulfato de magnesio para agricultura, utilizado en el campo, almacenado junto a pesticidas y otros productos agrarios, con el sulfato de magnesio alimentario o el farmacéutico, que tienen distintas normas del grado de pureza exigido.



*Figura 2.13* Epsomitas encontradas en la concesión de Ocucaje, presentan un hábito fibroso y su color blanco indica que han estado perdiendo agua ya que originalmente estos minerales son cristalinos y transparentes

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO III**

### **GEOLOGÍA REGIONAL**

#### **3.1 Geología regional**

La información ha sido tomada y resumida del Boletín N° 47, Serie A de la Carta Geológica Nacional, Fernández (1993).

##### **3.1.1 Geomorfología**

Las unidades geomorfológicas que se observan en la región se describen a continuación.

**Cordillera de la Costa**, conformada por terrenos de suave elevación, paralelos al litoral, desde el extremo suroeste del cuadrángulo de Ica, hasta la península de Paracas en el cuadrángulo de Pisco, donde desaparece, aparentemente internándose en el mar.



*Figura 3.1* Cordillera de la Costa, cerros en el distrito de Asia, Cañete, Lima.  
Fuente: Google Earth

**Penillanura Costera**, entre la zona de la Cordillera de la Costa y las estribaciones andinas, se extiende una faja con un ancho promedio de 62 km; se caracteriza por la presencia de amplias pampas, como Cabeza de Toro en Pisco, desierto de California en Guadalupe, Los Médanos en Ica.

Estas pampas en la parte occidental están formadas por sedimentos horizontales del Terciario, y, en la zona oriental, vecina a las estribaciones cordilleranas, por acumulaciones aluviales provenientes de la erosión de la cordillera andina.



*Figura 3.2* Penillanura Costera, Pampas de Yauca del Rosario, Ica.  
Fuente: Google Earth

**Valles**, la zona costera se encuentra cortada por valles poco profundos, regularmente amplios y mayormente orientadas perpendicularmente a las estribaciones andinas. Sin embargo, el río Ica, luego de un corto trecho NE-SO, perpendicular a las estribaciones, tiene un gran desarrollo con orientación N-S, debido posiblemente, a la falla cuya escarpa se observa en los cerros Jató y Paraya en Ica.



*Figura 3.3* Valle costero de San Antonio, Ica.  
Fuente: Imagen tomada de Google Earth.

**Estribaciones andinas**, los cuadrángulos de Guadalupe y Córdova se encuentran parcialmente en las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes, donde las alturas varían de 400 m.s.n.m., en el límite con las pampas costeras, hasta los 3600 msnm, en las vecindades de Córdova. El relieve de esta región es abrupto, profundamente cortada por numerosas quebradas de paredes bastante empinadas, con crestas agudas, salvo las más altas, ubicadas entre las quebradas principales, que tienen una pendiente más suave, debido a la menor resistencia de las rocas que afloran en sus cumbres, que son los lugares donde se han preservado los mantos tobáceos del Terciario Superior.



*Figura 3.4* Estribaciones Andinas, Hualla Chica, Carretera Libertadores Pisco-Huaytara.  
Fuente: Imagen tomada de Google Earth

### 3.1.2 Estratigrafía

Basado en la carta geológica del Boletín N° 47, se observan las siguientes unidades estratigráficas: Formación Pisco (*Ts-pi*), Formación Guaneros (*Js-g*), depósitos aluviales, eólicos y eluviales y rocas intrusivas del tipo pórfido granítico (*P-pgr*) y adamelita grano diorita (*P-agd*) del Batolito de San Nicolás, que se describen seguidamente.

**Formación Guaneros (*Js-g*)**, que Bellido y Guevara (1963) describen de la siguiente manera:

En el cerro Portachuelo (Ica) y en otra pequeña colina, situada a 4 km al noroeste de este cerro, se expone una intercalación de derrames volcánicos con sedimentos calcáreos, que constituye probablemente la parte basal de la Formación Guaneros; los derrames son mayormente de tonos violáceos, aunque hay algunos verdosos; su textura es variable, porfirítica, microporfirítica, e inclusive con algunos horizontes afaníticos. Los volcánicos tienen una composición andesítica, pero es posible en ciertos niveles, que el incremento del cuarzo los haga dacíticos. Sus horizontes pueden llegar hasta 50 m de espesor, pero generalmente están formados de varios derrames,



algunos de ellos exhiben una gradación en el tamaño de sus fenocristales, que tienden a ser más gruesos hacia arriba.

Los sedimentos calcáreos presentan variedad en cuanto a textura y composición. Hacia la parte baja de la secuencia son calizas compactas, de color violáceo, estratificadas en capas de 0.30 m y con fragmentos fósiles no identificables. Hacia arriba, las calizas se van haciendo margosas, adquiriendo colores más claros, de marrón a crema; a veces son algo arenosas, con pequeños rodados de 1 a 2 cm de diámetro, diseminados en algunos horizontes; ciertos niveles presentan concreciones y en otros se ha encontrado fósiles pertenecientes al Bajociano. Los bancos de calizas alcanzan de 15 a 20 m de grosor, pudiéndose encontrar dentro de ellos, ocasionalmente, horizontes relativamente delgados de caliza compacta micrítica, de color gris a gris azulado.

En el cerro Mata Caballo (Ica), se encuentran unos cerros aislados que exponen una secuencia similar de brechas y derrames volcánicos, con sus tonos violáceos que se tornan más oscuros, existiendo además roca de textura porfirítica y afanítica de colores grises y algunas prácticamente negras. La edad de la Formación Guaneros va desde el Bajociano hasta el Oxfordfiano.

### **Formación Pisco (Ts-pi)**

Con este nombre Adams (1906), describió una secuencia litológica de color blanco, consistente en diatomitas, con intercalaciones de areniscas tobáceas y lutitas, que aflora desde el río Pisco hasta las vecindades de Camaná. Está expuesta desde el

Monte Caucato (Pisco), al norte sobre el río Pisco, hasta el límite sur del cuadrángulo de Ica. Generalizando, esta unidad aflora en forma de una franja que se ensancha hacia el sur, donde ocupa casi todo el ancho del cuadrángulo de Ica. En algunas secciones, la base de la Formación Pisco está dada por la predominancia de areniscas tobáceas y horizontes de diatomita, estas mismas rocas continúan hacia arriba de la sección, pero con características diferentes, adquiriendo colores más claros de un aspecto aporcelanado.

En las pampas de la zona sur del cuadrángulo de Ica, afloran, por lo menos, 350 m de una litología arcillosa en la base, pero que se hace definitivamente tobáceas hacia arriba, intercalada con horizontes delgados de diatomita y caliza clara, también en lechos delgados. Las lutitas de la base son de un color gris amarillento y están finamente estratificadas. Las areniscas tobáceas son poco consolidadas y se presentan en capas delgadas con estratificación cruzada. En las pampas Ocucaje (Ica), distribuidas en un pequeño sector, se observan unos nódulos fosfatados, en promedio de 2 a 3 cm de diámetro. Estos nódulos, están dispersos en la pampa de Ocucaje, como producto de horizontes erosionados. En las pampas del suroeste de Ica, abundan troncos silicificados, dientes de tiburón, espinas y vértebras de mamíferos de 10 a 15 cm de diámetro. En la margen derecha del río Pisco, está expuesta una sección de 500 m de grosor, que consiste principalmente de diatomitas blancas. Esta secuencia subyace a una sección que aparentemente corresponde a la Formación Cañete.

La litología muestra diferencias en la misma Formación Pisco, expuestas en el norte y en el sur, y dan indicios de distintos ambientes de deposición, en estas regiones.

Mientras que el norte estaba situada la parte más profunda de la cuenca; donde se depositaba la diatomita en un ambiente tranquilo, al sur los depósitos mayormente tobáceos, eran afectados por la acción del oleaje y probablemente por oscilaciones bruscas originadas en la parte continental. Esta deposición se realizó en un mar transgresivo, que iba cubriendo paulatinamente mayor área hacia el este, llegando a sepultar áreas positivas que había quedado como islas durante la deposición de la Formación Paracas. Se aprecia muy bien en faldas orientales del cerro Jato (Ica), donde los sedimentos de la Formación Pisco descansan, en clara transgresión, sobre una superficie de erosión inclinada al oeste-noroeste. La edad de la Formación Pisco, es del Mioceno, y se correlaciona con la Formación Zorritos y la Formación Cardalitos, del noroeste del país.

### **Depósitos aluviales y eluviales**

Bajo este nombre se agrupa a los depósitos clásticos transportados por medio acuoso, y acumulados principalmente en las quebradas o a partir de las estribaciones andinas, constituyendo las amplias pampas aluviales características de la penillanura costera. Los depósitos acumulados en el fondo de las quebradas que consisten en conglomerados gruesos intercalados con arena, limo y arcilla, están bien expuestos en los cortes de los ríos y al pie de las terrazas. En las quebradas tributarias, donde el drenaje es cíclico, en algunas ocasiones el drenaje se presenta en forma violenta (huaycos). Los depósitos, están constituidos por el material acarreado representado principalmente por lodolitas que contienen cantidades variables de fragmentos de roca de dimensiones variables.

Los depósitos eluviales tienen gran distribución en el área, siempre inmediatos a las formaciones rocosas que originan abanicos aluviales, así como los materiales de pie de monte, conos de escombros y sedimentos variados, que se acumularon sin mayor participación de un medio acuoso.

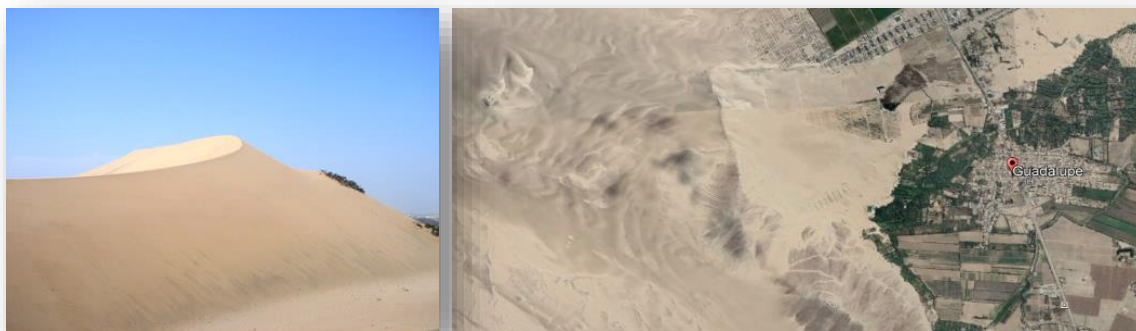
### **Depósitos eólicos**

En la zona costera del área estudiada, una serie de depósitos eólicos están ampliamente distribuidos. Los más antiguos, conforman extensos mantos de arena de escaso espesor, que no pasan de un metro en las áreas de mayor acumulación. Las arenas son de grano grueso y de color gris oscuro, debido a su alto contenido de ferromagnesianos. Estos depósitos presentan generalmente, una superficie ondulada a manera de rizaduras de oleaje (ripple marks), cuyas crestas están separadas de 1 a 1.5 m, con desniveles de hasta 20 cm, en la actualidad son estáticos o con poca movilidad, y ocupan las partes planas o suaves depresiones que ocurren en la zona costera.

Los mantos, de arena más fina y clara compuesta mayormente de cuarzo, tienen mayor movilidad y cubren igualmente grandes extensiones, invadiendo incluso las zonas de arenas oscuras, en las que muchas veces se deposita, rellenando las depresiones dejadas por las rizaduras de oleaje. Estos mantos cuando presentan una superficie rizada, es a escala mucho menor que en los depósitos anteriores.

Otras acumulaciones eólicas de gran volumen, son las dunas, ubicadas sobre todo en la margen derecha del río Ica, en la localidad de Guadalupe y en el desierto de California (Pisco). La primera ocurrencia de Guadalupe es impresionante, constituye

un depósito de 63 km de longitud, en dirección norte-sur, y un ancho promedio de 10 km. Para estos depósitos se estima, un grosor máximo de 100 a 150 m, pero hacia el lado del río Ica aparentan tener un mayor espesor.



*Figura 3.5* Dunas de arena, al margen izquierdo de la localidad de Guadalupe Ica.  
Fuente: Imagen tomada de Google Earth.

Otro tipo de deposición eólica, son las acumulaciones arcillosas que se presentan en las faldas de los cerros de las estribaciones andinas. Estos depósitos están constituidos de un polvo muy fino, suelto, que incluso llega a depositarse en las partes más altas de los cerros. Proviene de las pampas costaneras y son transportados por los fuertes vientos, que en esta parte del país reciben el nombre de “Vientos Paracas”.

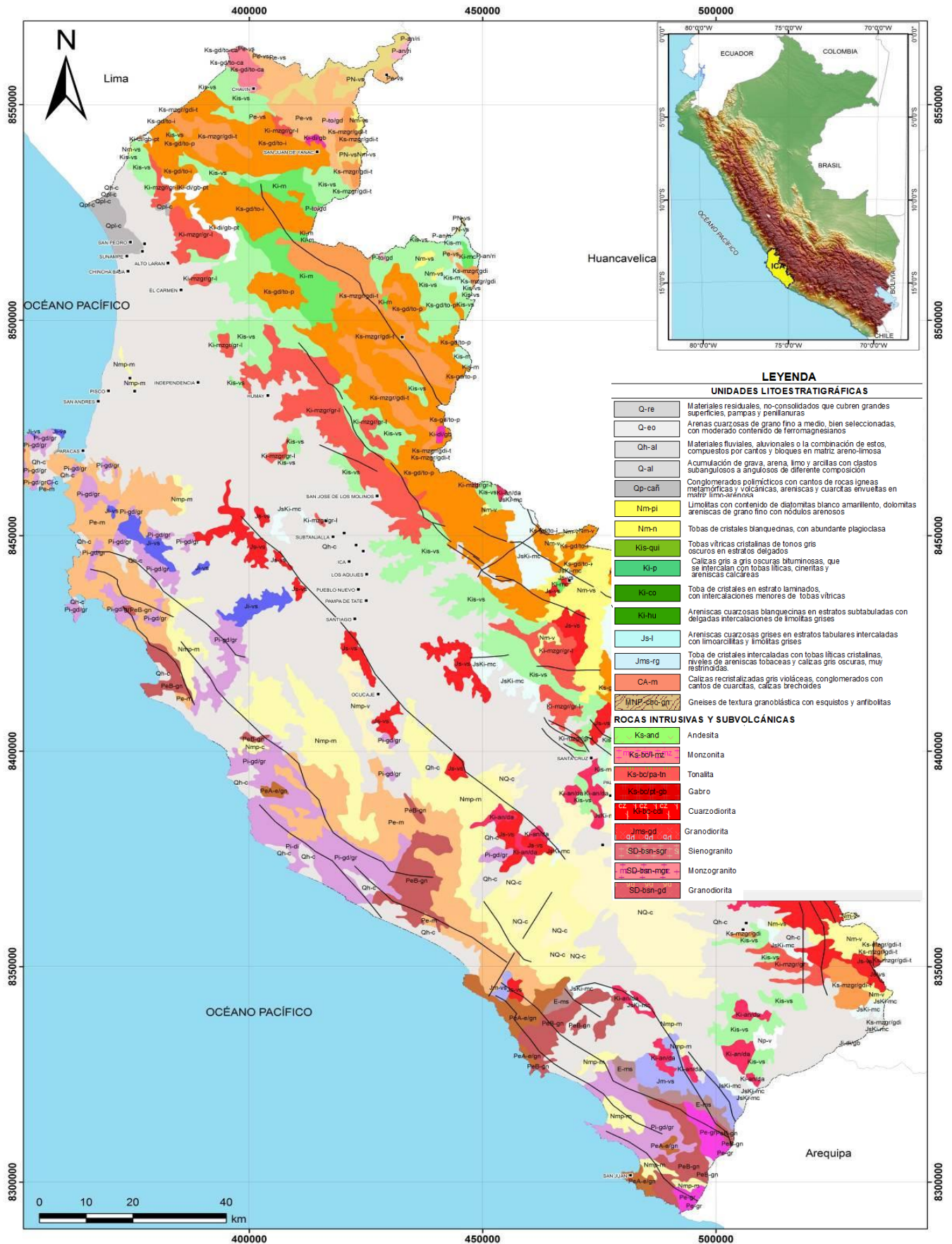


Figura 3.6 Mapa geológico de la Región Ica  
Fuente: Acosta, Rodríguez, Flores y Huanacuni (2011)

Tabla 3.1  
Estratigrafía de la Región Ica

ERA	SIST.	SERIE	UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA		
CENOZOICO	CUATERNARIO	Reciente	Depósitos Marinos	Arena de playa gris oscura		
			Depósitos Eólicos	Arena de cuarzo, tamaño medio		
			Depósitos Aluviales, Eluviales	Arena, limo, cascajo, gravas.		
				<b>DISCORDANCIA</b>		
		Pleistoceno	Formación Cañete	Conglomerados polimicticos, la base consta de areniscas líticas gris oscura.		
		Terciario	Plioceno		(Marino)	(Continental)
	Mioceno			Fm. Pisco / Fm. Pocoto	Diatomitas, limolitas con niveles tufáceos. Areniscas laminadas al techo y areniscas masivas fosilíferas a la base con niveles lenticulares fosfatos	Tobas, flujos piroclásticos, riolitas o dacitas conglomeradas en la base.
		Eoceno	Oligoceno	Formación Paracas	Limolitas claras amarillentas, lutitas con hojuelas, areniscas, gravas fosfáticas gris verdosa, niveles bentónicos.	
	<b>DISCORDANCIA ANGULAR</b>					
	MESOZOICO	CRETÁCICO	Superior	Formación Jumasha	Calizas finas con intercalaciones de calizas nodulares, estratos medianos a gruesos.	
Grupo Quilmana				Volcánicos grises porfíricas con intercalaciones lenticulares de calizas.		
Formación Portachuelo				Calizas, lutitas y margas en estratos delgados.		
Inferior			Grupo Imperial	Calizas grises intercaladas con calizas margosas		
			Formaciones Pariahuanca-Chulec	Calizas en capas con ocasionales horizontes de margas y lutitas		
			Formación Copara	Secuencia de grauvacas verdes y moradas con intercalaciones de cuarcitas, pizarras y volcánicos.		
			Grupo Yura	Areniscas cuarzosas amarillo rojizas intercaladas con lutitas, calizas y volcánicos.		
JURÁSICO		Superior	Formación Guaneros	Intercalación de derrames volcánicos con sedimentos calcáreos y niveles cuarcíticos.		
		Inferior	Formación Chocolate	Volcánicos andesíticos, porfíricos abigarrados.		
		PALEOZOICO	CARBONÍFERO	Inferior	Grupo Ambo	Areniscas gris verdosas intercaladas con lutitas carbonosas, abundantes restos de plantas.
CAMBRIANO	Formación Marcona			Calizas cristalizadas y brechadas.		
	PRECAMBRIANO		Complejo Basal de la Costa	Gneis, esquistos, anfíbolitas, calcosilicatos.		

Fuente: Fernández (1993).

### **Rocas intrusivas**

En la zona de estudio afloran una gran cantidad de rocas intrusivas, con un amplio lapso en edad de emplazamiento y variedad en su composición y textura. El conjunto de intrusivos antiguos, del Paleozoico Inferior, afloran casi exclusivamente en la zona costera; por su composición mineralógica y distribución geográfica tan característica, se le ha denominado Batolito de San Nicolás, al igual que en el área situada inmediata, al sur emplazado entre el Ordoviciano y el Siluriano. Caldas (1978). Mientras que los intrusivos más jóvenes, de edad Cretácico Superior, corresponden al Batolito de la Costa, aflorando principalmente en las estribaciones andinas y por excepción en la llanura costera.

### **Batolito San Nicolás**

El Batolito de San Nicolás, agrupa a un conjunto de rocas intrusivas que afloran en la zona costera y que son anteriores al emplazamiento del Batolito de la Costa. Constituido por granitos y granodioritas, y algunos pequeños cuerpos aislados de gabrodiorita. Algunos cambios de composición mineralógica, están asociados a contaminación del intrusivo por digestión de la roca intruida. La secuencia intrusiva observada en el Batolito San Nicolás es la siguiente: gabrodioritas, granodioritas-tonalitas, granitos y pórfidos graníticos.

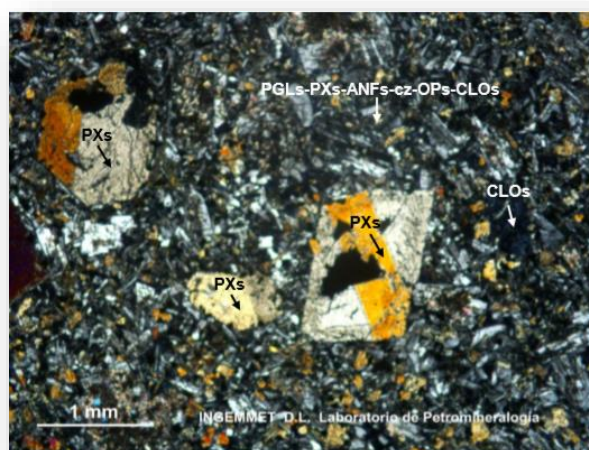
### **Gabrodiorita**

Estos cuerpos son los más antiguos del complejo, y sus afloramientos, siempre de pequeña proporción, ocurren principalmente, al sureste del cuadrángulo de Punta



Grande y suroeste del cuadrángulo de Ica, entre los cerros de Palo Ventó (Punta Grande y los cerros Yaparejos).

La gabrodiorita es de color gris oscuro a negro, bastante dura, de grano medio, aunque en algunos sectores alcanza a tener grano grueso. En la sección delgada que se observa en la figura 3.8, se muestra a la roca con alteración, por cloritas, matriz constituida por plagioclasas, piroxenos, anfíboles, cuarzo, minerales opacos y cloritas; propia más bien de los gabros.



*Figura 3.7* Sección de una gabrodiorita porfírica. Fenocristales de piroxenos (PXs) y molde alterado por cloritas (CLOs) en matriz constituida por plagioclasas, piroxenos, anfíboles, cuarzo, minerales opacos y cloritas (PGLs-PXs-ANFs-cz-OPs-CLOs). Muestra tomada en el límite de Changuillo y Santiago (Ica).

Fuente: Imagen tomada de la litoteca de petromineralogía GEOCATMIN, muestra GR1-11-32 del 17.11.2010.

### **Granodioritas-tonalitas**

Esta unidad está ampliamente distribuida en la zona costera de los cuadrángulos de Pisco, Punta Grande en Ica. Muchas de las lomadas, constituidas por estos intrusivos, que generalmente no involucran sedimentos terciarios, presentan

alineamientos asociados a un fallamiento (escarpas formadas que se alinean casi paralelamente al litoral).

Ocasionalmente, los cuerpos de granodiorita se encuentran asociados a intrusivos menores, de composición granodiorítica a adamelítica y de textura porfiroide, cuyo emplazamiento probablemente sea posterior, es factible tenga un origen común, representando una facie residual, enriquecida en álcalis, del mismo magma granodiorítico; estos cuerpos son de pequeña extensión y marginales de su posición frente a los intrusivos mayores, de color gris, sobresalen los fenocristales de ortosa rosada y pueden estar presentes fenos de plagioclasa y biotita. El cuarzo está restringido a la matriz que además contiene los minerales mencionados, siendo de textura granular fina.

Los principales afloramientos de estos pórfidos menores, están situados cerca al litoral; existe uno en la parte norte del cerro Canastones (Punta Grande), y otros dos en el cerro Alto (Ica), en esta última localidad el granito rojo intruye al pórfido, y ambos son cortados por un enjambre de diques, principalmente doleríticos, asimismo en el cerro Sargaso (Pisco), existen dos afloramientos cortados por un pórfido cuarcífero, presentan fenocristales de plagioclasa y cuarzo que alcanzan hasta 3 mm., en una matriz principalmente microgranular compuesta de los mismos minerales más ortosa.

### **Granitos y pórfidos graníticos**

Los granitos y pórfidos graníticos se hallan ampliamente distribuidos en la zona costera, notándose cierta correlación basada en la textura y dimensión de los cuerpos con ocurrencia geográfica de los mismos.

Los cuerpos de textura equigranular son generalmente de mayores proporciones, y están emplazados en el sector sur, a partir de la latitud de Ica. Los cuerpos porfiríticos son de menor extensión, se localizan principalmente entre la península de Paracas y la región norte del cuadrángulo de Punta Grande. El sector entre estas dos áreas, se ven con la misma frecuencia, rocas graníticas equigranulares y rocas de textura porfirítica.

**Granito**, compuesto por sub-unidades de diferente composición y textura, es así que, con relación a la composición, la relación ortosa-plagioclasa es variable, mientras que el porcentaje de los ferromagnesianos permanece más o menos constante, con diferentes grados de alteración. Respecto a la textura, la variación del tamaño del grano caracteriza a estos intrusivos, en ciertos casos ocurre en distancias muy cortas, debido a que son intrusivos gradacionales. En general estos cuerpos graníticos son más adamelíticos en la zona sur, llegando a tener incluso mayor proporción de plagioclasa que de ortosa, manteniéndose la proporción de cuarzo y ferromagnesianos dentro de los límites normales.

**Pórfidos graníticos**, son cuerpos emplazados mayormente en la región comprendida entre la península de Paracas y el cerro Los Nedanos (Punta Grande), al sur de Jahuay Grande (esquina noreste del cuadrángulo de Punta Grande).

**Edad del Batolito San Nicolás**, la granodiorita-tonalita, se emplazó antes que las rocas de composición granítica, pues se ha observado en cerro Alto, al suroeste del cuadrángulo de Ica, que el granito rojo intruye a un miembro de la granodiorita; es decir, al pórfido granodiorítico. Por otro lado, en el extremo noroeste de la península de Paracas, la misma granodiorita es cortada por un dique grueso de pórfido granítico rojo. Las observaciones muestran que en general las rocas graníticas de textura porfirítica son posteriores e intruyen a las rocas graníticas de textura equigranular. Se puede postular, asimismo, aunque sin plena seguridad, que los pórfidos granodioríticos son posteriores a las granodioritas. Estos pórfidos granodioríticos, sin embargo, son anteriores a los granitos y por consiguiente intruidos por ellos.

Al no haber relaciones con roca paleozoicas, la edad del Batolito de San Nicolás, se basa en observaciones hechas en el área vecina expuesto en los alrededores de Marcona, que se considera como su prolongación y que se emplazó entre el Ordoviciano y el Siluriano. Caldas (1978).

Las rocas del Batolito cortan al Complejo Basal de la Costa del Precambriano y es cortado por los hipabisales Bella Unión, del Cretácico medio a superior.

### **Batolito de la Costa**

Las rocas plutónicas que afloran en los cuadrángulos de Guadalupe, Ica (esquina noreste) y Córdova, pertenecen al Batolito de la Costa, segmento Arequipa, (Cobbing, 1977). Está compuesto de las siguientes Superunidades: Patap, Linga, Pampahuasi, Incahuasi y Tiabaya, y el plutón Characas.

**Superunidad Patap (K - gb)**, el emplazamiento de esta Superunidad, constituida por afloramientos de gabros variables en su composición, fue el primer episodio de las intrusiones del plutonismo batolítico. Los gabros de la Superunidad de Patap, son las rocas más antiguas del Batolito de la Costa, segmento Arequipa, y, por estar cortando estratos albianos.

**Superunidad Linga (K-mzdi, mgr-l)**, la Superunidad Linga con excepción de los gabros Patap, constituye los emplazamientos más antiguos del Batolito de la Costa, segmento Arequipa. Los afloramientos monzoníticos se pueden observar desde la quebrada Santa Catalina hasta el valle del río Ica. En las rocas de la Superunidad Linga se efectuaron dataciones radiométricas por el método K-Ar, obteniéndose una edad de emplazamiento de 97.3 Ma.

**Superunidad Pampahuasi (K - di - p)**, la litología consiste de diorita y tonalita; su mineralogía está constituida por agregados de hornblenda sin núcleos de piroxenos, y biotita. La hornblenda y biotita están en igual proporción. Con muestras de rocas de la Superunidad Pampahuasi, se efectuaron dataciones radiométricas por los métodos de K-Ar y U-Pb, obteniéndose una edad de emplazamiento de 94 Ma.

**Superunidad Incahuasi (K - gd - m)**, litológicamente está dominada por granodioritas. Los xenolitos cerca de los contactos, constituyen una característica común de las unidades. Las dataciones radiométricas por el método de K-Ar

efectuadas en el río Pisco con las rocas de la Superunidad Incahuasi dan una edad de 82.5 - 1.4 Ma.

**Superunidad Tiabaya (K - gd - t)**, es un miembro joven de los componentes del Batolito. Los plutones Tiabaya se caracterizan por su naturaleza leucocrática. La mayoría de afloramientos de la Superunidad son de naturaleza granodiorítica, pero sus variantes van de tonalita a monzogranito. La Superunidad Tiabaya está compuesta por plutones jóvenes del segmento Arequipa, y las dataciones radiométricas por el método K-Ar dan una edad de  $80.5 \pm 1.4$  Ma.

**Monzogranito Characas (K - mg - ch)**, este plutón es el último episodio del Batolito y está formado por dos pequeños afloramientos, localizados en la quebrada Characas y en la quebrada Cóndor. Este monzogranito es de color rosado intenso, contiene cantidades iguales de plagioclasa, cuarzo y feldespatos potásicos. No se han efectuado dataciones radiométricas con las rocas del monzogranito Characas, sin embargo, en el área de la quebrada Huancano la adamelita Tiabaya es cortada por varios aplogranitos que están relacionados al monzogranito Characas, lo que indica que éste es más joven que la Superunidad Tiabaya.

### **3.1.3 Geología estructural**

Durante el Precambriano y Paleozoico inferior se desarrollaron complejos eventos de deformación y metamorfismo. La escasez de afloramientos paleozoicos en la zona, no hacen posible su análisis, razón por la que, se limita a exponer el desarrollo estructural a partir del Mesozoico.

El área sufrió deformación de dos tipos, lo que ha conducido a considerar dos unidades estructurales definidas: la primera, el plegamiento de la secuencia mesozoica más claramente expuesta en las estribaciones andinas que en la región costera; y la segunda unidad, fallamiento en bloques, que se evidencia en la región de la costa, pues en la región andina se ve un tanto oscurecido por el emplazamiento del Batolito de la Costa.

### **Zona plegada**

La deformación compresional del área tiene su más clara manifestación, en el plegamiento existente en la Cordillera Occidental, reconocido a lo largo de la vertiente occidental de esta cadena de orientación norte-sur, donde en ciertas áreas se presenta interrumpida, por la presencia de diversos cuerpos que forman el Batolito de la Costa.

El plegamiento se caracteriza por la suavidad de sus estructuras; su desarrollo puede haber estado controlado por la litología ya que el plegamiento es más apretado en la zona oriental, donde el porcentaje de sedimentos es mucho mayor que en la zona occidental, donde predominan los volcánicos en la secuencia estratigráfica.

El plegamiento andino es sumamente complicado en la zona, principalmente, por un fallamiento pre-intrusivo que se ve hasta cierto punto oscurecido por este, por el grado de recristalización y endurecimiento que ha impartido a las rocas que presentan un aspecto masivo. Esto es más notorio, sobre todo en las porciones poco

extensas, incluidas dentro de los intrusivos, las cuales, forman indudablemente intensos enclaves o techos colgantes.

Hacia el este, hasta los límites orientales del Batolito de la Costa, el plegamiento se hace más apretado y definido, por el menor número de fallas y por la naturaleza de las rocas que no han sufrido una apreciable alteración térmica, como en el caso del sector occidental.

El plegamiento de este tipo está casi exclusivamente restringido a la esquina nororiental del cuadrángulo de Guadalupe, donde una secuencia sumamente plegada, muestra una serie de anticlinales y sinclinales apretados con amplitudes entre 200 y 600 m., con buzamientos que llegan hasta los 50° o 55°. Este es el tipo de estructura que predomina más al este y sureste, siguiendo la dirección de los pliegues aquí descritos.

El plegamiento andino en la zona involucra a rocas sedimentarias y volcánicas cuyos niveles más altos llegan al Cretácico superior, no encontrándose discordancia angular aparente conjuntamente con un solo episodio de deformación. Por otro lado, los intrusivos que son posteriores al plegamiento, parecen ser de una edad pre-Mioceno o tal vez pre-Eoceno medio, por lo menos en la parte occidental. De esta manera la edad del plegamiento queda fijada, de manera tentativa, entre el Cretácico Superior y el Eoceno Medio o tal vez Oligoceno.



### **Zona de fallas**

La región costanera, principalmente el área comprendida entre la península de Paracas y la parte situada al oeste del río Ica, se caracteriza por un fallamiento en bloques, cuya existencia se sospecha al observar la presencia de afloramientos de rocas intrusivas con uno o más lados rectos, que destacan nítidamente en las pampas. Casos similares, pero con fallas visibles son comunes en los altos acantilados que forman el litoral, principalmente en el área de Paracas y más al sur, en Punta Grande. Por último, en la región en que afloran las rocas volcánicas y sedimentarias del Jurásico y del Cretácico, el fallamiento es evidenciado por la falta de continuidad en la estratificación, por la abrupta desaparición de estructuras y por el cambio brusco de litologías.

En resumen el área de fallamiento en bloques, situada en la zona costanera, ha sufrido las consecuencias de plegamiento andino, pero con una menor intensidad, siendo su característica principal presentar una serie de bloques, originados por varios eventos de fallamiento, difíciles de localizar exactamente en el tiempo, pero correlacionables con los periodos de reacomodo, generados después del plegamiento andino, y, posteriormente con la etapa de ascensión del litoral y levantamiento de la cordillera.

## **CAPÍTULO IV**

### **GEOLOGÍA LOCAL**

#### **4.1 Geología local**

Se ha utilizado la información del Boletín N° 47 de la serie A de la Carta Geológica Nacional, de la cuenca Pisco, que son depósitos terciarios. En la zona existen estudios procedentes de la localidad de Lomas de Ullujaya, Ocucaje, distinguiéndose afloramientos que corresponden a unidades litoestratigráficas del Mioceno inferior a medio.

Se han reportado elementos sedimentarios y paleontológicos, como dientes de seláceos y pelecípodos, que en conjunto mediante el análisis de las secciones estratigráficas, se han interpretado los procedimientos sedimentarios, como registros de intervalos regresivos dentro de secuencias correspondientes a una gran transgresión marina, y allí es donde se han observado especies de tiburones fósiles, tales como *Isurus hastalis*, *Isurus desori*, *Galeocerdo aduncus* y *Hemipristis serra*, asumiendo ambientes de transición infralitoral a circalitoral, respecto a la geocronología, son atribuibles a capas del Mioceno inferior a medio.

### **4.1.1 Geomorfología**

Presenta una geomorfología muy diferenciada, ya que también muy cerca de la concesión a menos de 1 km de distancia, por el lado oeste, se tiene al río Ica, y siguiendo la dirección de oeste a este se va pasando por otros relieves que van desde el montañoso de la Formación Guaneros y después la del llano o planicie desértica de la Formación Pisco. Por tanto, la geomorfología estaría muy influenciada por la acción de la cuenca del río Ica.

En el estudio de la geomorfología de la cuenca del río Ica que realizaron Olivares, Taype y Castro (1994), identificaron cinco unidades geomorfológicas, así como las características más notables de su relieve y drenaje.

#### **Unidad I: Ribera Litoral**

Con una altitud estimada entre 0 a 10 msnm, presenta una topografía llana de litoral de playa, con pendientes entre  $0.5^\circ$  a  $2^\circ$  con tendencia ascendente hacia el lado este.

#### **Unidad II: Llano Aluvial - Pampa Costanera**

Cuya altitud varía entre los 10 a 800 msnm, de pendientes naturales del orden de  $1^\circ$  a  $10^\circ$  con afloramientos locales de colinas y cerros bajos. Está limitada al oeste por la ribera litoral y al norte, sur y este por una cadena de cerros bajos que corresponden a las estribaciones occidentales de los Andes.

### **Unidad III: Estribaciones del frente andino**

Comprendida entre los 400 a 800 msnm, corresponde a una cadena de cerros que se levantan bruscamente sobre las pampas costaneras y el cono de deyección extendiéndose por ambos márgenes del valle, se caracteriza por presentar un relieve suave a moderado con pendientes entre 5° a 25°.

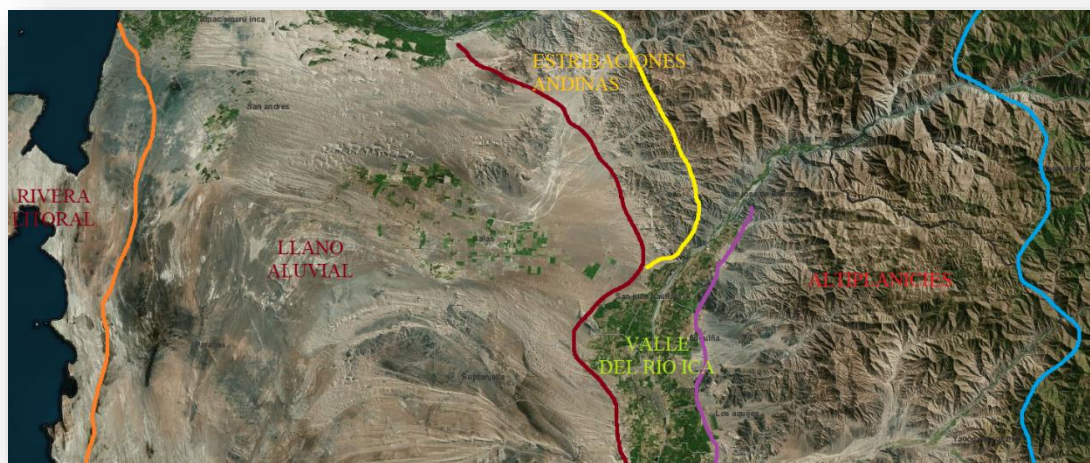
### **Unidad IV: Valle del río Ica y quebradas tributarias**

Ocupa la mayor parte de la cuenca y está comprendida entre 800 a 4,400 msnm, fuera de la Provincia de Ica. Se caracteriza por presentar una topografía que varía de suave hasta abrupta, con pendientes naturales comprendidas entre 5° a 80° o más.

### **Unidad V: Altiplanicies**

Se encuentran a una altitud de 4,400 a 4,600 msnm, que ascienden suavemente hasta la divisoria de aguas. Presenta un relieve moderado, con formas de tipo modelado, glaciar y fluvioglaciar, está constituido mayormente por pampas, colinas y cadenas de cerros bajos, con variaciones locales pertenece al Departamento de Huancavelica.

En el área de la concesión solo se observa hasta la Unidad IV, las zonas de altiplanicies están muy alejadas de la concesión, casi un 60% de la concesión presenta una morfología plana comprendida por pequeñas dunas de arena y diatomita, el resto está comprendido por formaciones rocosas de la Formación Guaneros y granodioritas del Jurásico Medio.



*Figura 4.1* Geomorfología de la zona, rívera litoral de la costa de Paracas limitada por la línea naranja entre pampa costanera de Paracas hasta Subtanjalla, valle del río Ica en La Tinguiña limitada por la línea roja y violeta., estribaciones andinas en Humay limitada hasta la línea amarilla y altiplanicies de Santiago de Chocorvos hasta la línea celeste.

Fuente: Modificado de Google Earth

#### **4.1.2 Estratigrafía**

##### **Formación Pisco (Nm-pi)**

La Formación Pisco corresponde al terciario marino del Mioceno, en su conjunto son diatomitas, y aflora ampliamente en la margen derecha de la concesión y delimita lateralmente al relleno aluvial donde se almacena agua.

Litológicamente se observan conglomerados bioclásticos y areniscas cerca del basamento, limolitas tobáceas, areniscas y horizontes de cenizas volcánicas, limolitas diatomáceas, diatomitas, fosforitas, dolomitas y pocas calizas. Las capas de grava y areniscas se intercalan a lo largo de la sección, la litología dominante es de limolitas arenosas tobáceas. La epsomita se ha formado principalmente en las facies diatomíticas de la Formación Pisco.



*Figura 4.2* Vista donde se aprecia la Formación Pisco, con cobertura eólica en la parte inferior, que aflora ampliamente en la margen derecha del río Ica.

Fuente: Elaboración propia



*Figura 4.3* El río Ica, a 1 km al oeste de la concesión Nicanor. Meandro cortando a la Formación Guaneros.

Fuente: Google Earth

### **Formación Guaneros (Js-gu)**

Aflora en ambos márgenes del río Ica, observándose en los cerros Ocucaje, Jato, Paraya, Chiquería Chico y Chiquería Grande. Litológicamente es una secuencia volcánico sedimentaria conformado por derrames de andesitas a dacitas de tonos violáceos, de textura porfírica a afanítica, presenta además una pseudo estratificación. Existen también, afloramientos de volcánicos y cuarcitas grises a gris amarillento con lutitas pizarrosas. Los sedimentos calcáreos son calizas compactas de color violáceo arenosas de tonalidad rojiza que hacia arriba son margosas con colores claros cuyo espesor es de 15 a 20 m. Las areniscas y calizas han tenido fuerte recristalización por lo que los niveles de areniscas se han transformado en cuarcitas.

La Formación Guaneros constituye el basamento rocoso que delimita en la parte superior e inferior al relleno aluvial que conforma el acuífero en la zona de estudio.



*Figura 4.4* Formación Guaneros, a la izquierda en la parte baja presenta una cobertura eólica.

Fuente: Elaboración propia



*Figura 4.5* Formación Guaneros cortada por el río Ica en Chiquenillo Ocucaje.

Fuente: Google Earth

### Depósitos aluviales

Constituidos por materiales acarreados por aguas que discurren por la cuenca y que van tapizando su piso, habiéndose depositado en el trayecto a lo largo y ancho de la zona de Ocucaje. Litológicamente está constituido por depósitos de gravas, cantos y guijarros en una matriz areno-limosa o arcillosa formando horizontes de espesores variables, presentándose en forma alternada en sentido vertical.



*Figura 4.6* Vista de los depósitos aluviales, en estos se ha desarrollado una vegetación abundante en causes húmedos.

Fuente: Elaboración propia



*Figura 4.7* Depósitos aluviales, se observan cantos rodados, arena y arcillas.

Fuente: Elaboración propia

### Depósitos eólicos

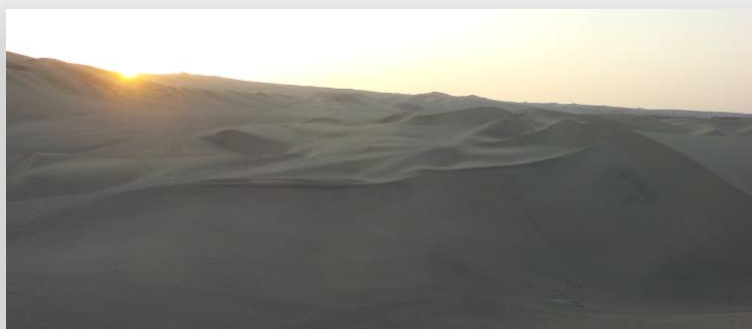
Los depósitos eólicos se presentan como mantos de arena por aspersión eólica, se encuentran mayormente cubriendo los afloramientos rocosos de las Formación Pisco y la Formación Guaneros. Estos depósitos se caracterizan por el tamaño de las arenas (finas), entremezclado con partículas mucho más finas (arcilla o limo), material que debió ser transportado por el viento como polvo eólico. Son los depósitos más jóvenes dentro del área de la concesión.

Los depósitos eólicos se pueden observar cubriendo parcialmente los cerros Ocucaje, Ballena, Blanco, Pinilla, Coronado y Piscontes, así como las extensas pampas de Ocucaje y otras.



*Figura 4.8* Depósitos eólicos, que cubren extensas zonas en la planicie de Ocucaje, al fondo se ven las diatomitas de la Formación Pisco.

Fuente: Elaboración propia



*Figura 4.9* Dunas de arena ubicadas al sur de la concesión Nicanor.

Fuente: Elaboración propia



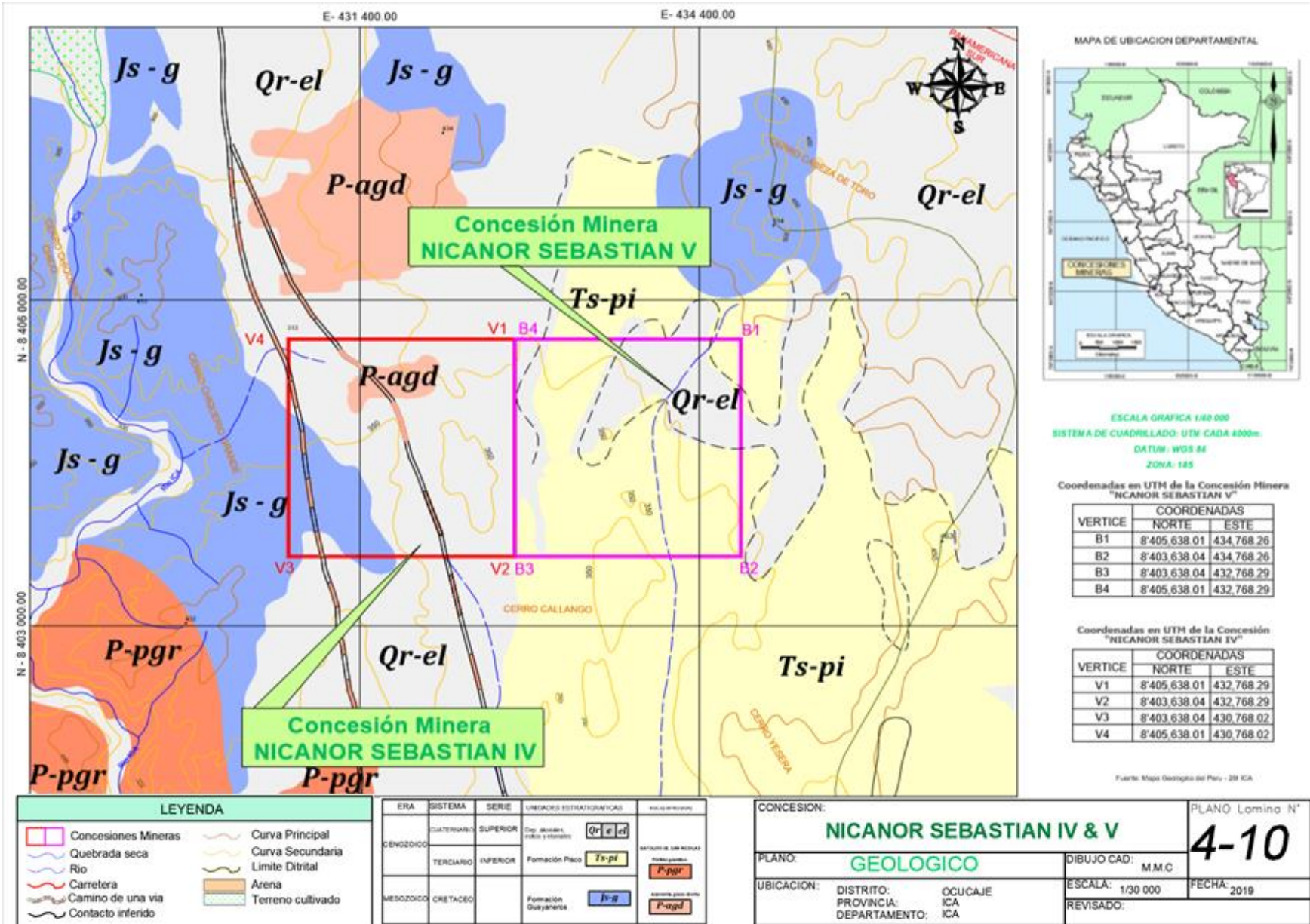


Figura 4.10 Geología local de la zona de concesión.  
 Fuente: Elaboración propia.

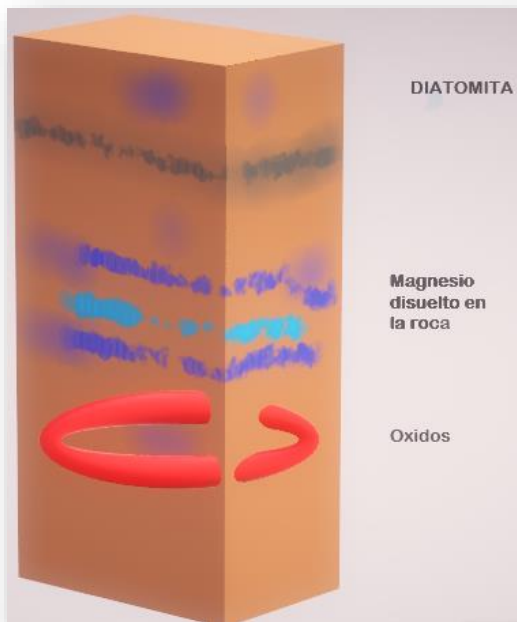
## **CAPÍTULO V**

### **GEOMECÁNICA**

La extracción del mineral en las concesiones Nicanor Sebastián IV y Nicanor Sebastián V es superficial, ya que el mineral se encuentra en la llanura, la extracción de epsomita es similar a la extracción de canteras de arena de río, con una profundidad no mayor a 120 cm. En estas concesiones no se extrae roca de la zona, pero es conveniente la realización del estudio geomecánico y análisis de suelos para tener la caracterización completa de la zona de trabajo. Para las investigaciones geomecánicas se planificó y ejecutó un programa de investigaciones de campo y ensayos de laboratorio.

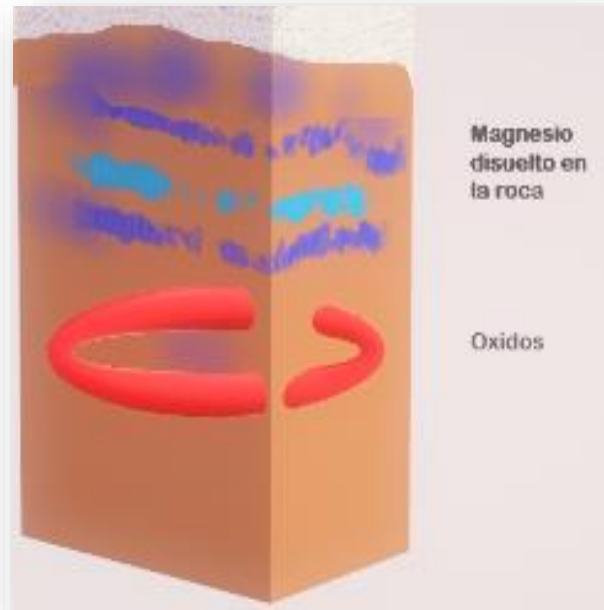
#### **5.1 Presión de la roca**

A profundidades mayores la roca diatomita está comprimida por altas presiones, aumentando la presión con la profundidad. Si existe un buen porcentaje de magnesio en las rocas sometidas a alta presión, éste se movilizará y cristalizará como epsomita en los espacios vacíos como fracturas, fallas o cavidades.



*Figura 5.1.* La columna de roca de diatomita contiene magnesio en su interior, pero el magnesio no se moviliza mientras no haya condiciones que favorezcan su salida, a medida que la erosión actúe y la capa superficial libere el magnesio, empezará a cristalizar la epsomita.

Fuente: Elaboración propia



*Figura 5.2* Una vez erosionada la capa superficial que impide la movilización del magnesio, por la presión de la roca, empezará a liberarse en la superficie cristalizando como epsomita.

Fuente: Elaboración propia

### **Ruptura de la diatomita por erosión o agentes externos**

La epsomita es un mineral hidratado, y conservará dicha humedad siempre y cuando no halla factores ambientales que alteren su composición, por lo que al estar enterrado el material, es más difícil que la humedad desaparezca, sin embargo eso cambia al momento de ser erosionado y/o extraído, ya que se expone y/o deposita en un ambiente sumamente árido de altas temperaturas y presencia de luz solar casi todo el año, de esta forma pierden rápidamente dicha humedad y también es más fácil que se desprendan de la roca ya que su volumen aumenta. Así mismo, debido a su

característico color blanco, es más fácil reconocer las zonas con mayor presencia de epsomita, ya que su color resalta del resto de la superficie.

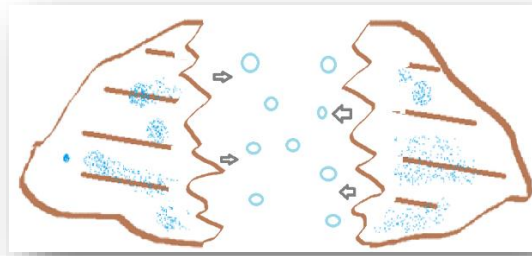
La falta de humedad permite que se encuentre más epsomita en la superficie que a profundidad. En la figura 5.3 se aprecia la presencia de epsomita (color blanco) que aflora en la superficie.



*Figura 5.3* Imagen del suelo removido, después de 3 a 4 meses las manchas blancas de epsomita empiezan a formarse.

Fuente: Elaboración propia

La existencia de epsomita dentro de la diatomita es segura, pero la presión hace que solo se pueda formar en los espacios vacíos y pequeñas fracturas, y a medida que se profundiza el magnesio va siendo cada vez menos visible, pareciendo incluso que ya no existe.



*Figura 5.4* Se busca fracturar la roca para que el magnesio pueda escapar y depositarse como epsomita en la superficie o cristalizar en las fracturas y espacios vacíos que tenga la roca.

Fuente: Elaboración propia

Las calicatas escarbadadas servirán como ensayo, y se realizará el estudio de liberación del mineral, registrando los cambios que se produzcan en ellas, esperando que con el tiempo el mineral pueda aparecer de manera que indique cuales zonas presentan mayor mineralización, se deberá hacer revisiones periódicas para poder registrar los cambios

Como experiencia se ha revisado y registrado las calicatas y trincheras antiguas observando que en algunas ha cristalizado la epsomita en las fracturas y en general en cualquier espacio vacío.

### **Resultados al remover el terreno**

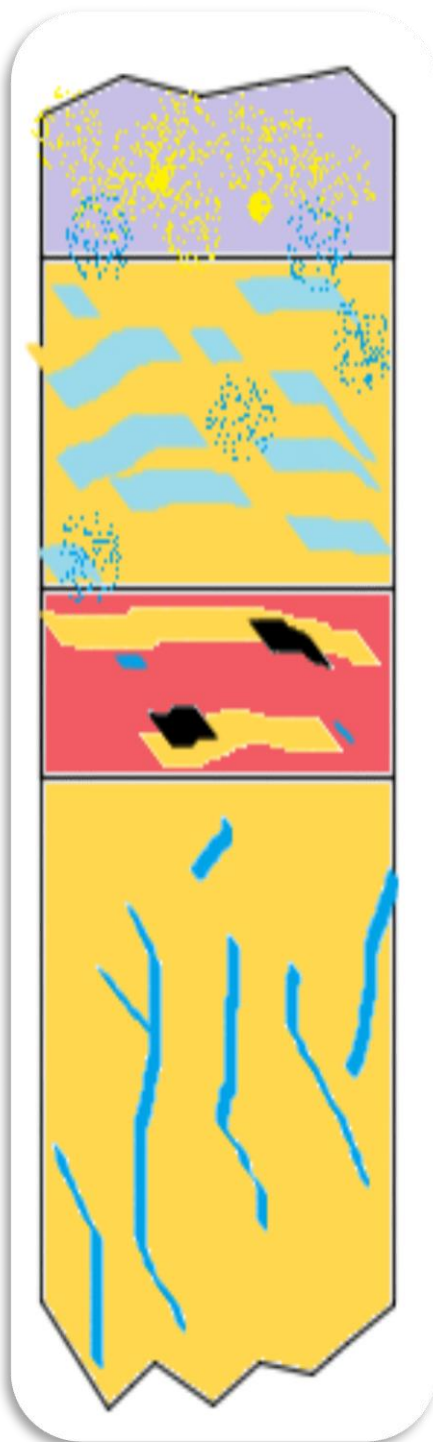
La epsomita está presente de forma irregular en la zona de estudio y para su explotación se requiere lugares con contenido superior a 5% de Mg. Se observó que fracturando la roca es más fácil que la epsomita se muestre en superficie, por tal motivo se realiza con ayuda de maquinaria la limpieza de terreno, quitando primero la capa de arena de la superficie y luego se abre el terreno de la misma manera que se hace al preparar un campo para cultivo, excavando a no más de un metro de profundidad.

Con la remoción del terreno se disminuye la presión, luego el material es deshidratado por el sol exponiendo los lugares mejor mineralizados para la extracción del mineral de interés económico. Si después de 6 meses se observa acumulación de epsomita en las fracturas, con porcentajes de Mg importantes, se fracturará mayores volúmenes de roca para recolectar el mineral después de un lapso de tiempo.

En caso no ocurriese dicho evento, se deberá considerar lo siguiente:

1. Que el tiempo de cristalización es más de 6 meses.
2. Que las calicatas y las fracturas, aún son muy pequeñas para que permitan liberar el mineral, necesitando una mayor área libre para que recién pueda mostrarse.
3. Que, si después de 3 meses adicionales, aún no se tiene rastros de cristalización, se trataría que la zona no cuenta con el suficiente magnesio disuelto en la roca para que pueda precipitar.
4. Que, aunque la calicata tenga una profundidad de 2.5 metros, podría ser que el mineral pudiera encontrarse a mayor profundidad, ya que se ha observado que hay fracturas con epsomita que profundiza en la vertical y son fuente de este mineral.

Tabla 5.1

*Representación de una columna de 2.5 m de material de campo.*

Capa superficial de 10 a 30 cm de espesor, contenido variable, principalmente diatomita en polvo producto de la erosión, arena negra (restos de rocas ígneas generalmente), algunos cantos rodados y restos líticos variables (rocas con buen contenido de sílice, muy duras), muy posible encontrar magnesio en polvo en esta capa.

Segunda capa: de 20 hasta 70 cm de espesor, contiene regular presencia de mineral de epsomita cristalizada, la roca caja es diatomita y tiene magnesio disuelto en su interior que no se puede apreciar a simple vista, se han encontrado cristales de epsomita que van de 1 a 20 cm de longitud, al parecer la epsomita cristaliza a poca presión y temperatura, pero una vez en superficie el cristal se reseca y empieza a cambiar a un polvo de color blanco, también es posible encontrar algo de yeso en esta capa.

Capa de color rojizo, contenido de óxidos y materia orgánica, posee poca epsomita el cual está en forma de vetillas de pocos milímetros de grosor debido a la compactación, esta capa no es uniforme y solo se presenta en ciertas partes preferentemente en posibles puntos con presencia de restos fósiles. Espesor aproximado de 20 a 40 cm.

Se avanzó hasta una profundidad de 2.5 metros, en esta última capa no se encontró gran presencia de epsomita, solo existen un número regular de vetillas de epsomita cristalizada que no están en forma horizontal, sino de forma vertical. Estas vetillas se originan aun a más profundidad, lo cual podría significar que hay más epsomita a profundidades aún mayores porque como ya se observó la formación de epsomita requiere de espacios vacíos y poca presión, condiciones que no existen en profundidad, por lo que sería recomendable fracturar la roca de esta zona para facilitar la liberación de la epsomita a zonas de más baja presión.

Fuente: Elaboración propia

## 5.2 Investigaciones geotécnicas de campo y laboratorio

Para la caracterización del macizo rocosa del área, se registraron datos a partir del mapeo geomecánico de campo que se llevó a cabo utilizando el “Método directo por celdas de detalle” según Romana y Seron, (2003). Mediante este método se realizaron mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes en cada estación geomecánica.

Los parámetros observados fueron diseñados para la toma de datos en campo, adecuándolos a las normas sugeridas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). Ramírez y Alejano (2004).

Las estaciones geomecánicas se establecieron de acuerdo a los dominios encontrados en el campo, ya sean por dominios predominantemente geológico como son tipo de litología o por patrones de discontinuidades muy representativos. Como el proyecto Nicanor se aloja sobre rocas sedimentarias en donde la litología y control estructural no varía; se estableció una estación, a la que se le denominó E-1, la roca estudiada es diatomita, se tomaron muestras de roca y suelo para análisis de laboratorio.

Tabla 5.2  
*Estación Geomecánica*

Cantera	Estación	Coordenadas WGS 84		Cota msnm
		Este	Norte	
NICANOR SEBASTIÁN IV y V	E-1	432,993	8'403,606	320

Fuente: Elaboración propia



Para conocer las propiedades físicas y mecánicas de las rocas, se envió muestras de roca al laboratorio de mecánica de rocas de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Los ensayos solicitados fueron:

- Propiedades físicas para conocer la densidad de la roca, su absorción y porosidad.
- Ensayo de corte directo, para conocer el ángulo de fricción residual y la cohesión.
- Ensayo de compresión uniaxial o compresión simple.

Los ensayos se realizaron bajo las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM) según Crespo (1976), que se describen a continuación:

- Ensayos de Compresión Simple: STM D2938
- Ensayo de Corte Directo: ASTM 5607-95
- Ensayos de Propiedades Físicas: ASTM C97-02

Las muestras de material de suelo fueron enviados al laboratorio de mecánica de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería. Los ensayos realizados fueron:

- Ensayo de Análisis Granulométrico realizado por tamizado
- Ensayo de Corte Directo

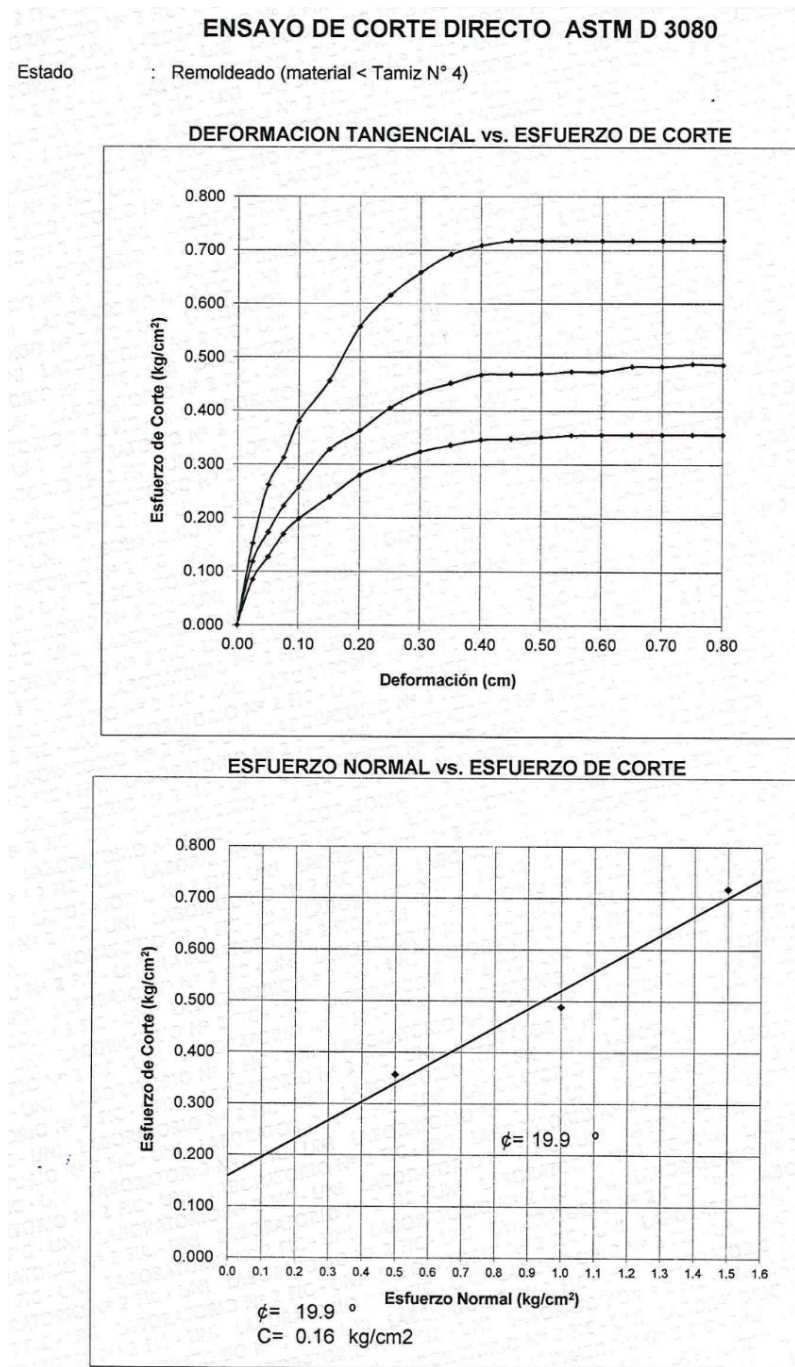
Tabla 5.3

*Ensayo de corte directo en la diatomita de la concesión.***ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D 3080**

Estado : Remoldeado (material &lt; Tamiz N° 4)

Especimen N°	I	II	III
Lado del molde (cm.)	5.97	5.97	5.97
Altura Inicial de la muestra (cm.)	1.96	1.96	1.96
Densidad húmeda inicial (gr/cm <sup>3</sup> .)	1.187	1.187	1.187
Densidad seca inicial (gr/cm <sup>3</sup> .)	1.074	1.074	1.074
Cont. de humedad inicial (%)	10.5	10.5	10.5
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (cm.)	1.784	1.664	1.665
Altura final de la muestra (cm.)	1.759	1.656	1.641
Densidad húmeda final (gr/cm <sup>3</sup> .)	1.880	1.971	1.962
Densidad seca final (gr/cm <sup>3</sup> .)	1.196	1.271	1.282
Cont. de humedad final (%)	57.2	55.1	53.1
Esfuerzo normal (kg/cm <sup>2</sup> .)	0.5	1.0	1.5
Esfuerzo de corte máximo (kg/cm <sup>2</sup> .)	0.356	0.488	0.717
Angulo de fricción interna :	<b>19.9 °</b>		
Cohesión (Kg/cm <sup>2</sup> ) :	<b>0.16</b>		

Fuente: Elaboración propia



*Figura 5.5* Resultado de laboratorio de corte directo, deformación y esfuerzo.  
Fuente: Elaboración propia

La resistencia al corte de una masa de suelo es la resistencia interna por unidad de área, que la masa de suelo ofrece para resistir la falla o deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de dicha masa.

### 5.3 Mapeo geomecánico

Se cuenta con registro de una estación geomecánica, en total se tomaron 47 medidas completas en fracturas. Estos datos se convirtieron en buzamiento y dirección de buzamiento usando el programa “Dips 5.1” y luego fueron representados en proyección estereográfica. La cuantificación de las estructuras que predominan en el macizo rocoso permitió analizar su influencia en la estabilidad del talud. Los resultados de este análisis señalaron lo siguiente:

Estación E-1

- Las juntas con buzamiento sub vertical son las que predominan.
- Los afloramientos rocosos comprenden de una sola litología: Diatomita.
- Se presenta dos familias de discontinuidades que se presenta en la tabla 5.4.

Tabla 5.4  
*Sistemas de Juntas*

Estación E-1	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Tipo de Falla
Sistema 1 (S1)	80.67°	6°	Cruzada
Sistema 2 (S2)	80.35 °	327.47°	Cruzada

Fuente: Elaboración propia

#### 5.3.1 Caracterización del macizo rocoso

Para realizar la valorización geomecánica, se usó la clasificación geomecánica de Bieniawski del año 1989, que establece cinco parámetros para evaluar la caracterización del macizo. Los parámetros usados son:

- **Resistencia de la roca intacta** que correlaciona la dureza de la roca.
- **RQD** de Deere, que relaciona el grado de fracturamiento.

- **Espaciamiento** medio del sistema dominante, el cual definirá en el espacio los tamaños de bloques que se generen.
- **Condiciones de las Discontinuidades**, que involucran:
  - **Apertura**, que viene a ser la abertura entre las paredes de las discontinuidades.
  - **Rugosidad**, que mide el grado de aspereza.
  - **Persistencia**, que es la tendencia de la discontinuidad.
  - **Relleno**, que es el material que se encuentra dentro de la discontinuidad.
  - **Grado de alteración**, que está en función de las condiciones climatológicas en la zona.
  - **Agua**, corresponde a la presencia de agua en la zona de operación.

Cada uno de estos parámetros es valorado independientemente, y en conjunto dan la clasificación de Bieniawski (1989) llamado RMR, cuyos valores se pueden interpretar con ayuda de las tablas 5.6 de valorización del macizo rocoso.

Tabla 5.5  
Clasificación RMR de Bieniawski (1989).

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO - Clasificación RMR de Bieniawski (1989)										
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES					VALORACIÓN				
	> 250	100 - 250	75 - 90	50 - 100	25 - 50	4	3	2	1	0
RESIST. COMP. UNIAXIAL (MPa)	1	2	1	2	3	4	3	2	1	0
RQD %	2	1	3	2	1	8	7	6	5	4
ESPACIAMIENTO (m.)	2	1	3	2	1	8	7	6	5	4
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	6	5	4	3	2	1	0	0.06 - 0.2	8
	APERTURA	6	5	4	3	2	1	0	10 - 20mm.	1
	RUGOSIDAD	6	5	4	3	2	1	0	1 - 5mm.	1
	RELLENO	6	5	4	3	2	1	0	Lisa	1
ALTERACIÓN	Sana	6	5	4	3	2	1	0	Dura > 5mm.	4
	Seco	1	0	1	0	1	0	0	Mod. Alterada	5
AGUA SUBTERRÁNEA	1	0	1	0	1	0	0	0	Húmedo	1
	5	4	3	2	1	0	0	0	Mojado	0
<b>VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =</b>										
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>										
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0					
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA					
PARAMETRO PARA CALCULAR EL RMR SEGUN LA ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES TUNELES Y MINERIA (Rumbo y Buzamiento)										
Rumbo Perpendicular al Eje/Dirección según Buzamiento 45°-90°										
Muy favorable										
<b>Rango RMR</b>										
<b>0</b>										
<b>VALOR RMR (Corregido) =</b>										
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>										
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0					
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA					

Fuente: Modificado del Dips versión 5.1

Tabla 5.6

*Valoración del macizo rocoso yacimiento Nicanor Sebastián*

PARÁMETROS		Valoración
Sistema de unidad usado	Metros	
Número de familias de discontinuidades		2
Ángulo de fricción residual (°)		27.32
Cohesión (MPa)		0.037
Condiciones generales del macizo rocoso		
Índice de resistencia compresiva uniaxial (MPa)	4.3	1
Calidad del testigo de perforación RQD (%)	98	20
Espaciamiento de discontinuidades (metros)	0.2-0.6	10
Condiciones de las discontinuidades:		
• Persistencia	1-3 (m)	4
• Apertura	1-5 (mm)	1
• Rugosidad	Rugoso	5
• Relleno	Suave<5mm	1
• Meteorización	Moderada	3
	TOTAL	14
Agua subterránea	Seco	15
RMR (básico)		60
Labor		
Para taludes		-2
RMR (ajustado)		58

Fuente: Elaboración propia

Usando el valor resultante de la tabla 5.6 y buscando este valor en la tabla 5.5, se observa que para la RMR (básico) de valoración 60, corresponde a la clase de Macizó Rocosó III Regular, valor suficiente ya que no habrá trabajos de construcción de taludes en la zona y no existe riesgo de ocurrencia de deslizamientos en la zona de trabajo.

### 5.3.2 Parámetro de resistencia del macizo rocoso

En el campo se estimó la resistencia de la roca, con el martillo o picota de geólogo se golpeó la superficie de la roca, introduciéndose la punta 1 a 2 cm en un solo golpe, estimando con ello una resistencia media o regular.

Los resultados del ensayo de laboratorio de mecánica de rocas, arrojaron valores cercanos a los hallados en campo, donde se reportó una densidad promedio  $1.265 \text{ gr/cm}^3$ , un ángulo de fricción residual  $27.32^\circ$ , y la cohesión residual  $0.037 \text{ MPa}$ .

Finalmente evaluando características generales de campo con la clasificación geomecánica y los ensayos de laboratorio, se han definido parámetros representativos conservadores que se utilizan en la cantera “Nicanor Sebastián”, tal como se muestra en las tablas 5.6 y 5.7.

Tabla 5.7  
*Parámetros de Resistencia del macizo rocoso*

Muestra	Densidad seca ( $\text{gr/cm}^3$ )	Densidad húmeda ( $\text{gr/cm}^3$ )	Angulo de fricción residual ( $^\circ$ )	Cohesión (MPa)	Compresión simple (MPa)
Diatomita	1.00	1.53	27.32	0.037	4.3

Fuente: Elaboración propia

La humedad es considerada en este punto por lo que tomamos la densidad húmeda del lugar.

#### 5.4 Clasificación geomecánica

Cada uno de los parámetros mencionados la tabla 5.6 son valorados independientemente y en conjunto, estos parámetros dan la clasificación de Bieniawski (1989) llamada también RMR. Se ha realizado el análisis de una estación mapeada y se ha definido el dominio estructural y sus características físicas.



De acuerdo a la clasificación geomecánica de Bieniawski (1989), la calidad de la roca es Regular del tipo III A, sin caída de rocas ni deslizamientos. tal como se muestra en las tablas 5.8 y 5.9.

Tabla 5.8  
*Clasificación del macizo rocoso Nicanor Sebastián IV-V*

Estación	Coord. UTM WGS84		RMR Bieniawski	RQD %	Tipo de Roca
	Este	Norte			
<b>E-1</b>	432,993	8'403,606	60	90-100	III-A

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.9  
*Evaluación de acuerdo a Bieniawski (1989)*

<i>Estación</i>	<i>RMR Básico</i>	<i>RMR Ajustado</i>	<i>RQD %</i>	<i>Tipo de roca</i>
<i>E-1</i>	60	58	98	III A

Fuente: Elaboración propia

La clasificación SMR proporciona una estimación muy fiable del verdadero comportamiento del talud, aunque resulta ligeramente pesimista en la estimación del estado futuro. Se ha hecho un ajuste al RMR, según la dirección de los estratos, siendo el ajuste mayor si los estratos están a favor de la pendiente, véase la tabla 5.10.

Tabla 5.10  
*Descripción de las clases de SMR (Romana, 1995)*

Clases	V	IV	III	II	I
SMR	0 – 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Completamente Inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Completamente estable
Roturas	Grandes planos o circular	Plana o grandes cuñas	Plana a lo largo de algunas juntas o algunas cuñas	Algunas roturas en bloque	Sin roturas
Probabilidad de rotura	0.9	0.6	0.4	0.2	0

Fuente: Elaboración propia

La evaluación de acuerdo a la clasificación SRM de los taludes se muestra en la tabla 5.11.

Tabla 5.11  
*Evaluación de acuerdo a la clasificación SRM (Romana, 1995)*

Talud	RMR	SRM	Clase	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
E-1	60	73	II A	Normal	Estable	Algunas roturas	Sistemático

Fuente: Elaboración propia

El valor SMR obtenido es de 73, que de acuerdo a la tabla 5.10, es de Clase II siendo buena y estable.

## 5.5 Análisis de estabilidad física y diseño de taludes

Para el análisis de estabilidad de los taludes se ha utilizado las secciones transversales de la topografía y el programa de cómputo SLIDE (Rocscience) versión

5; este programa permite hacer el análisis de estabilidad de taludes a través del cálculo del factor de seguridad. Es un programa completamente integrado, permite desarrollar la geometría del talud interactivamente y realiza el análisis de estabilidad de taludes de deslizamiento circular y no circular en rocas o suelos con diferentes métodos de análisis.

El análisis para calcular el factor de seguridad se lleva a cabo bidimensionalmente usando el concepto de equilibrio límite y empleando diversos métodos. El programa puede ser usado para determinar la superficie circular o no circular potencial de falla más crítica, correspondiendo a un menor factor de seguridad del análisis. Los criterios de diseño para el presente análisis fueron los siguientes:

- Mínimo FS estático en bancos de producción:  $FS = 1.5$
- Mínimo FS estático el talud final:  $FS = 1.2$
- Mínimo FS pseudo estático:  $FS = 1.0$

El factor de seguridad pseudo estático mayor que 1, no significa que el talud del tajo no se moverá durante un terremoto, lo que ocurrirá probablemente es que los desplazamientos serán mínimos y no se producirán daños.

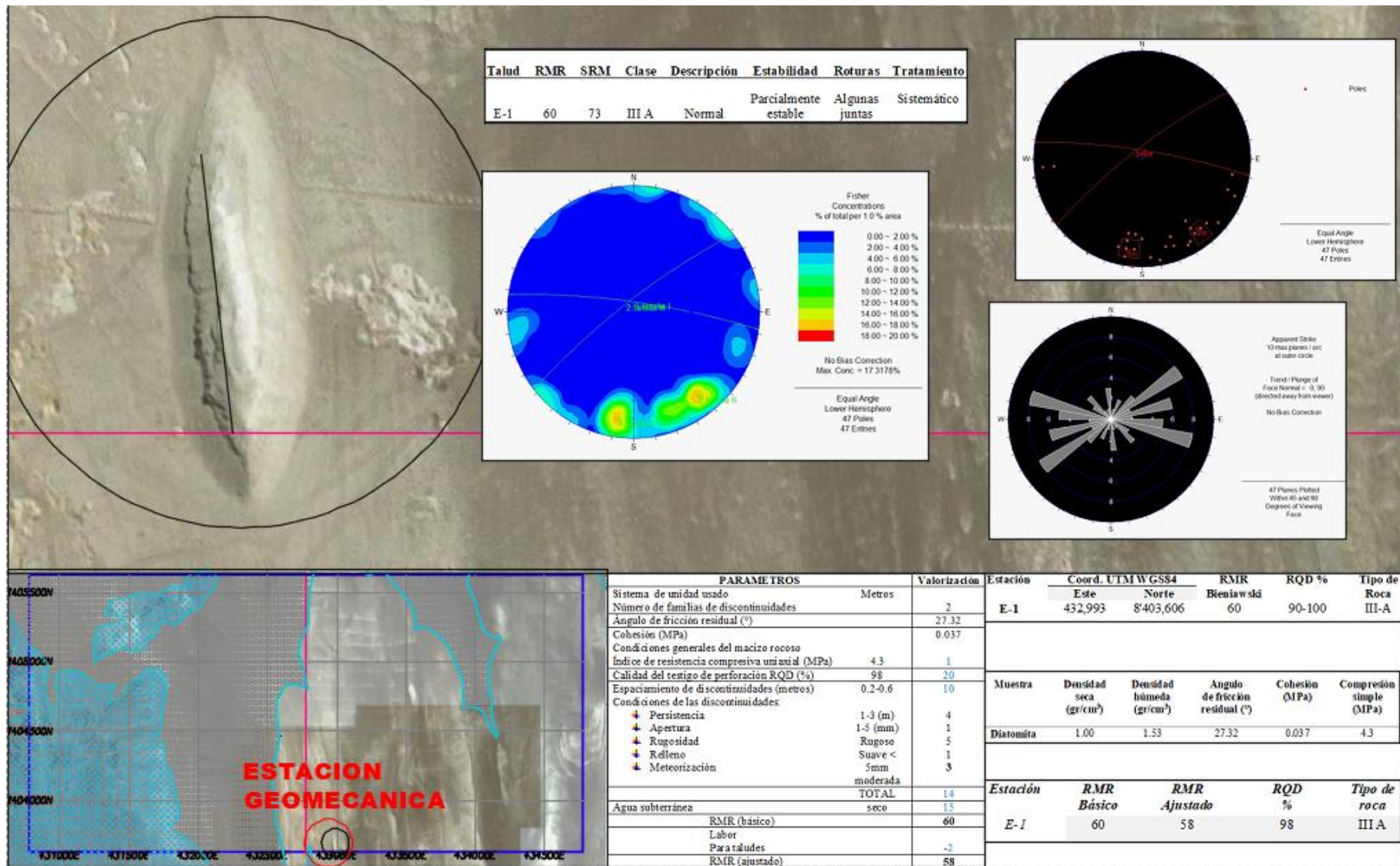


Figura 5.6 Plano de la estación geomecánica

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO VI**

### **YACIMIENTO Y RESERVAS MINERALES**

#### **6.1 Yacimiento Nicanor Sebastián**

El yacimiento Nicanor Sebastián, se encuentra en las concesiones Nicanor Sebastián IV y Nicanor Sebastián V, que suman 800 hectáreas, es un polígono rectangular de 8 km<sup>2</sup>, con un lado con 4 kilómetros de este a oeste y 2 kilómetros de norte a sur.

Al norte de estas concesiones se han encontrado pocas reservas de epsomita, la mayor parte de esta zona corresponde a sedimentos de diatomita y arena. También en esta zona se han encontrado algunos nódulos de fosfatos, sin embargo, no son muy abundantes para ser comercialmente explotados. Del lado oeste, la primera concesión Nicanor Sebastián IV, corresponde a rocas de la Formación volcano sedimentaria Guaneros con areniscas y diatomitas muy endurecidas, descartando también la presencia de epsomita.

La epsomita se concentra en el extremo inferior sureste de esta concesión, donde la litología comprende diatomitas más suaves de la Formación Pisco del Mioceno, cubiertas parcialmente por sedimentos finos como arena eólica de formación reciente.

La extracción de la epsomita se realizó en las áreas previamente delimitadas mediante los trabajos de exploración que consistieron de calicatas y pozos exploratorios, que son los trabajos que se realizaron para ubicar las zonas de mayor concentración de epsomita, así como también para el cálculo de reservas.

La ejecución de los trabajos permitió determinar un área efectiva de 16 hectáreas, principalmente en la concesión Nicanor Sebastián V del total de 800 hectáreas, donde se realizaron las actividades de explotación de la epsomita. También se ha encontrado epsomita asociada a la roca de diatomita, hallándose la epsomita hasta una profundidad de 2 metros, en las zonas de fracturas. En la figura 6.1, se observa epsomita, mezclada con fragmentos de diatomitas de color gris, a una profundidad de 1.2 m, la potencia de la epsomita es de 30 cm.



*Figura 6.1* Epsomita con fragmentos de diatomitas extraída a 1.2 m de profundidad y potencia de 30 cm.  
Fuente: Elaboración propia



*Figura 6.2* Epsomita extraída a 1.2 m de profundidad, se encuentra relleno las fracturas de la roca.  
Fuente: Elaboración propia

## 6.2 Trincheras y calicatas

Desde el año 2012, se han realizado actividades en las concesiones para localizar nuevos depósitos de epsomita; pero en años anteriores diversas empresas realizaron trabajos en la zona. A continuación, se presentan los trabajos más resaltantes realizados en los últimos años.

### Trincheras

Las trincheras están orientadas de oeste a este, actualmente son todavía visibles incluso a gran distancia, como muestra la imagen satelital de la figura 6.3.

Como las trincheras tienen en promedio más de 10 años de antigüedad, los sedimentos provenientes principalmente de la parte sur, las han ido cubriendo o rellenando los espacios vacíos, sin embargo, la acción del viento no es muy activa y solo transporta elementos finos principalmente.



*Figura 6.3* Imagen satelital de las trincheras en forma de líneas blancas, señaladas por las flechas rojas.

Fuente: Modificado de Google Earth



*Figura 6.4* Trincheras cubiertas por arena y polvo, señaladas por líneas punteadas.

Fuente: Elaboración propia

Al revisar las trincheras no se llegó a encontrar en la mayoría de ellas, contenido de epsomita mínimo para ser extraíble, por lo que la mayor parte de las

trincheras fueron abandonadas, y se procedió a la explotación en la parte sur, donde la concentración de epsomita es mayor.

### **Calicatas**

Las calicatas dentro de la concesión, se realizaron anteriormente de manera extensiva, pero al encontrarse en mayor abundancia hacia el sur de la concesión, se realizó un proceso poco cuidadoso de explotación, mediante numerosas calicatas, que terminaron contaminando y haciendo el ingreso a estas zonas muy difícil por la enorme cantidad de desmonte que se ha acumulado.

### **6.3 Muestreo y descripción de muestras**

La toma de muestras, es la técnica para la selección de una porción de suelo o roca a partir de una población, al elegir una muestra aleatoria se espera conseguir que sus propiedades sean extrapolables a la población. Este proceso permite ahorrar recursos, y a la vez obtener resultados parecidos a los que se alcanzarían si se realizase un estudio de toda la población. Este proceso comprende:

- Selección y recojo de las muestras
- Tratamiento de las muestras
- Ensayo de las muestras

### **Tipo de muestreo**

Las epsomitas de la concesión minera no metálica NICANOR SEBASTIÁN IV se han muestreado mediante el método Grab samples o muestreo en cancha. Este método por ser aleatorio proporciona una aproximación del contenido de epsomitas del material, pero no representa directamente la ley del mineral.



Se tomaron 15 muestras, en lo posible se recolecto muestras sin meteorización. La muestra es una porción de roca dentro del área, que se considera representativa de todas las características petrográficas del cuerpo rocoso.

Tabla 6.1  
*Métodos y tipo de muestras recolectadas*

MÉTODO DE MUESTREO	TIPO DE MUESTREO	TIPO DE MUESTRA	NÚMERO DE MUESTRAS	MATERIAL MUESTREADO
Muestreo en cancha aleatorio	Muestreo por Puntos	Muestra de Roca	15	Epsomitas

Fuente: Elaboración propia



Figura 6.5 Puntos dentro de la concesión donde se realizó el muestreo.

Fuente: Elaboración propia

### Descripción de muestras

Se han evaluado 15 muestras, que se encontraron a profundidades entre 10 cm y 1.5 metros, en su mayoría consistieron en sedimentos finos y clastos más gruesos, que son como se extrae el material.

Tabla 6.2  
*Datos de ubicación de las muestras recolectadas*

MUESTRA	COORDENADAS UTM (WGS84)		ALTITUD (msnm)	CUADRÁNGULO	ZONA
	NORTE	ESTE			
1	8404109	432682	331	28-K	18
2	8404139	432678	331	28-K	18
3	8404131	432710	331	28-K	18
4	8404090	432730	327	28-K	18
5	8404088	432678	325	28-K	18
6	8404030	432680	325	28-K	18
7	8404025	432724	324	28-K	18
8	8403971	432729	323	28-K	18
9	8403961	432690	323	28-K	18
10	8403937	432707	321	28-K	18
11	8403925	432725	319	28-K	18
12	8403920	432750	321	28-K	18
13	8403940	432776	318	28-K	18
14	8403984	432748	321	28-K	18
15	8403998	432770	320	28-K	18

Fuente: Elaboración propia


Tabla 6.3  
*Tabla con los códigos asignados a las muestras recolectadas*

Muestra	Código	Muestra	Código
1	D1-M1	9	D1-M9
2	D1-M2	10	D1-M10
3	D1-M3	11	D1-M11
4	D1-M4	12	D1-M12
5	D1-M5	13	D1-M13
6	D1-M6	14	D1-M14
7	D1-M7	15	D1-M15
8	D1-M8		

Fuente: Elaboración propia


Seguidamente se describen las 15 muestras.

Tabla 6.4  
Muestra N° 1

	MUESTRA 1	CÓDIGO: D1-M1	04/07/18
	COORDENADAS: 432682 E, 8404109 N		ALTITUD: 331 msnm
<b>Descripción</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se observa epsomita cristalizada y bastante material pulverizado.</li> <li>• Se ubica al costado de la carretera.</li> <li>• El terreno se encuentra ligeramente endurecido, esto por el clima seco y árido.</li> <li>• Hay una capa superficial de arena de 0.40 m seguido de una capa aprovechable de 0.30 m</li> <li>• En esta zona las diatomitas son impuras, pues se encuentran mezcladas e intercaladas con arcillas y arenas</li> <li>• Las epsomitas son cristalinas de coloración blanquecina, con el tiempo se vuelven más secas y se pulverizan.</li> </ul>			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.5  
Muestra N° 2

	MUESTRA 2	CÓDIGO: D1-M2	04/07/18
	COORDENADAS: 432678 E, 8404539 N		ALTITUD: 331 msnm
<b>Descripción:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La epsomita esta pulverizada, mostrando un color blanco intenso, pero cubiertas por una capa de sedimentos finos.</li> <li>• Se tomaron varios puntos, como parte de muestreo para esta zona, están cerca de las trochas de acceso.</li> <li>• Hay una capa de suelo arenoso de. 0.10 m y seguidamente la capa de epsomita de 0.40 m.</li> </ul>			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.6  
Muestra N° 3



MUESTRA 3 CÓDIGO: D1-M3 04/07/18

COORDENADAS: ALTITUD:  
432710 E, 8404131 N 331 msnm

Descripción:

- Las epsomitas se encuentran superpuestas por una capa de arenas con presencia de óxidos.
- La capa de suelo es de pocos centímetros de espesor, la roca de diatomita es más compacta en esta parte.
- La capa de suelo es de 40 cm, seguido de una capa de epsomita que va de los 10 a los 20 cm de espesor.
- La muestra fue tomada cerca de la trocha de acceso.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.7  
Muestra N° 4



MUESTRA 4 CÓDIGO: D1-M4 04/07/18

COORDENADAS: ALTITUD:  
432730 E, 8404090 N 327 msnm

Descripción:

- La epsomita se encuentra en forma de polvo casi uniforme en toda la zona, de coloración blanquecina y seca, debido a que está expuesta en la superficie. La epsomita se encuentra endurecida a más profundidad
- La zona fue anteriormente trabajada, pero aún queda material de epsomita con restos de suelo y óxidos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.8  
Muestra N° 5



MUESTRA 5 CÓDIGO: D1-M5 04/07/18

COORDENADAS: ALTITUD:  
432678 E, 8404088 N 325 msnm

Descripción:

- Las epsomitas se encuentran cristalizadas, presentan un espesor uniforme.
- Zona con abundante contenido de epsomitas cristalizadas, están como relleno de fracturas en algunas partes del afloramiento.
- Las epsomitas son blancas cuando se secan y transparentes cuando están frescas ya que aún conservan humedad en su estructura.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.9  
Muestra N° 6



MUESTRA 6 CÓDIGO: D1-M6 04/07/18

COORDENADAS: ALTITUD:  
432678 E, 8404030 N 325 msnm

Descripción:

- Las epsomitas, en parte presentan pequeños cristales y en algunas partes están en polvo, pero su abundancia es importante.
- Es una zona limpia, no cuenta con cobertura de material de desmonte de trabajos anteriores.
- La epsomita tiene una potencia aproximada de 20 cm.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.10  
Muestra N° 7



MUESTRA 7 CÓDIGO: D1-M7 04/07/18

COORDENADAS: ALTITUD:  
432724 E, 840425 N 324 msnm

Descripción:

- La epsomita se encuentra en forma de polvo, en poca cantidad y de forma superficial, en algunos lugares esta cristalizada.
- La muestra fue tomada en el extremo este de la zona de explotación.
- Esta zona antiguamente fue trabajada, pero aún hay material para ser explotada.
- La capa de epsomita tiene una potencia de 10 a 20 cm y va variando hasta llegar en algunas partes hasta 40 cm.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.11  
Muestra N° 8



MUESTRA 8 CÓDIGO: D1-M8 04/07/18

COORDENADAS: ALTITUD:  
432729 E, 8403971 N 323 msnm

Descripción:

- Las epsomitas tienen una coloración medio blanquecina, y pulverizadas en poca cantidad.
- Es una zona antiguamente trabajada.
- Las epsomitas presentan un espesor de 10 hasta 20 cm.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.12  
Muestra N° 9



MUESTRA 9 CÓDIGO: D1-M9 04/07/18

COORDENADAS: ALTITUD:  
432690 E, 8403961 N 323 msnm

Descripción:

- Las epsomitas no se encuentran en gran cantidad, en algunas partes presentan cristales en tonos blanquecinos
- Está ubicado en el límite oeste de la zona de explotación.
- La mineralización es irregular, las acumulaciones de epsomitas no son uniformes y hay partes sin contenido de epsomita.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.13  
Muestra N° 10



MUESTRA 10 CÓDIGO: D1-M10 04/07/18

COORDENADAS: ALTITUD:  
432707 E, 8403937 N 321 msnm

Descripción:

- Estas epsomitas se encuentran casi superficialmente, en forma de polvo.
- Esta es la zona oeste del límite de explotación, hay presencia de dunas y mucho desmonte, se debe realizar una limpieza del área.
- El material parece tener buena presencia de epsomita superficialmente, a una profundidad de 20 cm, luego a mayor profundidad el suelo se endurece y la epsomita disminuye.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.14  
Muestra N° 11



MUESTRA 11 CÓDIGO: D1-M11 04/07/18

COORDENADAS: ALTITUD:  
432707 E, 8403925 N 319 msnm

Descripción:

- La epsomita está como relleno de fracturas en las diatomitas a 1.20 m de profundidad.
- Se observa una superficie rojiza, que está impregnada con epsomita hasta unos 40 cm de profundidad. Luego le siguen capas intercaladas de diatomita y algo de yeso.
- Cerca de la zona donde se tomó la muestra, hay una trinchera antigua con capas de diatomitas ligeramente pardas oscuras de 50 a 60 cm de espesor, a más profundidad las diatomitas cambian a una coloración más gris clara; en estas diatomitas no hay leyes de epsomita explotable.
- Hacia el sur, se necesita hacer limpieza del terreno, para apreciar y explotar las epsomitas.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.15  
Muestra N° 12



MUESTRA 12 CÓDIGO: D1-M12 04/07/18

COORDENADAS: ALTITUD:  
432750 E, 8403920 N 321 msnm

Descripción:

- Las epsomitas están en una zona muy blanda, no están cristalizadas y presentan una coloración blanquecina.
- Es la zona este del límite de explotación, el material se encuentra blando aproximadamente hasta los 15 cm de profundidad.
- En esta ubicación se encuentra epsomita en polvo.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.16  
Muestra N° 13



MUESTRA 13 CÓDIGO: D1-M13 04/07/18

COORDENADAS: ALTITUD:  
432776 E, 8403940 N 318 msnm

Descripción:

- Las epsomitas presentan una potencia uniforme, de coloración blanquecina, de buena calidad.
- Esta es la zona del límite este de explotación, el lugar requiere de una limpieza del desmonte que allí se encuentra.
- Se puede avanzar con la exploración, hasta un metro de profundidad de donde fue sacada la muestra.
- Hay presencia de material uniforme de epsomitas hasta unos 20 cm de profundidad, pero con una gran cantidad de desmonte.
- En la zona también se observó algunas calicatas de hasta 50 cm de profundidad.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.17  
Muestra N° 14



MUESTRA 14 CÓDIGO: D1-M14 04/07/18


COORDENADAS: ALTITUD:  
432748 E, 8403984 N 321 msnm

Descripción:

- Material extraído de la pared de la calicata
- Esta es la zona este del límite de explotación
- El lugar tiene una cobertura de arena negra con poco mineral de epsomitas.
- Las epsomitas se encuentran endurecidas.
- Más hacia el este, se encuentra calicatas antiguas.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.18  
Muestra N° 15

	MUESTRA 15	CÓDIGO: D1-M15	04/07/18
	COORDENADAS: 432770 E, 8403998 N		ALTITUD: 320 msnm
<b>Descripción:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las epsomitas en parte se presentan como pequeños cristales en venillas.</li> <li>• La muestra fue tomada de una calicata antigua, que se encuentra en el límite este de la zona de explotación.</li> <li>• Se observa intercalaciones de diatomitas y epsomitas.</li> <li>• Hay aproximadamente 1 m de espesor de diatomitas con intercalaciones de epsomita en forma de venillas que posiblemente se acumularon, al encontrar mayor fracturamiento en esta zona.</li> <li>• Más hacia el oeste, hay una cobertura de arenas con fragmentos de roca.</li> </ul>			

Fuente: Elaboración propia

#### 6.4 Campañas de exploración 2015 y 2017

A partir del año 2015 se realizaron diferentes estudios dentro de las concesiones, sin embargo, la exploración y explotación solo se centraba en la parte sur entre ambas concesiones, ya que es la zona con las mejores leyes de epsomita, además de gran facilidad para la extracción del mineral.

En la figura 6.6 se presenta el plano de muestreo. Con los resultados obtenidos, se procedió a determinar la ley promedio de cada zona, se clasificó mediante colores de acuerdo a la ley que se obtuvieron en cada zona, siendo las zonas de color rojo y naranja las áreas de mejor ley, mientras que las de color amarillo son zonas donde la ley es baja, no siendo económica la explotación. Para una explotación rentable es necesario que el material que se explota contenga un mínimo de 5% de Mg, que esta cotizada al año 2015 a \$.100.00 por tonelada y con un costo total de extracción de \$.43.30 por tonelada a granel.



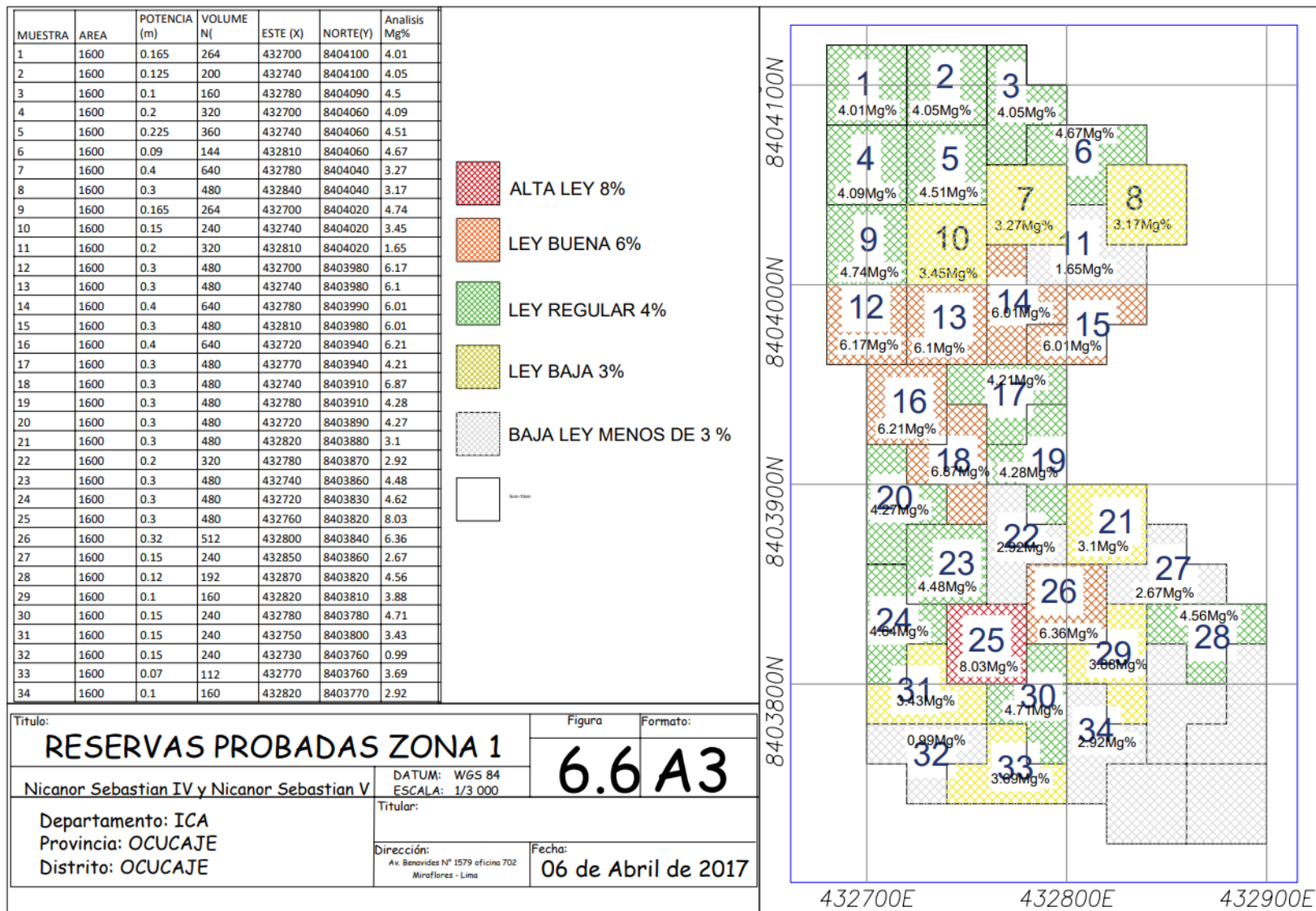


Figura 6.6 Polígonos de muestreo enumerados del 1 al 34, con un área de 1600 m<sup>2</sup> cada uno, en la zona sur de la concesión.

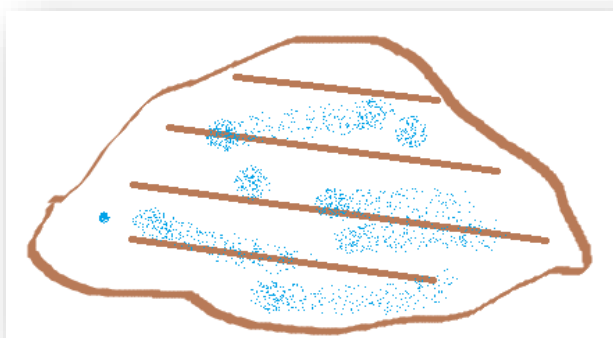
Fuente: Elaboración propia

### **Campaña de exploración 2017**

En el 2017 se realizó una campaña de exploración, trabajándose hacia el este. Se realizaron calicatas de 2 a 3 metros, se extrajeron muestras tanto de la superficie como del interior de la calicata. Se concluyó que en la parte central hay estratos con relleno de epsomita. El muestreo también dio indicios de que la acumulación de epsomita está como relleno de fracturas principalmente.

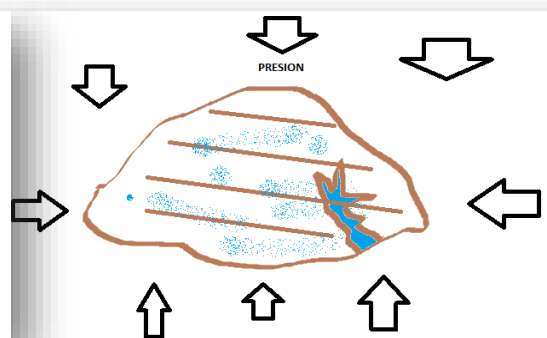
### **Contenido de epsomita en las zonas de muestreo**

La diatomita presenta epsomita, ya que se han realizado análisis en la diatomita y siempre presenta un porcentaje de este mineral, ya sea en mayor o menor cantidad.



*Figura 6.7* En marrón la diatomita, durante su formación, esta roca ha absorbido las diferentes sales marinas y otros compuestos, entre ellos epsomita que está en color azul.

Fuente: Elaboración propia



*Figura 6.8* La alta presión impide que el magnesio escapé de la roca diatomita, y cristalicé como epsomita. Pero se depositará si es que hay algún espacio vacío, como grietas en la roca.

Fuente: Elaboración propia

## **6.5 Cálculo de reservas**

La presencia de epsomita dentro del área de concesión, es irregular, no se encuentran zonas con una concentración alta de epsomita, hay poca información disponible de yacimientos de epsomita en explotación por empresas grandes que se dediquen a este trabajo.

Por los años de experiencia del trabajo realizado, se ha logrado comprender mejor como se presenta la epsomita y cuál es el método recomendable para localizar y posteriormente hacer un cálculo de las zonas a explotar. La forma de saber si el lugar presenta epsomita en cantidades suficientes para la explotación, es mediante análisis químico por magnesio de muestras tomadas en un área específica y en números significativos. Se recomienda extraer entre 50 a 100 muestras por km<sup>2</sup> principalmente de las zonas donde se puedan apreciar de forma visible y significativa la epsomita, descartando áreas que no presentan ningún indicio de mineralización.

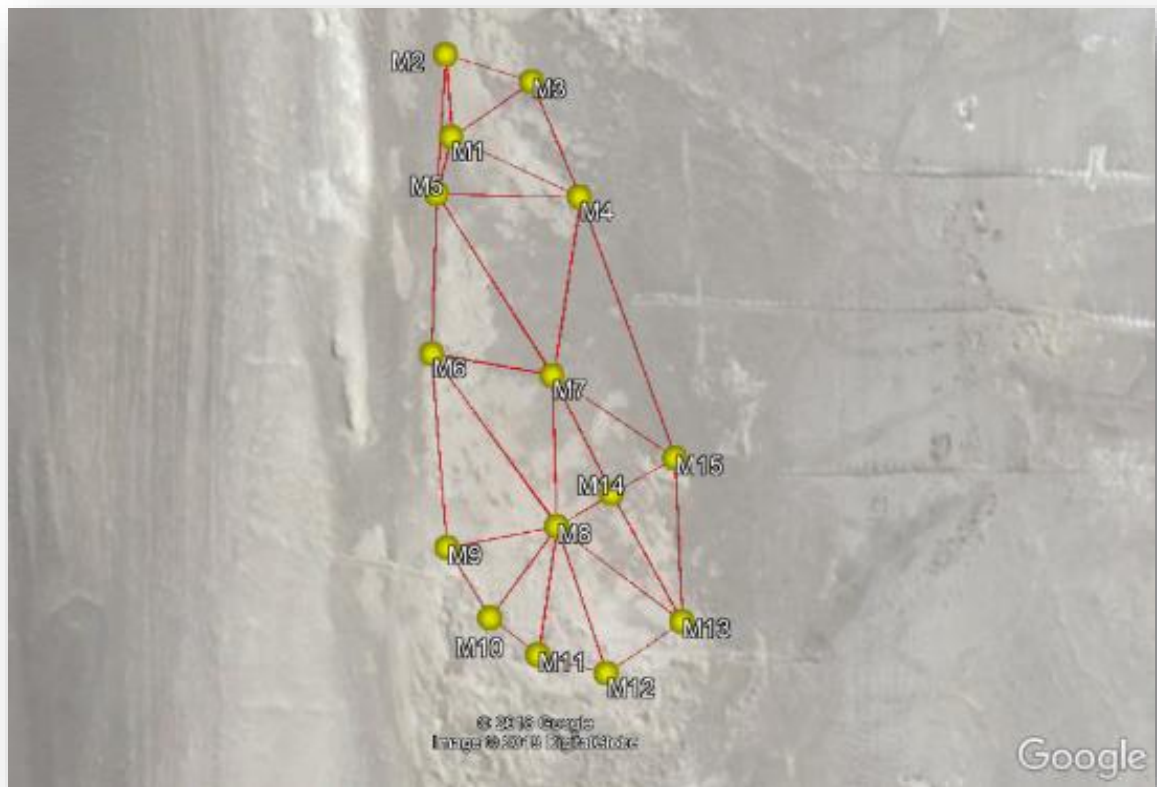
Para los cálculos se emplearon las muestras descritas en las tablas 6.2 y 6.3, y el procedimiento se muestra en el acápite 6.5.1, el mismo que servirá de base para cálculos en nuevas zonas de trabajo en el futuro.

### **6.5.1 Estimación de reservas minerales**

Se han estimado las reservas de la concesión, utilizando los métodos que se describen a continuación:

### a. Método 1: Triangulación

Se utiliza el Método de la Triangulación para depósitos con pocas variaciones de potencia. La metodología es la de unir los puntos muestreados, formando una malla triangular. Cada triángulo es la base de un prisma, donde la potencia y peso específico son constantes. En la concesión Nicanor Sebastián IV, no ha sido necesario realizar pozos o calicatas ya que las epsomitas se encuentran visibles para la toma de la potencia.



*Figura 6.9* Triangulación uniendo muestras en una malla triangular, para cubicación.  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.19

*Estimación de reservas minerales*

ESTIMACIÓN DE RESERVAS MINERALES										
BLOCK	#	ÁREA (m <sup>2</sup> )	POTENCIA. (m)	POTENC PROM (m)	VOL. (m <sup>3</sup> )	PESO ESP.	PESO DE BLOCK (t)	LEY DE Mg (%)	PROM LEY DE Mg	PESO DE Mg (t)
A	M8	554	0.2	0.2	110.8	1.5	166.2	6.13	5.72	9.5
	M9		0.2					3.36		
	M10		0.2					7.66		
B	M8	440	0.2	0.2	88	1.5	132	6.13	6.43	8.49
	M10		0.2					7.66		
	M11		0.2					5.51		
C	M8	585	0.2	0.18	107.25	1.5	160.88	6.13	5.95	9.56
	M11		0.2					5.51		
	M12		0.15					6.28		
D	M8	875	0.2	0.18	160.42	1.5	240.63	6.13	5.5	13.23
	M12		0.15					6.28		
	M13		0.2					4.28		
E	M8	601	0.2	0.18	110.18	1.5	165.28	6.13	4.88	8.06
	M13		0.2					4.28		
	M14		0.15					4.01		
F	M13	683	0.2	0.18	125.22	1.5	187.83	4.28	4.78	8.97
	M14		0.15					4.01		
	M15		0.2					5.85		
G	M6	1428	0.2	0.2	285.6	1.5	428.4	6.45	5.31	22.76
	M8		0.2					6.13		
	M9		0.2					3.36		
H	M6	1188	0.2	0.2	237.6	1.5	356.4	6.45	5.87	20.93
	M7		0.2					5.04		
	M8		0.2					6.13		
I	M7	556	0.2	0.18	101.93	1.5	152.9	5.04	5.16	7.88
	M8		0.2					6.13		
	M14		0.15					4.01		
J	M7	626	0.2	0.18	114.77	1.5	172.15	5.04	5.05	8.7
	M14		0.15					4.01		
	M15		0.2					5.85		
K	M4	575	0.3	0.23	367.5	1.5	551.25	6.66	5.97	32.89
	M7		0.2					5.04		
	M15		0.2					5.85		
L	M5	1290	0.2	0.2	258	1.5	387	6.07	5.85	22.65
	M6		0.2					6.45		
	M7		0.2					5.04		
M	M4	1701	0.3	0.23	396.9	1.5	595.35	6.66	6.03	35.89
	M5		0.2					6.07		
	M7		0.2					5.04		
N	M1	546	0.4	0.3	163.8	1.5	245.7	6.02	6.24	15.34
	M4		0.3					6.66		
	M5		0.2					6.07		
O	M1	793	0.4	0.3	237.9	1.5	356.85	6.02	6.3	22.47
	M3		0.2					6.3		
	M4		0.3					6.66		
P	M1	469	0.4	0.3	140.7	1.5	211.05	6.02	6.48	13.68
	M2		0.3					7.22		
	M3		0.2					6.3		
Q	M1	105	0.4	0.3	31.5	1.5	47.25	6.02	6.43	3.04
	M2		0.3					7.22		
	M5		0.2					6.07		
TOTAL		14015			3038.07		4557.1			264.06

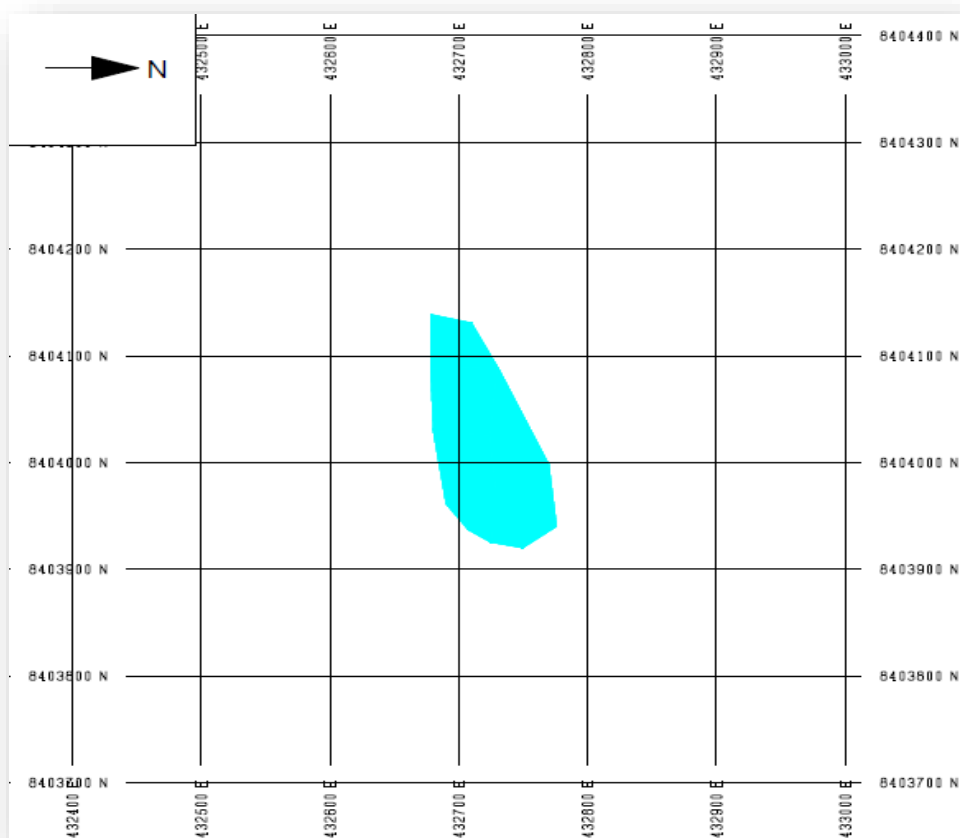
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados, se tienen los siguientes datos:

- El área total es de 14015 m<sup>2</sup>
- El volumen total es de 3038.07 m<sup>3</sup>
- El peso del bloque total es de 4557.10 t
- El peso total de magnesio es de 264.06 t

### b. Método 2: Software Minesight

Mediante este método se tomó en cuenta la capa piso y capa techo de las epsomitas para su posterior cálculo de volumen.



*Figura 6.10* El sólido resultante visto en planta  
Fuente: Elaboración propia

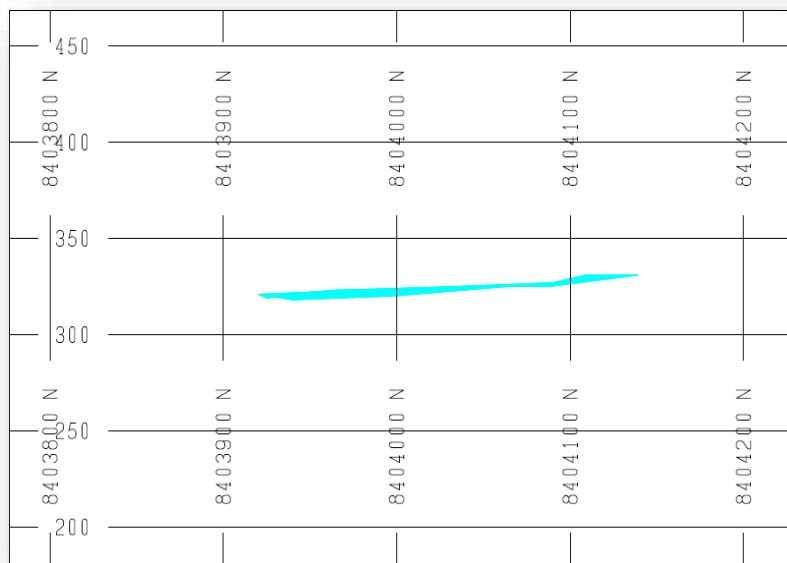


Figura 6.11 Vista Lateral del solido de epsomita

Fuente: Elaboración propia

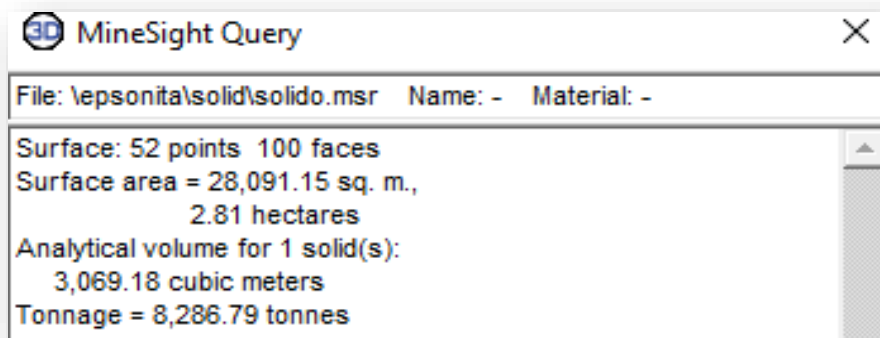


Figura 6.12 Datos obtenidos del software Minesight

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.20

Cuadro de resultados obtenidos

VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	PESO ESP.	PESO TOTAL t	LEY PROM (%)	Mg (t)
3069.18	1.5	4603.77	5.79	266.56

Fuente: Elaboración propia

La diferencia entre cada método se puede resumir en los siguientes puntos:

- La triangulación es más precisa ya que estima la ley formando grupos de tres en tres, que da un promedio más acertado.
- Con el software se toma el volumen total del cuerpo y se calcula el volumen asignándole un valor promedio uniforme para todo el cuerpo.

### **6.5.2 Método para el cálculo de reservas**

Actualmente las zonas con contenido favorable de epsomita, son muy pocas. Las reservas son calculadas en base a trabajos previos, que consisten en despejar zonas de por lo menos 3000 m<sup>2</sup> con ayuda de retroexcavadoras, que remueven todos los contaminantes y materiales extraños de la zona, entre los contaminantes más usuales están la arena y restos líticos de pocas pulgadas de tamaño. Posteriormente se toma muestras del área y se analiza en el laboratorio, la ley promedio aceptable es de 5% de Mg.

Se mide el área despejada y se establece el límite de profundidad, donde se realizará la explotación, que no debe pasar los 2 m. Con estos datos se calcula el volumen en 3 dimensiones y con la ley resultante de las muestras, se conoce las reservas que se tienen para un promedio de 4 a 5 meses.

Finalmente se vuelve a realizar este procedimiento un mes antes de terminarse las reservas en una nueva zona que ha sido previamente estudiada y muestreada.

### **Datos técnicos de las reservas**

Los datos técnicos que deben cumplir las zonas con reservas minerales, son las



siguientes:

- Ley promedio superior a 5% en contenido total de Mg.
- Humedad por debajo del 7%.
- Contenido de NaCl, debajo del 7%.
- Contenido de Si, en promedio de 60 a 70%
- Contenido en MgO superior a 10%, aunque debido a las últimas leyes bajas de Mg, este porcentaje se está elevando con otros minerales con contenido de Mg como talco o dolomita.



*Figura 6.13* La imagen de la izquierda, inicialmente se remueve la capa de arena y desmorte. En la imagen de la derecha se excavó hasta una profundidad de 50 cm aproximadamente, donde la epsomita está presente en mayor concentración, a mayor profundidad en este caso la epsomita baja considerablemente su concentración.

Fuente: Elaboración propia



*Figura 6.14* En la imagen de la izquierda, se limpia todo el desmorte y material estéril de la superficie. En la imagen de la derecha, se observa toda el área a trabajar.

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO VII**

### **EXPLOTACIÓN DE CANTERA**

#### **7.1 Parámetros de diseño**

Debido a la distribución simple de la epsomita en este yacimiento poco usual comparada con otros depósitos minerales, donde se requiere de diseños geomecánicos muy elaborados por la alta remoción de material estos depósitos de epsomita en la concesión solo son explotables hasta 50 centímetros de profundidad, por lo tanto, no se requiere de complicadas técnicas de extracción y estabilidad de taludes.

En las concesiones de este yacimiento Nicanor Sebastián, el mineral está disperso en la superficie producto de la erosión y el intemperismo forman parte del suelo desde donde las buenas concentraciones de epsomita se recolectan con técnicas simples de acopio.

#### **7.2 Planeamiento de minado**

Para el planeamiento se tiene en cuenta el estudio geológico del terreno y que la extracción será superficial y sobre terreno plano. A continuación, se considera el plan de minado a corto, mediano y largo plazo.

### **Planeamiento de minado a corto plazo**

El Planeamiento de minado a corto plazo abarca todo lo relacionado a la producción del año 2021, estableciendo la continuidad de los trabajos de preparación y explotación con la que se tendrá que lograr una producción mensual de 240 t y 2,880 t/año. No se ha encontrado agua subterránea en el área, lo que favorece la estabilidad de los taludes operacionales.

En la tabla 7.1 se muestra el planeamiento a corto plazo para el año 2021

Tabla 7.1

*Producción Programada para el año 2021*

Producción Programada año 2021	
Material económico (epsomita)	2880 t
Desmante	>5 t
<b>Total</b>	<b>2885 t</b>

Fuente: Elaboración propia

- Producción programada año 2021: 2,880 t
- Producción programada mensual: 240 t
- Producción programada por semana: 60 t
- Duración de campaña: 12 meses / año

La duración de la campaña está en función de los requerimientos del mercado, generalmente se extraen 30 toneladas cada semana.

### **Planeamiento de minado a mediano plazo**

De acuerdo al comportamiento del mercado de los minerales no metálicos incluyendo la epsomita, es difícil estimar la producción a mediano plazo; sin embargo, se tiene estimado mantener la misma producción para el mediano plazo (2,880 t/año),

de producirse algún cambio en el mercado, se modificará el planeamiento a mediano plazo que se comunicará de inmediato a la autoridad competente.

### **Planeamiento de minado a largo plazo**

El planeamiento a largo plazo para la explotación de no metálicos es incierto, sin embargo, conociendo las reservas de mineral y teniendo la oferta y demanda estable se puede mantener la producción de 2,880 t/año. Aunque se estima que la producción aumente como consecuencia de mayor demanda en el futuro.

### **7.3 Método de explotación del yacimiento**

El material económico se explota a cielo abierto (cantera) mediante raspado de la superficie, el ciclo de explotación es el siguiente:

- El raspado de la superficie se realizará en toda el área donde la epsomita no baje del porcentaje óptimo de contenido de Mg. Este raspado no supera actualmente el metro de profundidad.
- Los bancos se extraen manualmente en forma artesanal sin el uso de perforación ni voladura, el terreno es relativamente suave.
- El material recolectado se deposita en sacos, estos sacos se transportan en un camión que los lleva a la ciudad de Lima, para ser utilizado en la fabricación de fertilizantes.



*Figura 7.1* La maquinaria ablanda el terreno y el trabajador desmenuza los trozos grandes y separa los materiales no deseados del área removida.

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 7.2* La epsomita se recoge en sacos con herramientas manuales, estos se cargan al camión y son transportados a Lima como insumo en la fabricación de fertilizantes.

*Fuente: Elaboración propia*

#### **7.4 Área efectiva de trabajo y trabajos complementarios**

Actualmente se disponen de 100 hectáreas de terreno para explorar y explotar el mineral, se realizaron trochas de accesos a los puntos de explotación, se prepararon áreas para la acumulación del desmonte o material estéril y de mineral, así como también la infraestructura complementaria como almacenes de herramientas, caseta para guardianía, letrinas y trinchera sanitaria.

Las coordenadas UTM de los vértices que delimitan la poligonal del área efectiva de trabajo, son las que se indican a continuación:

Tabla 7.2  
*Área efectiva de trabajo*

VÉRTICE	LADO	DISTANCIA (m)	Ángulo interno	COORDENADAS UTM WGS 84		ÁREA
				ESTE (X)	NORTE (Y)	
A	AB	500	90°00'00"	432568,26	8403638,04	100 ha
B	BC	250	90°00'00"	432568,26	8404138,04	
C	CD	80	90°00'00"	432818,26	8404138,04	
D	DE	1750	270°00'00"	432818,26	8404058,04	
E	EF	280	270°00'00"	434568,26	8404058,04	
F	FG	200	90°00'00"	434568,26	8404338,04	
G	GH	700	90°00'00"	434768,26	8404338,04	
H	HA	2200	90°00'00"	434768,26	8403638,04	

Fuente: Elaboración propia

## 7.5 Ciclo de minado

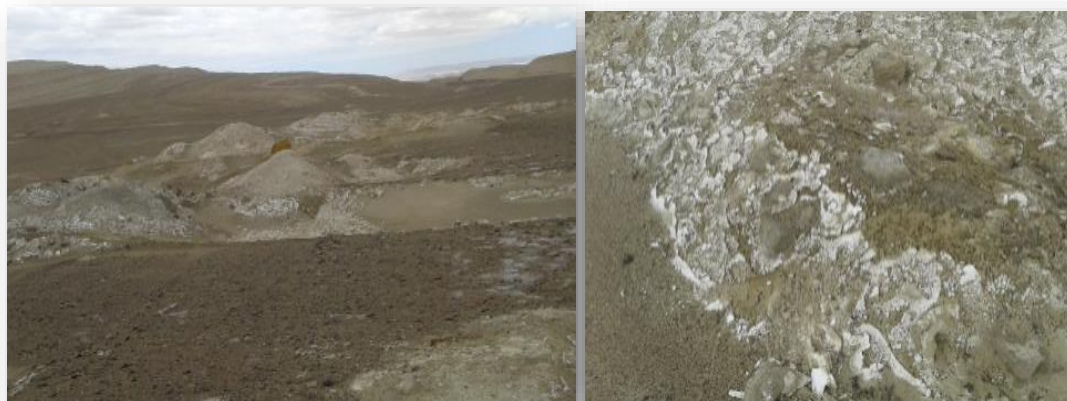
La explotación de la cantera, pasa por etapas repetitivas, se lleva el control de cada actividad y también se han establecido procedimientos para cada fase que permanentemente se busca mejorarlos para hacer una explotación eficiente. Seguidamente se describen las fases de minado: limpieza, decapeo, desbroce, repaso y remediación.

### **Limpieza**

Esta primera parte consiste en limpiar toda el área a trabajar retirando principalmente las capas de arena y costras de material variado que contienen arenas mezcladas con sales, arcillas y pequeños restos de rocas, dejando el lugar libre para extraer directamente con maquinaria o personal.

### **Decapeo**

Esta fase referida al retiro de material orgánico vegetal, este procedimiento no es necesario aplicar porque los terrenos en el área las de concesiones son eriazas, y la presencia de vegetación es prácticamente nula.



*Figura 7.3* La falta de vegetación es evidente, por lo que no se forma suelo orgánico, además la concentración de sales es alta, como se observa en la imagen de la derecha, lo que hace más difícil la existencia de vegetación.

Fuente: Elaboración propia

### **Desbroce**

Consiste principalmente en extraer y retirar la arena y diatomita suelta, alterada y sin valor económico y cualquier otro material indeseable. El desbroce se realiza en forma artesanal, con picos y lampas, cuando el material estéril no supera los 10 cm de espesor solo se procede a raspar la superficie para la extracción de la capa donde se encuentra el mineral. Para esta fase cuando el espesor del material estéril es mayor, también se puede utilizar maquinaria para extraer volúmenes mayores de forma más rápida.

### **Repaso**

En las zonas ya trabajadas que aún podrán contener mineral valioso en su interior, se procede a retirar las capas de material estéril que lo cubren, para extraer las concentraciones de epsomita que por alguna razón podrían haber quedado de la explotación anterior.

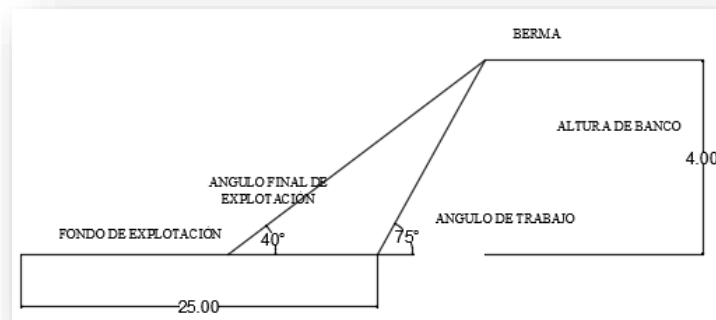
### **Remediación**

Las zonas trabajadas dejarán al final de su vida útil, hoyos y desniveles que deben ser devueltos a su condición inicial de forma casi exacta a la que tenían antes de ser trabajadas. Se utilizará el desmonte generado en la zona, que será devuelto a su lugar original y en caso faltará material para completar el relleno se procederá a nivelar con maquinaria todos los desniveles existentes.

### **Principales elementos de la cantera**

Corresponden al planeamiento y diseño general de la cantera, los elementos técnicos mostrados en la figura 7.4 sigue una secuencia para la excavación en profundidad y el ángulo de corte máximo para evitar deslizamientos. Este modelo para más de 4 metros de profundidad, pero igual sirve de referencia en trabajos de profundidad menor o con las variantes que fueran necesarias.





*Figura 7.4* Principales elementos de la cantera, en un corte de talud.

Fuente: Elaboración propia

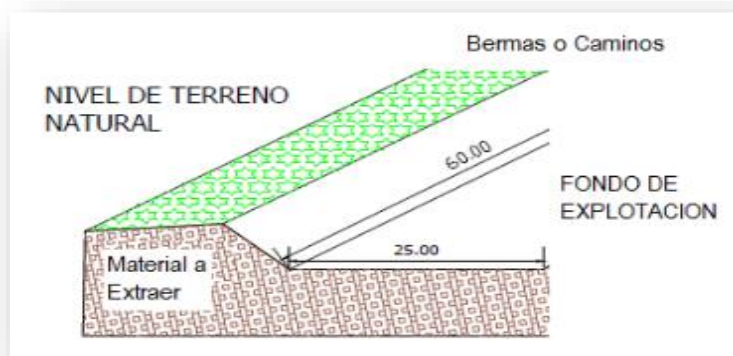
Los principales elementos técnicos que se deben tener presente son:

- Taludes: talud de banco, talud operacional, talud final
- Bancos: cresta, toe (pie de banco), cara, altura
- Rampas: ancho, pendiente, altura o intervalo
- Berma: ancho, intervalo.

### **Diseño del banco de explotación**

De acuerdo al Plan de minado, la forma de operar en la unidad minera, será de la siguiente manera:

La profundidad de explotación no superará los 2 metros verticales debido a que no se encuentra mineral a mayor profundidad. Las bermas y caminos estarán al ras de la zona de explotación para que así se pueda cargar el material más rápidamente; el ángulo de corte es muy bajo sin mucha pendiente, evitando los deslizamientos y facilitando el carguío del material al camión.



*Figura 7.5* Diseño del banco de explotación, el banco estará a un metro y como máximo 2 metros de profundidad

Fuente: Elaboración propia

### **Mineral seleccionado**

El material seleccionado y recolectado de epsomita, es transportado por trabajadores hasta el camión ubicado cerca al punto de extracción del mineral, para luego ser transportado a la ciudad de Lima para su beneficio y posterior comercialización.

### **Desmante**

El desmante cuando es significativo se utiliza para cubrir las depresiones y hoyos que se produzcan debido al raspado del suelo. Sin embargo, la mayor parte de las depresiones en el suelo producidas en la extracción, se cubren de manera natural por los sedimentos finos que deposita el viento continuamente.

### **Personal y equipos**

La relación de personal y equipos a utilizar para la operación de extracción se encuentra detallada en la tabla 7.3.

Tabla 7.3  
*Relación de personal y materiales*

Ítem	Descripción	Unidades
Personal	Estibadores	7
Lampas	Lampas de metal tipo cuchara	7
Picos	Picos de acero con mango de madera	7
Costales	De polietileno	300

Fuente: Elaboración propia

### Presupuesto de minado

El presupuesto mostrado en la tabla 7.4 es por jornal, es decir por día de trabajo.

Tabla 7.4  
*Presupuesto de personal*

PRESUPUESTO RECURSOS HUMANOS				
	ACTIVIDAD	COSTO UNITARIO	UNIDADES	TOTAL
PERSONAL	Extractiva	S/. 90.00	7	S/. 630.00
OPERADOR MAQUINARIA	Extractiva	S/. 135.00	10 horas	S/. 1,350.00
TRANSPORTISTA	Transporte mineral	S/. 120.00	30 t	S/. 3,600.00
TRANSPORTE PERSONAL	Traslados trabajadores	S/. 35.00	7	S/. 245.00
TOTAL				S/. 5,825.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.5  
*Presupuesto para materiales*

PRESUPUESTO PARA MATERIALES		
OBJETO	UNIDADES	COSTO
SACOS	400	S/. 300.00
PALAS	7	S/. 245.00
PICOS	7	S/. 245.00
ALIMENTACIÓN	7	S/. 105.00
TOTAL		S/. 895.00

Fuente: Elaboración propia

Se tiene un estimado de S/.6720.00, que sería la inversión necesaria para la extracción de 30 toneladas de material por día, a granel y su posterior envío a Lima.

### **Beneficio de la epsomita**

La epsomita transportada a la ciudad de Lima, llega a la planta de tratamiento donde es molida, secada y mezclada con otros materiales como fosfatos, nitratos, entre otros, dependiendo del tipo de fertilizante requerido para cada tipo de cultivo y región del país.

La extracción del magnesio del yacimiento Nicanor Sebastián es diferente a realizada en otras partes del mundo, donde generalmente se emplea el método de desecación de aguas marinas o lagos salados, extrayéndose diversas sales con contenidos de potasio y magnesio. En la figura 7.6 se muestran la extracción de sales en Australia y Nueva Zelanda, por el método de desecación.



*Figura 7.6* A la derecha se observa el lago de secado en Nueva Zelanda, para la obtención de sales de magnesio, a la izquierda el campo de sal de Shark Bay, en Australia Occidental.

Fuente: Google Earth

### **Comercialización de la epsomita**

La epsomita no es el producto final. Este mineral se recoge directamente de la superficie, y se utiliza como insumo en la fabricación de fertilizantes, junto con fosfatos, nitratos, potasio, por citar algunos.

El mineral a granel de epsomita, es vendido en sacos por pequeños mineros artesanales, teniendo un valor de S/. 62.5 cada saco de 50 kg, y por Tm a S/.800.00. Este valor de 1t de epsomita es extrayendo el mineral de manera casi pura separando los sedimentos y solo seleccionando los cristales, proceso muy difícil por las condiciones del lugar, ya que las vetas del mineral solo alcanzan pocos centímetros de potencia.

### **Costo total de la operación**

En la tabla 7.6 se muestra el costo aproximado de la operación de extracción.

Tabla 7.6

*Costo de extracción y empaçado*

Costo de extracción epsomita de Ica	
Extracción	S/.1357.00
Transporte	S/.2533.00
Molienda	S/.425.00

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO VIII**

### **PLAN DE CIERRE DE MINA Y REMEDIACIÓN AMBIENTAL**

El plan de cierre de una mina, son procedimientos y trabajos que buscan restaurar el terreno trabajado al terminar la vida útil de la mina. Estos procedimientos pueden tomar hasta algunos años después de haber terminado las labores económicas en la mina.

#### **8.1 Marco Legal**

En la formulación del plan de cierre de mina, se ha considerado la ley que regula el cierre de minas y su reglamento, así también, se ha seguido los criterios recomendados en la guía para la elaboración de planes de cierre de minas, emitidas por el Ministerio de Energía y Minas. El presente plan de cierre, se encuentra enmarcado en los siguientes aspectos legales vigentes:

- ✓ Ley General del Ambiente - Ley N° 28611.
- ✓ Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental - Ley N° 28245 y su respectivo Reglamento aprobado mediante D.S. N° 008-2005-PCM.
- ✓ Ley de Áreas Naturales Protegidas - Ley N° 26834.

- ✓ Ley Forestal y de Fauna Silvestre - Ley N° 27308.
- ✓ Ley General de Minería - D.L. N° 109.
- ✓ Ley que regula el Cierre de Minas - Ley N° 28090, con su respectivo reglamento aprobado mediante D.S. N° 033-2005-EM y sus modificatorias aprobadas mediante D.S. N° 035-2006-EM y D.S. N° 045-2006-EM.
- ✓ Ley Orgánica de Gobiernos Regionales - Ley N° 27867.
- ✓ Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM – Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación.

## **8.2 Objetivos y criterios del plan de cierre**

El presente plan de cierre de mina tiene como objetivo fundamental, lograr que el medio ambiente donde se desarrolló la actividad minera, recupere las condiciones de calidad necesarias para asegurar su sostenibilidad, ya sea en condiciones similares a las que poseía antes del inicio de las operaciones, y/o condiciones de uso alternativo que resulten ambientalmente viables y que a la vez sean acordes a las características particulares de la zona.

Se han definido los “criterios de cierre”, que permitirán el diseño de las estrategias que garanticen su viabilidad técnica y económica, además que sea ambientalmente sostenible. Así mismo se ha contemplado dar un importante impulso a la ejecución del cierre progresivo, es decir, desarrollar actividades de cierre de los componentes mineros conforme terminen su utilidad durante la operación de la unidad minera.

El cierre progresivo brinda grandes ventajas, entre las cuales se puede mencionar:

- Permite la utilización de recursos disponibles durante la operación de la mina (personal, equipo y materiales) que se reflejará en el ahorro de costos.
- Dejar todas las actividades de cierre al final de las operaciones, implicaría contratar los servicios de terceros con costos adicionales de traslado de equipos y personal, así como generar todos los gastos en una sola vez.
- Permite fraccionar oportuna y progresivamente, el costo de cierre en varios años, en lugar de hacerlo al final del período operativo cuando la empresa ya no genere ingresos.
- La rehabilitación anticipada de las áreas disturbadas, reduce los impactos ambientales, asegurando el control de la estabilidad física y química.
- Permite mejorar el aspecto paisajístico y la calidad ambiental en forma progresiva y en menor tiempo.
- Mejora el clima social al reducirse los reclamos y denuncias por parte de las comunidades, al desarrollarse este trabajo de manera progresiva y oportuna.

### **8.3 Componentes del cierre**

Se presenta el listado de componentes considerados, en el plan de cierre de las concesiones mineras no metálicas “Nicanor Sebastián IV & Nicanor Sebastián V”.

#### **Cantera**

La cantera es el principal componente, ya que al final de la vida útil de la cantera, es ahí donde se efectuará la mayor actividad de remediación ambiental.



## Depósitos de Desmonte

Se tienen 6 zonas de trabajo. Cada zona contará con un área donde se depositarán los desmontes, sabiendo que no se generarán cantidades considerables de desmonte. Se ha calculado que se acumularán en promedio 30 m<sup>3</sup> de desmonte por cada hectárea de trabajo, que requerirá menor actividad de remediación ambiental.

Tabla 8.1

*Componentes mineros de la concesión minera no metálica “Nicanor Sebastián IV & V”*

N°	COD.	COMP.	DENOMIN.	COORDENADAS UTM WGS 84		ALT m.s.n.m	ÁREA (m <sup>2</sup> )
				ESTE	NORTE		
1	CN-TJ-01	Tajo Abierto	Cantera	432521.3711	8404389.49	340	20434.777
2	CN-TJ-02	Tajo Abierto	Cantera	433206.8119	8404347.44	329	11282.536
3	CN-TJ-03	Tajo Abierto	Cantera	432951.3404	8404170.03	321	3679.5844
4	CN-TJ-04	Tajo Abierto	Cantera	433124.3405	8404091.71	325	13865.785
5	CN-TJ-05	Tajo Abierto	Cantera	432703.1674	8403632.18	316	69450.0784
6	CN-TJ-06	Tajo Abierto	Cantera	433083.7217	8403827.71	325	15653.0181
INSTALACIONES DE ALMACENAMIENTO							
7	CN-DM-01	DESMONTE	DEPOSITO DE DESMONTE	432569	8404447	341	774.9212
8	CN-DM-02	DESMONTE	DEPOSITO DE DESMONTE	433205	8404427	334	640.082
9	CN-DM-03	DESMONTE	DEPOSITO DE DESMONTE	432958	8404196	321	346.4692
10	CN-DM-04	DESMONTE	DEPOSITO DE DESMONTE	433114	8404141	325	935.6816
11	CN-DM-05	DESMONTE	DEPOSITO DE DESMONTE	432713	8404048	320	2903.96
12	CN-DM-06	DESMONTE	DEPOSITO DE DESMONTE	433191	8403866	322	129.8532
INSTALACIONES PARA EL MANEJO DE RESIDUOS							
APLICA							
INSTALACIONES PARA EL MANEJO DE AGUA							
NO APLICA							

Fuente: Elaboración propia

## **8.4 Condiciones actuales del área del proyecto**

### **8.4.1 Ambiente físico**

#### **Suelo**

##### **Clasificación de suelos**

Los suelos en la zona de estudio, han sido clasificados de acuerdo al mapa de suelos del Perú, realizado por la Dirección General de Aguas y Suelos del Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA, basados en el sistema de clasificación suelos de la FAO (1990).

Se ha identificado 04 grupos de suelos: arenosol háplico, solenchak háplico, leptoso lítico y afloramiento lítico. El área de estudio, así como la concesión se encuentran en su totalidad en las dos primeras clasificaciones que forma el grupo arenosol háplico - solenchak háplico.

#### **Pendiente**

En la zona del proyecto se puede observar las siguientes pendientes; plana ( $0^{\circ}$  -  $2^{\circ}$ ); ligeramente inclinada ( $2^{\circ}$  -  $4^{\circ}$ ); moderadamente inclinada ( $4^{\circ}$  -  $8^{\circ}$ ); fuertemente inclinada ( $8^{\circ}$  -  $15^{\circ}$ ); moderadamente empinada ( $15^{\circ}$  -  $25^{\circ}$ ) empinada ( $15^{\circ}$  -  $25^{\circ}$ ); muy empinada ( $>25^{\circ}$ )

#### **Tipo de suelos**

Se ha identificado una (01) unidad taxonómica a nivel de subgrupo la cual es “arenosol háplico- solonchak háplico”.

### Capacidad de uso mayor de las tierras

En esta sección se clasifican los suelos (tierras) según su capacidad de uso mayor. Esta clasificación expresa el uso adecuado de las tierras para fines agrícolas, pecuarios, forestales o de protección. Se basa en el reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor (D.S. N° 017- 2009-AG). Este sistema comprende tres categorías de clasificación: grupo, clase y subclase.

En el ámbito del proyecto se han identificado como capacidad de uso mayor de las tierras.

Tabla 8.2  
*Clasificación de suelos según su Capacidad de Uso Mayor de Tierras*

Símbolo	Descripción	Área	
		ha	%
Xle	Tierras de protección (formación Lítica) limitadas por salinidad y erosión	173.18	100.00
	Total	173.18	100.00

Fuente: Elaboración propia

### Uso actual de tierras

De acuerdo al sistema de clasificación de uso de la tierra de la UGI, los terrenos donde labora la empresa, se clasifican como: Terrenos sin uso y/o improductivos, debido a que los terrenos son en su mayoría eriazos donde no hay presencia de actividad humana más que la minera artesanal.

### **Uso futuro de las tierras**

En el área de estudio se ha identificado una (01) categoría de uso futuro de tierras como terrenos sin uso y/o improductivos, ya que no se tiene programada ninguna otra actividad de uso en el futuro.

#### **8.4.2 Ambiente biológico**

La evaluación biológica del proyecto de explotación de las concesiones mineras no metálicas “Nicanor Sebastián IV & Nicanor Sebastián V”, fue realizada, siguiendo los criterios de las zonas de vida, ecorregiones, ecosistemas y/o hábitats involucrados en las diversas actividades mineras. Se realizó la evaluación biológica, con la finalidad de determinar la abundancia, diversidad e importancia de flora y fauna en la zona del proyecto. Para ello se utilizaron puntos de muestreo y puntos de conteo para el caso de presencia de aves.

Toda la evaluación se basó en el D.S 043-2006-AG, D.S 004-2014-MINAGRI y en las listas actualizadas elaboradas por la convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres y la unión internacional para la conservación de la naturaleza. Con respecto a la identificación de zonas de vida, han sido establecidas según el diagrama de Holdridge para la evaluación de flora y fauna.

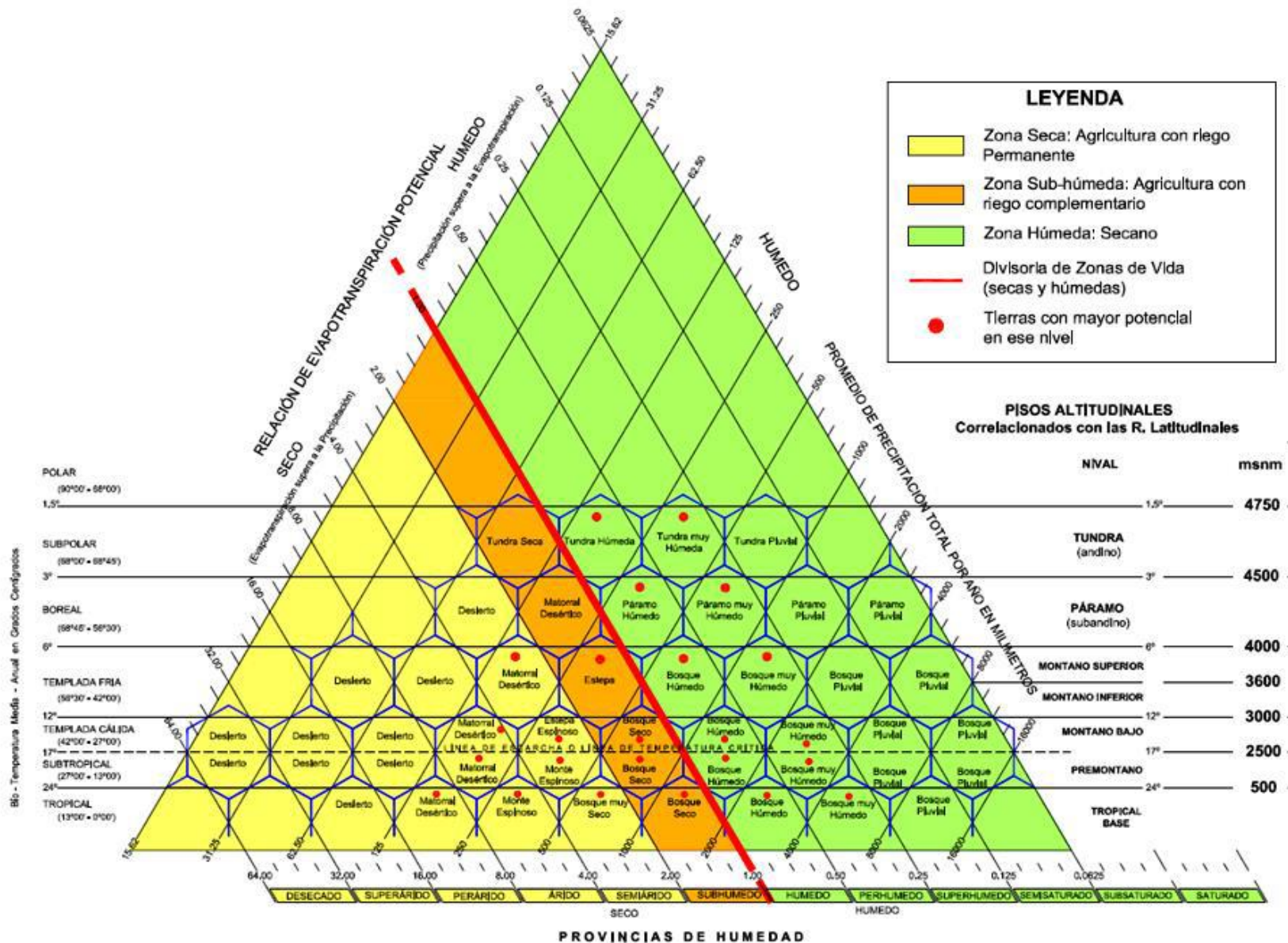


Figura 8.1 Diagrama bioclimático de Holdridge.  
Fuente: SENAMHI (2017)

## **8.5 Desarrollo de la metodología empleada en trabajos de campo**

### **Monitoreo de mamíferos**

El objetivo principal en campo, es evaluar el estatus actual y los requisitos ecológicos de las especies de mamíferos en el área de estudio. Para ello, se consultó bibliografía científica de trabajos realizados en el área de estudio o áreas afines.

Dentro de las especies que componen la fauna silvestre, los mamíferos son un grupo importante de evaluar dada su sensibilidad a perturbaciones antropogénicas. Según los estudios realizados en el área, existe una fauna de mamíferos adaptados para este tipo de ambientes y algunas de sus especies sólo habitan esta región. Asimismo, los mamíferos se consideran dentro de la lista de especies vulnerables o en peligro de extinción nacional e internacional, por lo cual aumenta la consideración de estas especies en el estudio.

### **Protocolo de monitoreo**

Para la evaluación de composición de mamíferos silvestres en el área de influencia del proyecto se ha determinado dos “zonas de evaluación” (ZE), que se basa en el tipo de cobertura vegetal, así como las características fisiográficas. En cada ZE se realizó observaciones directas con ayuda de binoculares. Se empleó puntos panorámicos sobre peñascos y roquedales para observar especies a grandes distancias. Para la evaluación de mamíferos, se utilizó la observación como método directo, e indirecto con la búsqueda de evidencias con presencia de huellas, huesos, heces, vocalizaciones, entrevistas.

A manera de complementar la información obtenida, realizando entrevistas a los pobladores que se encuentra cercana a la zona del proyecto. Para este tipo de datos, sólo se consideraron como válidos, cuando la descripción del animal por parte de los pobladores no dejó ninguna duda al investigador, incluso consultando con los pobladores locales sobre la distribución y el estatus de la fauna, utilizando fotografías e ilustraciones.

### **Monitoreo de aves**

Las aves son un grupo muy diverso y excepcionalmente bien estudiados. Su ecología, comportamiento, biogeografía y taxonomía, son relativamente conocidos, lo que las transforma en un grupo sólido para utilizarlo con propósitos de evaluación y monitoreo. La mayoría de las aves son de hábitos diurnos, tienden a ser abundantes y generalmente son visuales y auditivamente atractivas y características. Los distintos requerimientos de hábitat de las especies de aves dentro de un ecosistema combinados con formas de estudio definidas y a distancia, hacen al grupo particularmente útil para evaluar y monitorear los impactos sobre la biodiversidad y los cambios en el ecosistema. Para el protocolo de monitoreo de aves, se consideran criterios como cantidades de aves registradas según conteo en determinadas zonas, presencia de aves migrantes y/o residentes, presencia de nidos y de aves dañadas por actividades de caza furtiva.

Se utilizó el método de transectos lineales, que consiste en que el observador recorre una ruta fija, a una velocidad estandarizada (cada transecto consta de 250 metros), contando a las aves que pasen por delante del observador en el cual

identificara y registra las especies de aves vistas u oídas en ambos lados de la ruta terrestre o borde del lago. No se observó buen resultado, por el tipo de habiada de las aves de la zona.

## **8.6 Ambiente socioeconómico**

La actividad minera tiene efectos en la población tanto económica como social, por lo que se delimita las áreas hasta donde se puede tener certeza de esta influencia:

### **Área de influencia social directa (AISD)**

Dentro de la concesión y aproximadamente a 5 kilómetros a la redonda fuera de la concesión, no se aprecia asentamientos humanos o actividades humanas intensas, hay poca actividad por parte de otras empresas mineras vecinas a la concesión.

### **Área de influencia social indirecta (AISI)**

El área de influencia indirecta (AII), es definida como el espacio en el cual se perciben efectos que se producen más tarde en el tiempo o a cierta distancia y que no alteran significativamente las condiciones iniciales (línea base). En el proyecto, el AII corresponde al espacio geográfico hasta donde resultan significativas las implicancias de todas y cada una de las actividades del proyecto, es decir, aquellos efectos que podrían en alguna forma generar cambios en el ambiente físico, biológico y socioeconómico, abarcando una extensión superficial total de 1613.35 hectáreas, comprendidas en un polígono cuyas coordenadas UTM se describen en la tabla 8.3.



Tabla 8.3

*Vértices del área de influencia ambiental indirecta – AII*

VÉRTICE	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE
A	429834.2981	8406579.6644
B	435603.4026	8406584.5156
C	435603.4026	8402399.9919
D	429834.2981	8402395.1407

DATUM WGS 84 – ZONA UTM 18 S

Fuente: Elaboración propia

## 8.7 Actividades de cierre

El plan de cierre de minas, comprende los siguientes escenarios de cierre:

### Cierre temporal

Sobre los escenarios de cierre, la mina Nicanor Sebastián tomará las medidas del caso para mantener las condiciones de riesgo aceptable de los componentes de plan de cierre hasta que reinicie sus operaciones, sin que esta paralización sea mayor a tres (03) años. Si la causa temporal de esta paralización supera este tiempo, se procederá a implementar las medidas de cierre final.

En el caso de tener que ejecutarse un cierre temporal, este se ejecutara teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Bloqueo de los accesos y vías secundarias, para impedir el paso de personas y equipos hacia las canteras.
- Evitar que el material de cantera salga de la concesión, ya sea por la empresa u otras personas ajenas a la misma.
- Se restaura el terreno a su forma original evitando la erosión por el viento y para que esto no origine contaminación del mineral y así también se mantenga la

forma original del terreno.

Todas las medidas dependerán de la causa y de la duración del proceso de cierre temporal; sin embargo, bajo cualquier escenario estas medidas están orientadas a reducir la generación de polvos y sedimentos finos que podrían alterar el estado original del terreno y su posible impacto en la población y en el medio ambiente.

### **Cierre progresivo**

Se ha planificado para el proyecto, implementar un cierre progresivo, de esta forma las zonas ya trabajadas y sin más reservas de mineral se estarán remediando una a una sin esperar a que todo el proyecto termine para recién remediar las zonas trabajadas.

De acuerdo a las estimaciones, el corte de la capa superficial no excederá los 1.5 metros de profundidad, y que al retirase de esa zona, se procederá a la remediación del suelo, nivelando la superficie con maquinaria.

En la tabla 8.4 se resumen las actividades de cierre progresivo.

Tabla 8.4  
*Resumen de las Actividades de Cierre Progresivo*

COMPONENTE	OBRAS DE CIERRE PROGRESIVO
Demolición y Desmantelamiento	
Tajo Abierto	La profundidad del tajo es de apenas 1.5 m, no representando peligro en extremo, tanto para personas o animales.
Instalaciones de Procesamiento	Ninguno
Instalaciones para el Manejo de Residuos	Ninguno
Instalaciones para el Manejo de Aguas	Ninguno
Otras Infraestructuras Relacionadas con el Proyecto	Ninguno
Vivienda y Servicios para los Trabajadores	Ninguno
Estabilidad Física, Hidrológica y Geoquímica	
Labores a Tajo Abiertos	Mantenimiento, limpieza y Seguridad.
Instalaciones de Procesamiento	Mantenimiento, limpieza y Seguridad.
Instalaciones para el Manejo de Residuos	Mantenimiento, limpieza y Seguridad.
Instalaciones para el Manejo de Aguas*	Mantenimiento, limpieza y Seguridad.
Otras Infraestructuras Relacionadas con el Proyecto**	Mantenimiento, limpieza y Seguridad.
Vivienda y Servicios para los Trabajadores	Mantenimiento, limpieza y Seguridad.

Fuente: Elaboración propia.

(\*) La zona de trabajo no cuenta con ninguna instalación de manejo de aguas, los trabajos son por campañas que buscan en lo posible no tener que asentar trabajadores de forma permanente en la zona de trabajo, dado que las actividades son solo extractivas.

(\*\*) No se tendrá ningún tipo de estructura en la cantera, ya que solo se necesita de aproximadamente 6 horas al día de laboreo para la extracción del material de interés, los trabajadores y demás equipos de trabajo retornan a sus hogares una vez terminada cada campaña.

### **Cierre final**

Los componentes del cierre final, están descritos en la tabla 8.5, donde se detalla sus características y actividades según el tipo de componente.

Tabla 8.5

Lista de Componentes considerados para el Cierre Final.

CUADRO RESUMEN DE ACTIVIDADES DE CIERRE - PCM DE LA CANTERA NICANOR										
N°	Código	Tipo de componente	Denominación	Desmantelamiento	Demolición, salvamento y disposición	Estabilidad física	Estabilidad Hidrológica	Estabilidad Geoquímica	Revegetación	Escenario de cierre
1	CN-LB-01	TAJO	Cantera	No amerita	No amerita	<p><b>Cierre operativamente:</b> Se respetará los parámetros de diseño de ingeniería para las actividades de cierre.</p> <p><b>Actividad de Cierre:</b> Nivelado del terreno con ayuda de maquinaria.</p>	No amerita dado que este componente se encuentra en una zona hidrológicamente estable.	El componente se encuentra emplazado en suelos cuya naturaleza mineralógica no es generadora de acidez. Por tanto, esta actividad no aplica.	No amerita, dado que las tierras de la zona son inapropiadas para fines de irrigación y agropecuarios, además presentan limitaciones severas que se caracterizan por la muy escasa o nula precipitación pluvial durante todo el año.	Final
INSTALACIONES DE PROCESAMIENTO										
2	CN-CM-01	Cancha de mineral	Depósito de material	No amerita	No amerita	Refine y nivelación	No aplica ya que el componente se encuentra en una zona hidrológica estable.	El material no es ácido por lo que no aplica, además que todo el material será transportado fuera de la concesión.	No Amerita, dado que las tierras de la zona del proyecto son inapropiadas para fines de irrigación y agropecuarios, además presentan limitaciones severas impuestas por la naturaleza de los factores de suelos, topografía, drenaje, posición fisiográfica y ecológica; asimismo, que la zona del proyecto se caracteriza por tener precipitación pluvial muy escasa o nula durante todo el año.	Final
3	CN-CM-02	Cancha de mineral	Depósito de material	No amerita	No amerita	Refine y nivelación				Final
INSTALACIONES PARA EL MANEJO DE RESIDUOS										

NO APLICA										
INSTALACIONES PARA EL MANEJO DE AGUAS										
4	CN-IMA-01	Infraestructura para el suministro de agua	Botellas de 3 L de agua	Recojo de los embaces plásticos ya utilizados	No amerita	No amerita	No amerita, dado que este componente se encuentra en una zona hidrológicamente estable	El componente se encuentra emplazado en suelos cuya naturaleza mineralógica no es generadora de acidez. Por tanto, esta actividad no aplica.	No Amerita, dado que las tierras de la zona del proyecto son inapropiadas para fines de irrigación y agropecuarios, además presentan limitaciones severas impuestas por la naturaleza de los factores de suelos, topografía, drenaje, posición fisiográfica y ecológica; así mismo que la zona del proyecto se caracteriza por tener precipitación pluvial casi nula durante todo el año.	Final
ÁREAS DE MATERIAL DE PRÉSTAMO										
NO APLICA										

OTRAS INFRAESTRUCTURAS RELACIONADAS CON EL PROYECTO										
5	CN-INF-01	Infraestructura para el suministro de agua	Almacén Central	El proyecto no cuenta con almacenes fijos, solo de manera temporal se almacenarán los materiales trabajados a cielo abierto para que sequen.	No aplica	No amerita	No amerita, dado que este componente (5 al 11) se encuentra en una zona hidrológicamente estable	El componente (5 al 11) se encuentra emplazado en suelos cuya naturaleza mineralógica no es generadora de acidez. Por tanto, esta actividad no aplica.	No amerita dado que las tierras de la zona del proyecto son inapropiadas para fines de irrigación y agropecuarios, además presentan limitaciones severas impuestas por la naturaleza de los factores de suelo, topografía, drenaje, posición fisiográfica y ecológica; asimismo, que la zona del proyecto se caracteriza por tener precipitación pluvial muy escasa.	Final
6	CN-INF-02	Infraestructura	Patio de maniobras	No aplica	No amerita	No amerita				Final
7	CN-INF-03	Infraestructura	Área de combustibles	No aplica, los camiones trabajan por campañas y solo estarán el tiempo suficiente para recoger el material preparado.	No aplica	Refine y nivelación				Final
8	CN-INF-04	Infraestructura	Grupo electrógeno	No se contará con estos equipos	No amerita	Refine y nivelación				Final
9	CN-INF-05	Infraestructura	Carteles de cemento	Desmantelamiento de estructuras de cemento	Demolición, salvamento y Disposición	Refine y nivelación				Final
10	CN-INF-11	Depósitos de residuos solidos	Área de residuos solidos	Desmantelamiento de estructuras de madera y plásticos	Reciclaje de los materiales plásticos	Refine y nivelación				Final
11	CN-INF-12	Accesos	Accesos	No presenta infraestructuras para desmantelar	No amerita	Refine y nivelación	Final			

VIVIENDA Y SERVICIOS PARA LOS TRABAJADORES										
12	CN-INF-12	Servicios	Servicios Higiénicos	Retiro del baño disal	No amerita	Refine y nivelación	No amerita dado que este componente se encuentra en una zona hidrológicamente estable.	El componente se encuentra emplazado en suelos cuya naturaleza mineralógica no es generadora de acidez. Por tanto, esta actividad no aplica.	No amerita, dado que las tierras de la zona son inapropiadas para fines de irrigación y agropecuarios, además presentan limitaciones severas que se caracterizan por la muy escasa o nula precipitación pluvial durante todo el año.	Final
13	CN-VST-02	Campamentos	No se campamentos, los trabajos son por campañas cortas	No aplica	No amerita	Refine y nivelación				Final

Fuente: Elaboración propia

## **8.8 Mantenimiento post-cierre**

### **Mantenimiento de estabilidad física**

Las actividades del mantenimiento de la estabilidad física, estarán enfocadas al desarrollo de un programa de mantenimiento para los componentes mineros en proceso de cierre y rehabilitación. El programa de mantenimiento consistirá en la ejecución de actividades relacionadas a la limpieza y restauración de la superficie del terreno, ya que se buscará devolver la topografía inicial de la zona mediante la nivelación de las zonas excavadas o removidas. Se realizarán nivelado superficial mediante el uso de retroexcavadora o cargador frontal.

Se realizarán inspecciones en dos etapas, siendo el primer monitoreo al primer año y posteriormente se realizarán nuevos monitoreos cada 3 años, esto debido a que el material solo está conformado por polvo y arena que no produce mayor afectación al medio ambiente, no habiendo mayor cambio en base a otros componentes. El material a monitorear, serán de las desmonteras y las canteras.

### **Mantenimiento de la estabilidad geoquímica**

No se han adoptado medidas de cierre para la estabilidad geoquímica de los componentes del proyecto de la “Cantera Nicanor”, debido a que las operaciones se hallan en zonas que no tienen presencia de material generado por DAR (drenaje ácido de roca), por lo tanto, no se tiene prevista la implementación de actividades de mantenimiento geoquímico, en el post cierre. Solo se prevé el retiro de los suelos, que hubiesen sido contaminados por acción de derrame de combustibles de forma accidental.

### **Mantenimiento de la estabilidad hidrológica**

No se han adoptado medidas de cierre para la estabilidad hidrológica de los componentes mineros del proyecto de explotación de la “Cantera Nicanor”, debido a que las operaciones se hallan en una zona desértica y no se observa la existencia de aguas superficiales ni afloramientos de aguas subterráneas. Por lo tanto, no corresponde adoptar medidas de estabilidad hidrológica para el escenario de cierre ni tampoco la implementación de actividades de mantenimiento hidrológico en el post cierre. Existen lluvias fuertes entre los meses de diciembre a marzo, algunas veces de gran intensidad provocando huaycos en el distrito de Santiago y algunas veces llegando hasta Ocucaje que es un distrito costero, sin embargo, este fenómeno es inusual y no es capaz de cambiar la morfología del área donde se encuentra la concesión, por lo que la actividad minera no se verá afectada por eventos, climáticos normales, salvo ocurrencia extrema anormal.

### **Mantenimiento de estabilidad biológica**

No se han adoptado medidas de cierre para la revegetación de las áreas donde se ubican los componentes del proyecto de explotación de la “Cantera Nicanor”, debido a que las operaciones se hallan en una zona desértica donde las precipitaciones son casi nulas y por ende no se han de revegetar las huellas de los componentes cerrados, por lo tanto, no se tiene prevista la implementación de actividades de mantenimiento de áreas revegetadas en el post cierre.

El resumen del mantenimiento esta detallada en la tabla 8.6.



Tabla 8.6  
*Cuadro del monitoreo ambiental*

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	COMPONENTES	FRECUENCIA	RESPONSABLES	
Mantenimiento físico	Verificación y mantenimiento de nivelado de terrenos excavados y desmontes acumulados	Canteras y desmonteras	Anual (Primer año) Trianual (años posteriores)	Área de Operaciones y Consultor externo
Mantenimiento geoquímico	Recojo de tierras contaminadas por derrame accidental de combustibles o similares	Carreteras, canteras y desmonteras	Anual (Primer año) Trianual (años posteriores)	Área de Operaciones y Consultor externo
Mantenimiento Hidrológico	No aplica para las condiciones de la cantera	No aplica	No aplica	No aplica
Mantenimiento biológico	Al retirarnos definitivamente de la cantera, la fauna local podrá continuar habitando las áreas anteriormente trabajadas, la flora es inexistente en esta zona por lo que no se prevé cambios significativos anteriores al retiro	Carreteras, canteras y desmonteras	Al cierre final de las operaciones	Área de operaciones

Fuente: Elaboración propia

## 8.9 Actividades de monitoreo post cierre

### Monitoreo de la estabilidad física

El monitoreo de estabilidad física, consiste en la evaluación periódica de las condiciones de estabilidad y el potencial movimiento de tierras, debido a la acción sísmica y geodinámica externa en el área de influencia de los componentes ambientales mineros.

Las actividades del monitoreo de la estabilidad física consistirán en la ejecución de inspecciones y observaciones visuales mediante el uso de una hoja de verificación, para identificar en las “obras de cierre” posibles desplazamientos anómalos de sedimentos y material suave como arena y polvo. Se propusieron hitos de control para el monitoreo de la estabilidad física, ubicados principalmente en los

depósitos de las canteras y los depósitos de desmontes. En las tablas 8.7 y 8.8, se detallan la ubicación de dichos hitos.

Tabla 8.7  
*Puntos de monitoreo ambiental*

DENOMINACIÓN	HITO	COORDENADAS UTM WGS 84		ALTITUD m.s.n.m
		ESTE	NORTE	
Cantera	PC-01	432521.3711	8404389.494	341
	PC-02	432651.9842	8404550.612	332
	PC-03	432950.011	8404185.635	321
	PC-04	433138.6039	8404259.188	328
	PC-05	432706.3073	8403755.428	316
	PC-06	432862.7583	8403701.973	313
	PC-07	432714.6707	8403631.089	316
	PC-08	433236.842	8403910.785	323

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.8  
*Hitos de monitoreo ambiental*

DENOMINACIÓN	HITO	COORDENADAS UTM WGS 84		ALTITUD m.s.n.m
		ESTE	NORTE	
Desmontes	HB-01	430780	8405620	313
	HB-02	432100	8403950	330

Fuente: Elaboración propia

Se estima que la frecuencia del monitoreo, será anual por todo el periodo de post cierre. El monitoreo estará a cargo de una empresa especializada en el tema, después del cierre final de las operaciones.

### **Monitoreo de la estabilidad geoquímica**

#### **a. Programa de monitoreo de calidad del agua**

El plan de cierre de minas del proyecto “Cantera Nicanor”, no contempla el monitoreo de calidad de agua, debido a que las operaciones se hallan en zonas

desérticas, donde las precipitaciones son escasas y por ende no se registra escorrentía superficial significativa, tampoco existen cursos de agua permanente; por lo tanto, no se requerirán monitoreo de calidad de agua.

#### **b. Programa de monitoreo de la calidad del aire**

El programa de monitoreo de la calidad del aire tiene como objetivo la evaluación de los niveles de concentración de contaminantes de material particulado y gases en el área de influencia del proyecto. Los parámetros de evaluación en las estaciones PM-01 y PM-02 son SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO. El monitoreo se concentrará más en el material particulado como polvo y sedimentos finos, debido a que no se realizan actividades generadoras de gases de ningún tipo, se han establecido 2 puntos de monitoreo, cuyas ubicaciones den un panorama de buena medición de la condición de la calidad del aire, cuyas coordenadas de ubicación se observan en la tabla 8.9

Tabla 8.9

Ubicación de las estaciones de monitoreo post cierre de calidad de aire

ESTACIÓN	COORDENADAS-UTM WGS 84		DESCRIPCIÓN
	ESTE	NORTE	
PM-01	431650	8405044	A 30 metros del ingreso.
PM-02	433032	8403629	En la parte sur central, limite final de la concesión.

Fuente: Elaboración propia

Se estima que la frecuencia del monitoreo será anual por todo el periodo de post cierre (05 años).

## 8.10 Presupuesto para el plan de cierre

En la tabla 8.10 y 8.11 se presenta el cálculo del presupuesto para el plan de cierre y en la tabla 8.12 el cronograma de pagos del plan de cierre. Finalmente, en la tabla 8.13 se presenta el presupuesto total del plan de cierre.

Tabla 8.10  
*Datos para el cálculo del presupuesto*

VOLUMEN EFECTIVO A DISTURBAR		PRODUCCIÓN ANUAL	PRODUCCIÓN VIDA ÚTIL (12 Años)
46205.50 m <sup>3</sup>		2880 Tn/año	34560 Tn
PARÁMETROS DE MEDIDA			
Densidad mineral	Volumen de mineral	Volumen de material a nivelar	Volumen a nivelar por año
2.1 g/cm <sup>3</sup>	16457.14 m <sup>3</sup>	29748.36 m <sup>3</sup>	2479.03 m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.11  
*Calculo costo alquiler retroexcavadora para remediación de terrenos*

Año	Hr. /año	Soles/año	transporte	costo total/año (S/)
1	30.99	3,718.55	960	4,678.55
2	30.99	3,718.55	960	4,678.55
3	30.99	3,718.55	960	4,678.55
4	30.99	3,718.55	960	4,678.55
5	30.99	3,718.55	960	4,678.55
6	30.99	3,718.55	960	4,678.55
7	30.99	3,718.55	960	4,678.55
8	30.99	3,718.55	960	4,678.55
9	30.99	3,718.55	960	4,678.55
10	30.99	3,718.55	960	4,678.55
11	30.99	3,718.55	960	4,678.55
12	30.99	3,718.55	960	4,678.55
				56,142.54

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.12  
Cronograma de pagos cierre de mina en soles (S/.)

Año	COSTOS CONSIDERANDO IGV				Descontando IGV
	Maquinaria	Ing. Civil	Monitoreo Ambiental	costo total/año (S/)	
1	4,678.55	400.00	4794.34	9,872.89	8,366.86
2	4,678.55	400.00		5,078.55	4,303.86
3	4,678.55	400.00	4794.34	9,872.89	8,366.86
4	4,678.55	400.00		5,078.55	4,303.86
5	4,678.55	400.00		5,078.55	4,303.86
6	4,678.55	400.00	4794.34	9,872.89	8,366.86
7	4,678.55	400.00		5,078.55	4,303.86
8	4,678.55	400.00		5,078.55	4,303.86
9	4,678.55	400.00	4794.34	9,872.89	8,366.86
10	4,678.55	400.00		5,078.55	4,303.86
11	4,678.55	400.00		5,078.55	4,303.86
12	4,678.55	400.00	4794.34	9,872.89	8,366.86
Total, Cierre				84,914.24	71,961.22
Post Cierre				23,971.70	20,315.00
Total, PCM				108,885.94	92,276.22

Fuente: Elaboración propia

El post cierre se realizará mediante un monitoreo ambiental anual, durante 5 años.

### Presupuesto total

El presupuesto total del **Plan de cierre de minas del proyecto de explotación de la cantera “NICANOR”** es de S/. 108,885.94 descompuestos en S/. 9,872.89 el primer año y después cada 3 años de S/. 5,078.55 anual, hasta el cierre final. En la etapa de mantenimiento y monitoreo post-cierre se realizarán monitoreos ambientales anuales por parte de los laboratorios de ECUAS.

Tabla 8.13  
Resumen presupuesto Plan de Cierre

DESCRIPCIÓN	SIN IGV (S/.)	Inc. IGV 18% (S/.)	PERIODOS (años)
Cierre Progresivo	71961.22	84914.24	12
Post Cierre	20315	23971.7	5
Total, Cierre	92276.22	108885.94	17

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

- La epsomita al ser un mineral soluble con un contenido promedio de 5.5% de magnesio, es rentable para las empresas agrícolas o de fertilizantes ya que al ser un material inocuo y no tóxico es de los pocos minerales que no afectan en gran medida al medio ambiente y favorecen la agricultura.
- La exploración y explotación de la epsomita en esta cantera es relativamente de bajo costo y su extracción no es compleja, sin embargo, se debe conocer bien el mineral y su distribución en el terreno ya que la epsomita se presenta en forma cristalina, así como en forma de polvo fino que fácilmente se puede confundir con la diatomita. La diatomita cuando es erosionada tiene un aspecto de polvillo blanco muy fino, también se puede confundir con el yeso que se forma como relleno en las fracturas de la roca de diatomita.
- La epsomita se diferencia de la halita por la morfología de cada mineral ya que la primera por lo general es fibrosa mientras que la segunda está en costras, así también la epsomita no se mezcla con la arena fácilmente, pero si se mezcla la sal común al disolverse con facilidad por la humedad de la superficie.
- La epsomita de valor comercial requiere de 5% de contenido mínimo de magnesio, pero es bastante laborioso encontrar zonas con leyes que superen este porcentaje. Sin embargo, se ha observado zonas de capas de sal, relacionadas a

epsomita con esa ley requerible, que sirve como vía de reconocimiento y exploración.

- Se ha confirmado en laboratorio que la diatomita de este yacimiento es del tipo soluble, siendo así una sílice soluble que aporta silicio a las plantas y es usada en la industria agrícola.
- Se ha confirmado en laboratorio que la diatomita de este yacimiento es del tipo soluble, siendo así una sílice soluble que aporta silicio a las plantas y es usada en la industria agrícola. La diatomita que contiene epsomita como en este caso, es útil para la industria agrícola. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la diatomita en general según su grado de pureza, es una roca muy utilizada principalmente como filtrante, purificador y clarificador de muchos tipos de líquidos relacionadas a las industrias química, petrolera, farmacéutica, de alimentos, aceites, pinturas, así como material de relleno para fertilizantes, fabricación de cementos antisalitre, entre muchas otras aplicaciones.
- La vida útil de la mina depende fundamentalmente de las condiciones climáticas de la zona, el intenso calor y la presencia de fuertes vientos hacen que mucha de la epsomita se pierda por la erosión.
- La epsomita es un mineral poco conocido en el Perú, su explotación es casi inexistente, se le conoce principalmente en la actividad agrícola, rara vez mencionada fuera de esta actividad incluso en el ámbito académico.

- No se ha reportado epsomita en otra parte del país, por lo general el magnesio se extrae secando grandes volúmenes de agua de mar y separando posteriormente el magnesio y la sal común. Se ha considerado otros posibles yacimientos de epsomita en los desiertos de Ocucaje, sin embargo, la falta de accesos hace muy difícil su exploración o extracción, ya que es muy difícil transitar en zonas arenosas para casi cualquier vehículo, también porque zonas con este mineral están denunciadas por empresas que no exploran o tienen otro material a explotar y los bajos volúmenes de epsomita no son de su interés.
- La obtención de información sobre la epsomita ha sido arduo y gran parte del contenido de este trabajo se ha basado en experiencias propias de campo.



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda considerar como guía en la exploración/explotación de la epsomita, las zonas con capas de sal para la posible identificación en profundidad de concentraciones de magnesio en ley superior al 5%, que es su mínimo de ley comercial.
- Se recomienda retirar primero la capa de halita o sal común pues el NaCl no es un mineral beneficioso para productos agrícolas y fertilizantes, por lo que se debe retirar la capa de sal primero antes de extraer la epsomita. Las capas de sal se forman en la superficie y van desapareciendo conforme se profundiza en el terreno.
- A fin de evitar la pérdida de la epsomita por la erosión natural del viento, se recomienda abrir en las zonas con epsomita, calicatas y zanjas para volúmenes no mayores a 150 m<sup>3</sup> o cerca de 200 toneladas de material por semana, ya que esta es la cantidad óptima para una semana de trabajo.
- Se recomienda en la primera etapa de explotación, la extracción de la epsomita hasta no más de 2 metros de profundidad, ya que a mayor profundidad el magnesio está en las capas compactadas.

- Una vez explotada la capa superficial, se recomienda fracturar el terreno que contenga epsomita por debajo del sector ya trabajado, donde al liberarse la presión este mineral se irá reconcentrando, aunque pueda tomar meses y dependerá del porcentaje que se encuentre disuelto en las capas del interior de la superficie. En explotaciones antiguas ha dado buenos resultados ya que zonas antiguamente trabajadas han vuelto a ser explotables al cabo de unos meses.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acosta, J., Rodríguez, I., Flores, A. y Huanacuni, D. (2011) Memoria sobre la Geología Económica de la Región Ica.
2. Adams, J. (1906). Caudal, procedencia y distribución de aguas de los departamentos de Lima e Ica. Bol. Cuerpo de Ing. de Minas 37.
3. Alamy. (2019). Kieserita (sulfato de magnesio), Paquistán mineral. Recuperado de: <https://www.alamy.es/foto-kieserita-sulfato-de-magnesio-pakistan-mineral-96354728.html>
4. Bellido, E y Guevara, C. (1963). Geología del Cuadrángulo de Ático. Com. Carta Geológica Nacional Bol. N° 12.
5. Bieniawski, Z. (1989). Clasificaciones de ingeniería de masas de rocas. Pennsylvania, USA: John Wiley & Sons.
6. Bonewitz, R. (2009). Rocas y Minerales La Guía Visual Definitiva, 215.
7. Bustillo, M. (1992). Rocas y minerales silíceos de uso industrial en España: Producción y Sectorización, 162-163.

8. Caldas, J. (1978). Geología de los cuadrángulos de San Juan, Acarí y Yauca Serv. Geol. Y Min. Bol. N° 30 Serie A.
9. Crespo, V. (1976). En Mecánica de suelos y cimentaciones-Quinta Edición. México D.F: Noriega.
10. Cobbing, J. (1977) Segmentos y súper unidades en el Batolito de la Costa de Perú. Jurón. Geol. 85.
11. DEB consulting (2019). Clasificación Climática Método de Werren Thorthwaite. Lima, Perú. Recuperado de <https://debconsulting.weebly.com/peruacute-clasif-climat-senamhi---wt.html>
12. Díaz, V y Ramírez, J. (2009). Compendio de Rocas y Minerales Industriales en el Perú. Boletín N° 19 Serie B, 141-143, 309-310.
13. Fernández, M. (1993). Geología de los Cuadrángulos de Pisco, Guadalupe, Punta Grande, Ica y Córdova. Boletín N° 47 Serie A.
14. Galan, C. (2003) Fauna cavernícola, hidrología y mineralogía de espeleotemas en una mina-cueva de Leiza, Navarra. Sociedad de Ciencias Aranzadi.
15. García, J y Martínez, J (1992). Recursos minerales de España, 160.

16. Gozalvez, M., Herrmann, C. y Zappettini, E. (2004). *Minerales Industriales de la República Argentina*, Servicio Geológico Minero Argentino. Anales 39, 371 p. Buenos Aires.
17. Garces, I (s.f). *EPSOMITA (MgSO<sub>4</sub>7H<sub>2</sub>O)*. *Minerales Industriales*. Universidad de Antofagasta Chile, 1-4.
18. Kriscautzky, A., Colombo, F. y Brodtkorb, M. (2012). *Deshidratación de sulfatos de magnesio: Formación de Starkeyita y Kieserita a partir de Hexahidrita en muestras procedentes de la mina Santa Elena (San Juan)*. Universidad de Córdoba.
19. Márquez, G. (1996). *Biodiversidad marina: aproximación con referencia al Caribe*. FEN Colombia, 67-102. Recuperado de <http://www.idea.unal.edu.co/publica/docs/BiodMarina.pdf>
20. *Meteorología en Red* (2019) *El origen que es y cómo se usa la escala Beaufort según el viento*. Recuperado de <https://www.meteorologiaenred.com/escala-beaufort.html>
21. *Minerales* (2019) *Minerales aceptados por el IMA*. Recuperado de: <http://roble.pntic.mec.es/~jfes0017/mineral.php?letra=k&orden=1877>

22. Noticias de un espía en el Laboratorio (2019) Noticia N° 5: El ataque de los sulfatos. Recuperado de: <http://espiadellabo.com/2014/02/noticia-no5-el-ataque-de-los-sulfatos/>
23. Olivares, P. Taype, V. y Castro, S. (1994) Estudio geodinámico de la cuenca del Rio Ica.
24. Peña, F. Sánchez, M. y Parí, W. (2010) Hidrogeología de la Cuenca del río Ica, Regiones Ica y Huancavelica. Boletín N° 3 Serie H, 33.
25. Ramírez, P. y Alejano, L. (2004). Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes.
26. Romana, M. (1995). La clasificación geomecánica SMR para corrección de pendiente. Proc. Int. Congreso de mecánica de rocas.
27. Romana, M. y Seron, J. (2003). Formatos normalizados para la toma de datos de campo a usar en las clasificaciones geomecánicas RMR, Q y SMR. Universidad Politécnica de Valencia.
28. SENAMHI (2017) Atlas de Zonas de Vida del Perú. Guía Explicativa. Nota Técnica 003 Dirección de Hidrología.
29. SENAMHI (2019) Datos meteorológicos. Recuperado de estación Ocucaje

<https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>

30. SENAMHI (2019) Red de estación pluviométrica Ocucaje. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=ica&p=estaciones>
31. Topgeology (2019) Columnas estratigráficas del Perú. Recuperado de <http://topgeology.blogspot.com/p/descargables.html>
32. Valentín, J. (1996). Aguas de surgencia. Ciencia Hoy, volumen 6, N° 34, 41-48.
33. Verdeja, L. Ayala, J. Llavona, M. Vásquez, E. y Barranzuela, L. (1993). Las diatomitas del Perú. Artículo de revisión Dpto. de Ciencias de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Escuela de Minas Universidad de Oviedo España y la Facultad de Ingeniería Universidad de Piura Perú 124.
34. Vílchez, M. y Ochoa, M. (2014). Zonas críticas por peligros geológicos en la región Ica. Informe técnico geológico ambiental INGEMMET 5.
35. Webmaster: Josep A. Torres (2019) Minerales Epsomita. Recuperado de <http://www.mineralesweb.es/sulfatos/epsomita.htm>