



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LOS AMBIENTES SEDIMENTARIOS Y SUS  
PRINCIPALES FACTORES DE CONTROL, NOR-ESTE DEL SALAR DE COPOSA,  
CHILE**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA**

**NATALIA CAROLINA NAVARRETE JAURE**

**PROFESOR GUÍA:**

**JACOBUS LE ROUX**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:**

**LUISA PINTO LINCOÑIR**

**ANGELO CASTRUCCIO ALVAREZ**

**SANTIAGO DE CHILE**

**JULIO 2012**



# ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LOS AMBIENTES SEDIMENTARIOS Y SUS PRINCIPALES FACTORES DE CONTROL, NOR-ESTE DEL SALAR DE COPOSA, CHILE

En la zona norte de Chile entre los 20°30'S y 20°45'S aproximadamente, se encuentra la Cuenca del Salar de Coposa. Esta cuenca al igual que otras cuencas aledañas posee las características adecuadas para el depósito de sales. Actualmente en esta zona se explota agua para el abastecimiento de faenas mineras.

En este estudio se pretende describir detalladamente el registro estratigráfico de la zona nor-este de la cuenca, determinando como se forman las distintas unidades que se puedan reconocer. Para esto se analizan macroscópicamente y microscópicamente 3 sondajes diamantinos profundos, llamados DEC-04, DEC-05 y DEC-06.

Hacia la base de los tres pozos aparece una toba cristalina que se correlaciona con la Ignimbrita Huasco, con una edad miocena media. Se observa que el techo de esta unidad se eleva hacia el sur. Sobre la toba cristalina se observa una brecha volcano-sedimentaria compuesta por clastos de origen volcánico y plutónico, mal seleccionados. Esta brecha es correlacionable con los depósitos aterrazados Tt de edad miocena tardía-pliocena temprana (Victor, 2004). Sobreyaciendo a esta unidad se encuentra la secuencia volcano-sedimentaria (inferior), compuesta principalmente por arenas medias y cenizas. Es común observar en este nivel laminación y retrabajo. Sobre estos depósitos destaca la presencia de la sucesión sedimentaria evaporítica en los pozos DEC-04 y DEC-05, en la cual se distinguen sulfatos de calcio, niveles clásticos y piroclásticos (principalmente ceniza). En esta unidad es posible reconocer como ambientes de formación sabkhas y lagos playa conviviendo con un arco activo con actividad explosiva. Los sulfatos de calcio encontrados corresponden a yeso y anhidrita. Es común observar en el microscopio cristales de yeso transformándose a anhidrita. Este tipo de depósitos se ve interrumpido aproximadamente a los 3.600 m s.n.m. donde nuevamente se observa una secuencia volcano-sedimentaria. Tanto en la brecha volcano-sedimentaria como en la secuencia volcano-sedimentaria (inferior) se encontró anhidrita como cemento. Es posible encontrar, además, entre los depósitos antes mencionados distintos niveles piroclásticos y depósitos volcánicos como lavas andesíticas y brechas volcánicas. Ya hacia la superficie aparece la Ignimbrita Pastillos y depósitos no consolidados.

## **Agradecimientos**

A GeoHidrología Consultores LTDA y a la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi por darme la oportunidad de realizar este trabajo.

Al departamento de Geología de la Universidad de Chile, a los profesores, a mis compañeros, al personal administrativo y a toda la gente que conforma la familia que es geología. Agradecimientos especiales a los profesores que me ayudaron en la realización de este trabajo.

A mi familia, por su preocupación constante y apoyo incondicional. Gracias papá tu esfuerzo, gracias mamá por enseñarme a enfrentar la vida con una sonrisa. Gracias hermanos por crecer conmigo. Gracias tía por todo tu cariño.

A los amigos que me han acompañado en las distintas etapas de mi vida, gracias por ser mis compañeros de tristezas y alegrías.

A mis compañeros de trabajo por su apoyo, ayuda y compañía en este proceso.

A la música, al arte y a la naturaleza por inspirarme y cautivarme día a día.

# Índice de contenido

I. Introducción.....	1
1. Contexto.....	1
2. Objetivos .....	3
2.1. Objetivo Principal.....	3
2.2. Objetivos Secundarios .....	3
3. Hipótesis de Trabajo .....	3
4. Metodología.....	3
4.1. Campaña de Terreno .....	3
4.2. Trabajo de Gabinete.....	5
II. Marco Geológico .....	6
1. Geomorfología .....	6
1.1. Precordillera.....	6
1.2. Depresión de los Salares.....	7
1.3. Cordillera Occidental .....	8
1.4. Altiplano.....	8
2. Geología Local .....	8
2.1. Basamento .....	9
2.2. Depósitos estratificados .....	9
2.3. Depósitos no consolidados .....	12
3. Hidrología y Clima Actual.....	14
III. Marco Teórico .....	17
1. Ambientes de depositación .....	17
1.1. Ambiente volcánico .....	17
1.2. Lagos playa y sabkhas del interior.....	18
1.3. Salmueras .....	18

2.	Sulfatos de Calcio.....	19
3.	Cristalinidad de los cristales de yeso .....	22
4.	Relación entre el volcanismo y la ocurrencia de salares.....	23
IV.	Resultados .....	26
1.	Correlaciones.....	27
2.	Perfil NNE-SSW.....	30
3.	Descripción litológica de unidades.....	31
3.1.	Toba cristalina.....	31
3.2.	Brecha volcano-sedimentaria.....	32
3.3.	Secuencia volcano-sedimentaria .....	33
3.4.	Toba de ceniza .....	34
3.5.	Sucesión sedimentaria evaporítica.....	34
3.6.	Lava andesítica .....	38
3.7.	Brecha volcánica.....	38
3.8.	Toba de lapilli.....	39
3.9.	Lapillita .....	39
3.10.	Andesita basáltica .....	39
4.	Difracción de Rayos X .....	41
4.1.	Muestra DEC-04-08.....	41
4.2.	Muestra DEC-05-15: .....	41
4.3.	Muestra DEC-06-06: .....	41
V.	Interpretaciones y Análisis .....	42
1.	Facies y ambientes de depositación .....	42
1.1.	Ambiente volcánico explosivo .....	42
1.2.	Ambiente volcánico efusivo .....	42
1.3.	Ambiente volcano-sedimentario .....	43
1.4.	Ambiente sedimentario evaporítico.....	43

2. Presencia y ubicación de los depósitos salinos .....	45
3. Cristales de yeso en proceso de transformación a anhidrita .....	46
4. Discusiones .....	47
5. Correlaciones.....	48
VI. Conclusiones .....	50
Recomendaciones.....	52
Abreviaciones utilizadas en este trabajo.....	53
Referencias .....	54
A. Anexos .....	57
1. Cortes transparentes .....	57
2. Descripción macroscópica .....	63
2.1. Pozo DEC-04.....	63
2.2. Pozo DEC-05.....	75
2.3. Pozo DEC-06.....	87
3. Pozos auxiliares .....	93

## Índice de figuras

Figura 1: Cuencas endorreicas ubicadas en la Depresión de los Salares en la 1° y 2° región de Chile.....	1
Figura 2: Mapa de ubicación de la zona de estudio .....	2
Figura 3: Mapa de ubicación de los pozos estudiados.....	4
Figura 4: Modelo digital de elevación de los Andes entre los 16°S y los 25°S .....	6
Figura 5: Detalle de las unidades morfoestructurales de la zona de estudio.....	7
Figura 6: Principales unidades geológicas observadas en superficie.....	13
Figura 7: Mapa de isoyetas de la I región.....	14
Figura 8: Mapa de isotermas de la I región .....	15
Figura 9: Celdas de circulación atmosférica .....	16
Figura 10: Evolución teórica de las salmueras durante un proceso de evaporación.	19
Figura 11. Corte hecho a una sabkha ubicada en la costa mediterránea de Egipto.	20
Figura 12: Corte transparente de yeso.....	21
Figura 13: Cristalografía del yeso.....	22
Figura 14: Distintos resultados del crecimiento de yeso en laboratorio .....	23
Figura 15: Esquema de las distintas fuentes de sales.....	24
Figura 18: Ubicación de los pozos estudiados y traza de la sección transversal .....	26
Figura 17: Columnas estratigráficas y correlaciones.....	27
Figura 18: Perfil NNE-SSW de la zona de estudio. ....	30
Figura 19: Toba cristalina (testigos de pozo DEC-05).....	31
Figura 20: Toba cristalina (CT de la muestra DEC-05-37) .....	31
Figura 21: Brecha volcano-sedimentaria (Testigos de pozo DEC-04) .....	32
Figura 22: Brecha volcano-sedimentaria (CT de la muestra DEC-05-34) .....	32
Figura 23: Secuencia volcano-sedimentaria (testigos del pozo DEC-05).....	33
Figura 24: Secuencia volcano-sedimentaria (CT de la muestra DEC-05-31).....	33



Figura 25: Sucesión sedimentaria evaporítica .....	34
Figura 26: Detalle de la sucesión sedimentaria evaporítica en el pozo DEC-04 .....	36
Figura 27: Detalle de la sucesión sedimentaria evaporítica en el pozo DEC-05 .....	37
Figura 28: Brecha volcánica (CT de la muestra DEC-06-04).....	38
Figura 29: Vista macroscópica de la brecha volcánica .....	38
Figura 30: Toba de Lapilli (DEC-06) .....	39
Figura 31: Andesita basáltica con algunas vesículas (DEC-4) .....	40
Figura 32: Andesita basáltica (CT de la muestra DEC-04-01) .....	40
Figura 33: Sulfatos masivos intercalados irregularmente con material clástico.....	43
Figura 34: Sulfatos laminados .....	44
Figura 35: Arcillas negras laminadas .....	44
Figura 36: Cortes transparentes de tres distintos tipos de cristales de yeso. ....	46
Figura 37: Sucesión sedimentaria evaporítica (Muestra DEC-05-21).....	47

# I. Introducción

## 1. Contexto

En la primera región de Chile, entre las unidades morfoestructurales denominadas Precordillera y Cordillera Occidental, se ubica la Depresión de los Salares. Esta franja, con tendencia norte-sur, aloja numerosas cuencas endorreicas (Huasco, Alconcha, Michincha, Ollagüe, etc.) que son propicias para la precipitación de evaporitas. En una de estas cuencas es donde se encuentra emplazado el Salar de Coposa, aproximadamente entre los 20°30'S y 20°45'S, sobre los 3.700 m.s.n.m. (Figura 1).

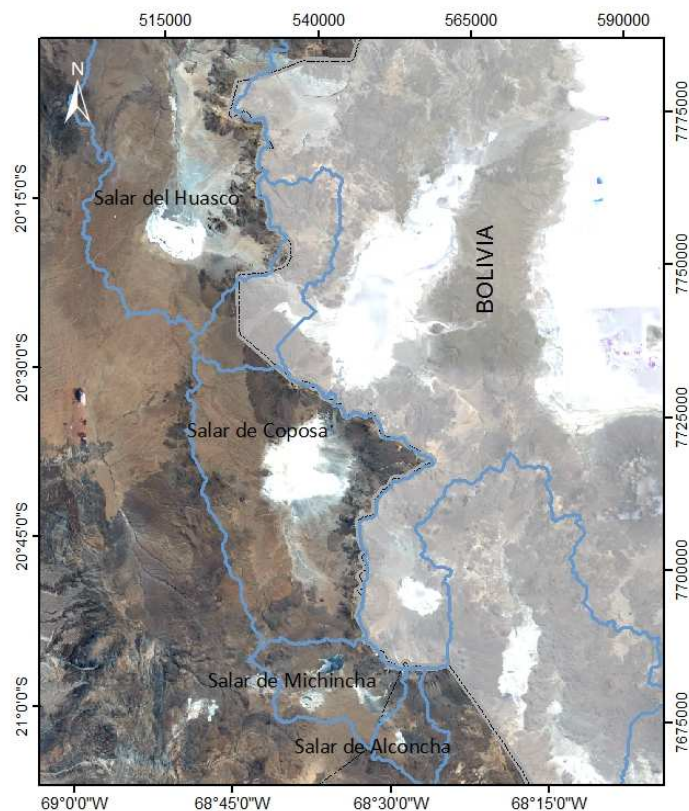


Figura 1: Cuencas endorreicas ubicadas en la Depresión de los Salares en la 1ª y 2ª región de Chile. Se observan de norte a sur: Salar del Huasco, Salar de Coposa, Salar de Michincha y el Salar de Alconcha.

En esta cuenca, desde hace ya varias décadas, se han realizado numerosos estudios que buscan definirla de forma hidrogeológica. En la década de los 70 se comenzaron a realizar campañas geofísicas y la construcción de pozos de exploración, tendencia que continuó en la década siguiente. Producto de estas investigaciones se determinó la presencia de agua subterránea bajo el salar y condiciones hidrogeológicas favorables para la explotación de agua.



## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo Principal**

El objetivo principal de este estudio consiste en describir el registro estratigráfico de la Cuenca del Salar de Coposa, determinando la génesis de las distintas unidades que se puedan identificar.

### **2.2. Objetivos Secundarios**

- Describir macroscópica y microscópicamente los sondajes.
- Definir unidades estratigráficas.
- Realizar correlaciones entre los distintos sondajes.
- Confeccionar una sección transversal.
- Interpretar ambientes de formación.
- Realizar correlaciones con unidades formales.

## **3. Hipótesis de Trabajo**

La idea que se intenta validar con este trabajo es que la Cuenca del Salar de Coposa ha recibido aportes sedimentarios de diversas fuentes en el último tiempo, y existe un registro estratigráfico que se puede observar en los pozos perforados.

## **4. Metodología**

La etapa inicial consiste en recolectar, revisar y analizar la literatura existente con el propósito de conocer y comprender el contexto de la zona estudiada

Luego, en base a los antecedentes recopilados, se diseña una campaña de terreno, con el objeto de reconocer las unidades presentes en la zona de estudio, comparando con la información disponible acerca de la geología de la cuenca.

### **4.1. Campaña de Terreno**

La observación de los sondajes se llevó a cabo en dos terrenos, estos se realizaron entre el 21 y el 24 de Noviembre y entre el 12 y el 21 de Diciembre del 2012, en las dependencias de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (CMDIC), específicamente en la muestrera Ujina. Aquí se desplegaron secuencialmente los distintos testigos. En el primer terreno se describió el testigo perteneciente al pozo

DEC-05 (desde el techo y hasta los 500 m). Posteriormente en el segundo terreno se terminaron de describir los metros restantes del pozo DEC-05, luego continuó la descripción del pozo DEC-04<sup>1</sup> y finalmente se describieron los testigos pertenecientes al pozo DEC-06 (Figura 3).

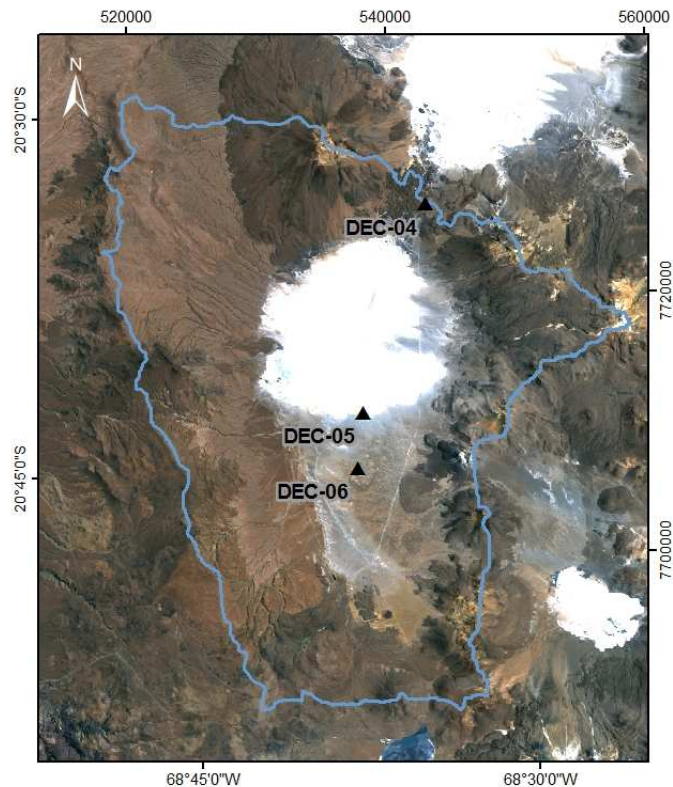


Figura 3: Mapa de ubicación de los pozos estudiados. En la figura aparece delineada con azul la Cuenca del Salar de Coposa.

Los sondajes se describieron detalladamente, poniendo atención a las variaciones litológicas, granulométricas, texturales, variaciones de color, grado de meteorización, nivel de consolidación, mineralogía encontrada, y en general cualquier cambio en la secuencia.

La descripción se hizo utilizando lupas de distintos aumentos, un martillo geológico para lograr caras frescas, huincha, calibrador de arena, rayador de tungsteno y ácido clorhídrico al 10%.

Las muestras fueron tomadas en terreno usando como criterio representar cada una de las unidades litológicas encontradas y además las capas anómalas, estructuras sedimentarias y elementos anómalos importantes.

---

<sup>1</sup> El pozo DEC-04 está subdividido en DEC-04 y DEC-04B y el pozo DEC-06 por su lado se subdivide en DEC-06 y DEC-06B, pero en este texto se nombrarán genéricamente como DEC-04 y DEC-06 respectivamente.

Las muestras seleccionadas de entre 5 y 15 cm (aproximadamente), se marcaron con lápiz permanente, luego fueron envueltas en papel de aluminio o papel film para proteger las muestras disgregables y poco compactas, se guardaron en bolsas de nylon transparente con un papel con el nombre de la muestra y en la bolsa se escribió nuevamente el nombre de la muestra.

## **4.2. Trabajo de Gabinete**

Con las muestras de mano extraídas en terreno posteriormente se hizo una selección para realizar cortes transparentes, buscando por un lado corroborar las descripciones macroscópicas realizadas y además despejar las dudas surgidas en el proceso de extracción.

Los cortes transparentes se realizaron en el laboratorio de corte de la Universidad de Chile. Fueron descritos en las oficinas de GeoHidrología Consultores LTDA y en el laboratorio de microscopios del departamento de Geología de la Universidad de Chile.

Además se seleccionaron 3 muestras para realizar un análisis de difracción de rayos X (XRD), con el fin de aclarar dudas, estos fueron enviados al laboratorio de rayos X del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN).

Posterior a las descripciones y análisis se comienzan a identificar unidades. Se realizan columnas estratigráficas.

Con las columnas se comienzan a establecer correlaciones para luego confeccionar un perfil NNE-SSW.

Como complemento a la información recopilada en terreno se analiza además información disponible de otros pozos ubicados en la cuenca, estos son los pozos PDC-01, DPEC-04, PDC-05, DPEC-03, PGC-02, PGC-01 y CDD-02 (ubicación y detalle en ANEXO 3).

A partir de las descripciones y la sección transversal se realiza una interpretación acerca de los ambientes de formación de las unidades.

Finalmente se busca correlacionar las unidades descritas en este trabajo con unidades formales.

## II. Marco Geológico

### 1. Geomorfología

El relieve que es posible observar en el norte de Chile comenzó a tomar forma a partir del Mioceno. Actualmente se pueden distinguir distintas fajas morfológicas con relativa continuidad norte-sur, éstas son, de oeste a este: Cordillera de la Costa o Preandina, Depresión Central, Precordillera Antearco, Depresión de los Salares y Cordillera Occidental, ya tras la frontera boliviana se encuentra el Altiplano o Puna, la Cordillera Oriental y las Sierras Subandinas.

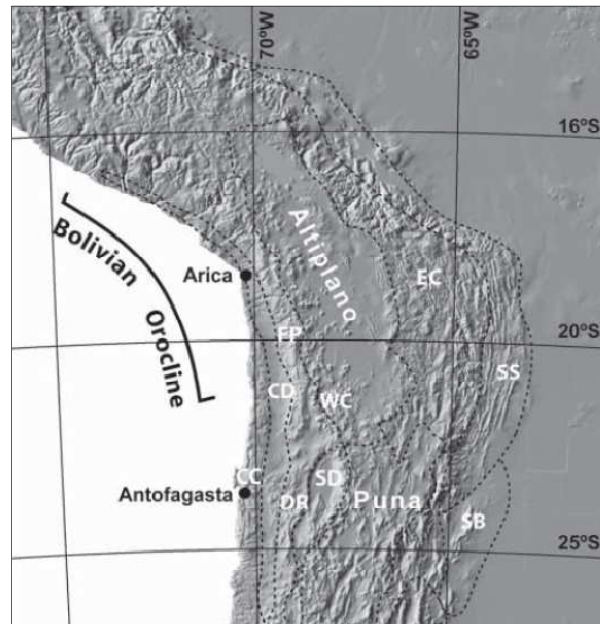


Figura 4: Modelo digital de elevación de los Andes entre los 16°S y los 25°S. Se indican las principales unidades morfoestructurales. Abreviaciones: CC, Cordillera de la Costa; CD, Depresión Central; FP, Precordillera de Antearco (flanco oeste del Altiplano); DR, Cordillera de Domeyko WC, Cordillera Occidental, SD, Depresión de los Salares; EC, Cordillera Oriental; SS, Sierras Subandinas; SB, Sistema Santa Bárbara (Charrier et al., 2007).

A continuación se describen en detalle las unidades morfoestructurales aledañas a la zona estudiada, es decir, la Precordillera, la Depresión de los Salares, la Cordillera Occidental y el Altiplano.

#### 1.1. Precordillera

Se ubica al este de la Depresión Central, en la zona de estudio esta morfología se puede dividir en 3 segmentos: Sierra del Medio, Sierra de Moreno y la planicie de Altos de Pica, al norte de la quebrada Caya desaparecen las sierras, preservándose

sólo la planicie de Altos de Pica (Figura 5). Es llamada Cordillera de Domeyko al sur de los 20°S.

- **Sierra del Medio:** Ubicada entre la cuenca del Salar de Coposa y la Pampa del Tamarugal, su altura fluctúa entre 4.500 y 4.900 m s.n.m.
- **Sierra del Moreno:** En la latitud de la zona de estudio aparece esta sierra, separada de la Sierra del Medio por la quebrada Caya. Correspondería a la exhumación de basamento metamórfico perteneciente al Terreno de Antofalla (Ramos, 2008).
- **Planicie de Altos de Pica:** Esta planicie, compuesta principalmente por depósitos ignimbríticos y gravas, desciende suavemente hacia la Pampa del Tamarugal.

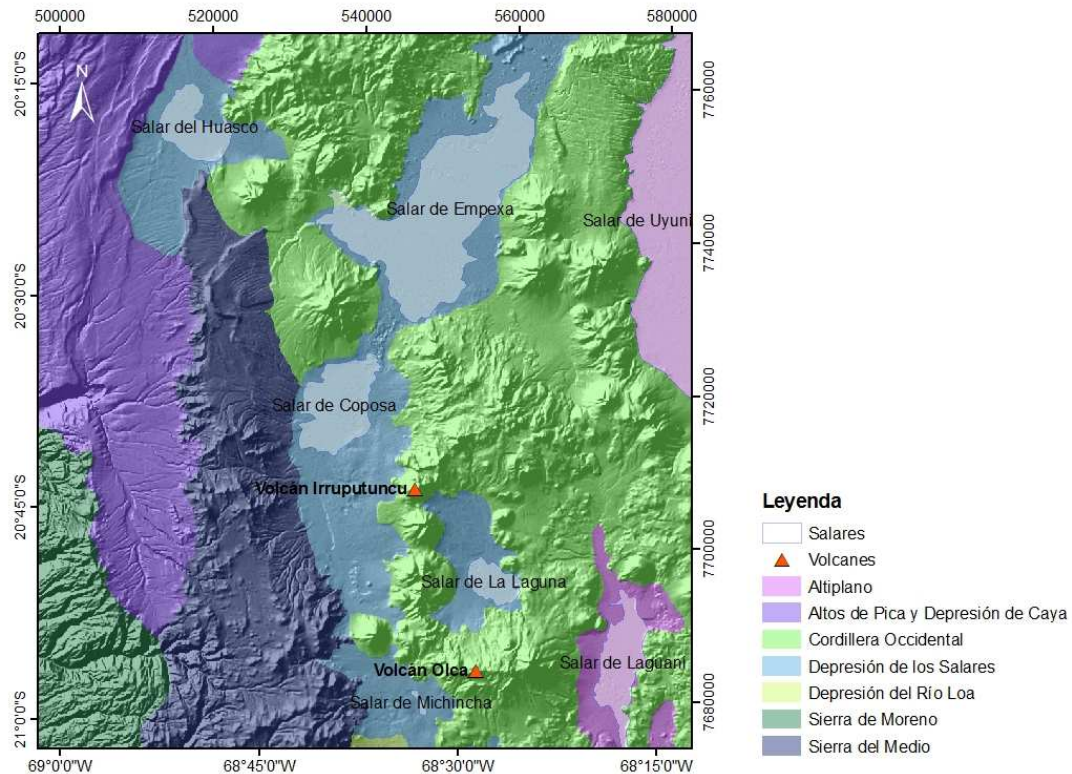


Figura 5: Detalle de las unidades morfoestructurales de la zona de estudio.

## 1.2. Depresión de los Salares

Está constituida por una serie de depresiones ubicadas a alturas de entre 3.700 y 4.200 m s.n.m. En la latitud de la zona de estudio conforman cuencas endorreicas



que alojan a una serie de salares (Huasco, Coposa, Michincha, entre otros), estos salares se emplazan entre los altos topográficos de la Sierra del Medio y de la Cordillera Occidental. Más al norte esta depresión aloja grandes lagos (Poopo y Titicaca).

### **1.3. Cordillera Occidental**

Este cordón corresponde al arco volcánico neógeno superior - reciente, está integrado por volcanes activos y extintos. Alcanza alturas superiores a los 6.500 m s.n.m. con un promedio aproximado de 5.000 m s.n.m. Los volcanes activos más cercanos a la zona estudiada son el Irruputuncu y el Olca (Ver Figura 5).

### **1.4. Altiplano**

Es una extensa planicie ubicada entre la Cordillera Occidental y la Cordillera Oriental. Tiene un ancho promedio de 300 Km y se desarrolla entre los 15°S y 22°S aproximadamente, abarcando más de 1.500 Km, con una altura promedio de 3.700 m s.n.m. Al sur de los 22°S y hasta los 27°S esta planicie da paso a la Puna. Ambas representan, en conjunto, uno de los mayores plateau del planeta.

## **2. Geología Local**

Entre las unidades que afloran en la zona es posible encontrar rocas de alrededor de 300 millones de años, como lo son las rocas que conforman la Formación Collahuasi, esta Formación representa la segunda etapa del Ciclo Tectónico Gondwánico, caracterizado por una rápida deriva continental y una alta tasa de convergencia entre placas, su depósito tiene lugar en el antearco (Charrier *et al* 2007). La Formación Collahuasi se encuentra intruida por plutones de edad similar

No existen en la zona rocas representativas del Ciclo Preandino, ni de la primera etapa del Ciclo Andino (según división propuesta en Charrier *et al*, 2007). La mayor parte de las unidades presentes en el área son Jurásicas o posteriores, es decir, se formaron en el Ciclo Tectónico Andino, período marcado por la subducción y el volcanismo de arco que continúan hasta hoy en día.

Las unidades que se describen a continuación están basadas principalmente en el trabajo de Vergara y Thomas (1984) y se encuentran agrupadas en: basamento, unidades estratificadas y depósitos no consolidados. Se llamará basamento a las unidades mesozoicas o anteriores, unidades estratificadas a las unidades cenozoicas consolidadas y depósitos no consolidados a los depósitos holocenos que aún no hayan sufrido el proceso de diagénesis.

## 2.1. Basamento

**Formación Collahuasi** (Carbonífero – Pérmico Inferior): Definida como un complejo ígneo integrado por intrusivos subvolcánicos, lavas e ignimbritas, de composición riolítica y dacítica (Vergara, 1978). Estructuras de flujo presentes sólo en algunos sectores permiten diferenciar las rocas efusivas de las intrusivas, siendo muy difícil esta diferenciación cuando no se observan dichas estructuras. Las rocas pertenecientes a esta formación suelen ser de colores rojizos y con menor frecuencia rosadas a grises. Suelen presentar ojos de cuarzo de hasta 5 mm de diámetro. Microscópicamente las lavas se observan porfídicas a macroporfídicas, con cristales de cuarzo redondeado con embahiamientos, ortoclasas y plagioclasas sericitizadas y algunas biotitas cloritizadas.

La Fm. Collahuasi está intruida por el **Granito Chara** (Pérmico Inferior), este consiste en un stock de aproximadamente 60 Km<sup>2</sup> que aflora al sur-oeste de la cuenca del Salar de Coposa, al oriente de la Sierra del Medio. Las rocas correspondientes a este granito son rosadas, equigranulares de grano grueso, volviéndose más porfíricas en ciertos sectores (Vergara y Thomas, 1984).

**Formación Quehuita** (Jurásico Medio a Superior): Esta formación está conformada por distintos tipos de rocas sedimentarias: areniscas, lutitas, en menor cantidad también se observan calizas y depósitos evaporíticos marinos (fósiles marinos) y continentales. Se pueden separar dos miembros, uno marino y uno superior continental. Sobreyace con discordancia angular y de erosión a la Fm. Collahuasi, mientras que infrayace de similar forma a la Fm. Cerro Empexa. El año 2001 Tomlinson propone una edad jurásica temprana – ¿Cretácica temprana? para esta unidad. (Vergara, 1978).

**Formación Cerro Empexa** (Jurásico Superior-Cretácico Inferior): Esta unidad corresponde a una secuencia de rocas continentales, principalmente volcánicas, constituidas por andesitas, traquitas, brechas, tobas y sedimentitas clásticas. Están dispuestas en discordancia angular sobre rocas jurásicas sedimentarias. Es equivalente a la Fm. Macata definida por Vergara (1978). Se encuentra sobreyaciendo a la Fm. Quehuita con discordancia angular, mientras que subyace con el mismo tipo de contacto a las secuencias terciarias. El año 2001 Tomlinson propone una edad cretácica tardía - ¿paleocena? para esta unidad. (Galli, 1957; Charrier *et al.*, 2007, Tomlinson *et al.*, 2001)

## 2.2. Depósitos estratificados

**Ignimbrita Huasco** (Mioceno Medio): Esta unidad definida por Vergara y Thomas (1984) corresponde a una secuencia de tobas de gran extensión areal (alrededor de

1800 Km<sup>2</sup>), se exponen principalmente al oeste del salar del mismo nombre. Está dispuesta en discordancia sobre rocas pre-miocénicas e infrayace concordantemente las unidades volcánicas y sedimentarias del Cenozoico Superior. Su espesor llega hasta los 100 m y tiende a disminuir hacia los bordes. (Uno de los pocos lugares donde aflora la base). Las tobas de la Ignimbrita Huasco son de composición riolítica a dacítica y se presentan total o parcialmente soldadas. En ciertos lugares es posible distinguir un perfil compuesto por una base de vitrófiros negros de menos de 5 m, una parte media de tobas rosadas compactas altamente soldadas y con estructuras de flujo, y un nivel superior parcialmente cinerítico de color gris claro medianamente soldado. El año 2001 Tomlinson propone una edad del Mioceno Inferior alto para esta unidad. Esta secuencia se puede correlacionar con el miembro 4 de la Formación Altos de Pica, definida por Galli, (1957).

**Estratovolcanes I** (Mioceno Superior – Plioceno): conformada por los volcanes Millunu, lava-domo Yuma, Quenuane, Guailaputuncu y Tres de Abril. Esta unidad agrupa los volcanes más antiguos de la zona de estudio, producto de esto sus conos se encuentran fuertemente erodados mostrando en gran parte sus núcleos con alteraciones solfatáricas. Se encuentran dispuestos en el cordón ubicado al sur-este de la cuenca del Salar de Coposa que conforma la unidad llamada Complejo Volcánico Millunu (los volcanes que originalmente eran de menor altura no presentan tal nivel de erosión, preservando de mejor manera su forma original).

**Depósitos Aterrazados Tt:** Se llama así a los depósitos de gravas y arenas polimícticas, y en menor parte a tobas dacíticas. Se disponen horizontalmente y se encuentran cubriendo a las unidades anteriores al Mioceno Superior a la vez que se encuentran bajo los depósitos no consolidados holocenos. Se presentan mal clasificados y poco consolidados. Sus clastos son subredondeados, alcanzando hasta 1 m de diámetro, siendo riolitas, dacitas, andesitas, granitoides y escasas sedimentitas (Jurásico). En las zonas de alteración hidrotermal, aparece gran parte de sus clastos alterados y mineralizados con sulfuros, mientras que la matriz aparece cementada por silicatos de Cu principalmente. Estos depósitos son correlacionables con el miembro 5 de la Formación Altos de Pica definida por Galli y Dingman (1962).

**Estratovolcanes II** (Plioceno): Aquí se agrupa a la mayoría de los volcanes del área. Se trata de estratovolcanes con moderada erosión, causada principalmente por la acción glacial. Se elevan aproximadamente 1000 m por sobre la superficie de los salares, las lavas encontradas en estos conos corresponden principalmente a andesitas de piroxeno, andesitas de hornblenda y dacitas. Litológicamente se reconocen 4 ciclos efusivos, primero dos andesíticos, seguidos de dos dacíticos. Las lavas de estos volcanes se encuentran, en algunas ocasiones, cubriendo a volcanes similares del Mioceno Superior-Plioceno. Además pueden encontrarse cubiertos por

depósitos ignimbríticos pleistocenos. En esta unidad están incluidos los volcanes: Paruma, Chutinza, Co. Laguna, Vulcan, Co. Napa, Huaila Occidente y Piga.

**Depósitos Aterrazados Tpt:** (Plioceno Superior – Pleistoceno): Estos depósitos corresponden a una alternancia de gravas, arenas, limos, cenizas y tobas escasamente litificadas. Se encuentran sobreyaciendo a la Ignimbrita Huasco e infrayaciendo a la Ignimbrita Pastillos. El origen de estos depósitos serían terrazas que estaban dispuestas en la parte sur-occidental del Salar de Coposa. Sus espesores aumentan hacia la parte central de la cuenca asociada a este salar, alcanzando los 12 m. Hacia los bordes de la cuenca los depósitos se caracterizan por presentar principalmente (exclusivamente) gravas subangulosas con clastos ignimbríticos y en menor parte andesíticos, mientras que hace la zona central de la cuenca las gravas se presentan en pequeñas capas primando depósitos de granulometría menor, como capas de limo y arcillolitas, además de finos niveles de cineritas intercalándose.

**Estratovolcanes III:** En esta unidad se agrupan a los volcanes que presentan sus conos sin erosión visible, pudiéndose encontrar o no en actividad en el presente.

Esta unidad está integrada por los volcanes Pabellón del Inca, Poruñita e Irruputuncu.

Los Volcanes Pabellón del Inca e Irruputuncu están compuestos de intercalaciones de andesitas y dacitas de hornblenda y piroxenos, mientras que el Poruñita está compuesto exclusivamente por andesitas. Las lavas asociadas a esta unidad pueden observarse bajo la Ignimbrita Pastillos.

**Ignimbrita Pastillos** (Vergara, 1978): compuesta por depósitos cineríticos e ignimbritas, se deposita en gran parte de la Depresión de los Salares. Se dispone sobre los depósitos aterrazados pliocénicos, además de la mayoría de los centros volcánicos del área, se observa que los espesores aumentan hacia el norte. Se puede subdividir en dos miembros según sus características litológicas. Esta unidad se puede observar expuesta en el centro de la Cuenca del Salar Coposa.

*Miembro Inferior Qip(i):* Corresponde a tobas y depósitos laháricos altamente porosos de colores gris claro a blanco, con muy bajo grado de soldamiento que se caracterizan por presentar gran cantidad de bolones y clastos angulosos de hasta 30 cm de diámetro correspondientes a pumicitas, ignimbritas y en menor proporción lavas andesíticas; la matriz es tobácea y puede presentar una leve estratificación cuya potencia varía entre 5 y 40 m.

*Miembro Superior Qip(s)*: Arealmente la mayor parte corresponde a cineritas dacíticas no soldadas. En las cuencas de Coposa y Huasco aparecen además niveles de arcillolitas, limos y diatomitas, estratificados en capas de 2 a 20 cm de espesor.

### **2.3. Depósitos no consolidados**

**Depósitos Aluviales Qal**: Se llama así a los depósitos detríticos, no consolidados de origen aluvial y en menor parte coluvial. Se encuentran rellenando quebradas, depresiones y formando depósitos de piedemonte.

**Depósitos Salinos Qs**: Son eflorescencias salinas desarrolladas sobre los rellenos de cuenca (gravas, limos y cenizas). Están compuestos por sulfatos principalmente, además de cloruros y boratos en forma subordinada. Se encuentran a aproximadamente 3. 800 m s.n.m. y se forman por las altas tasas de evaporación presentes en las cuencas endorreicas de la Depresión de los Salares.

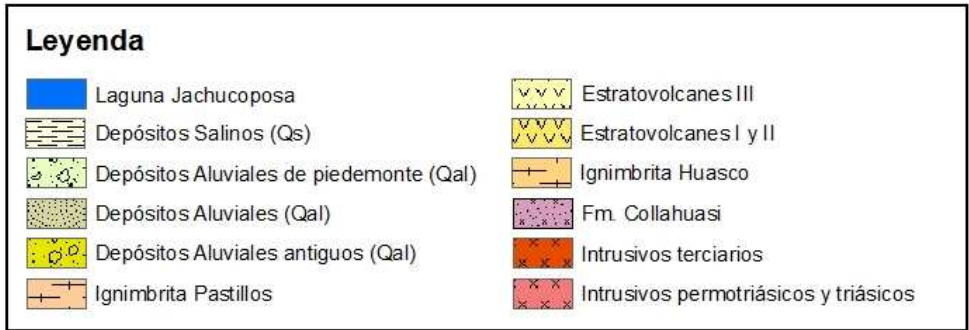
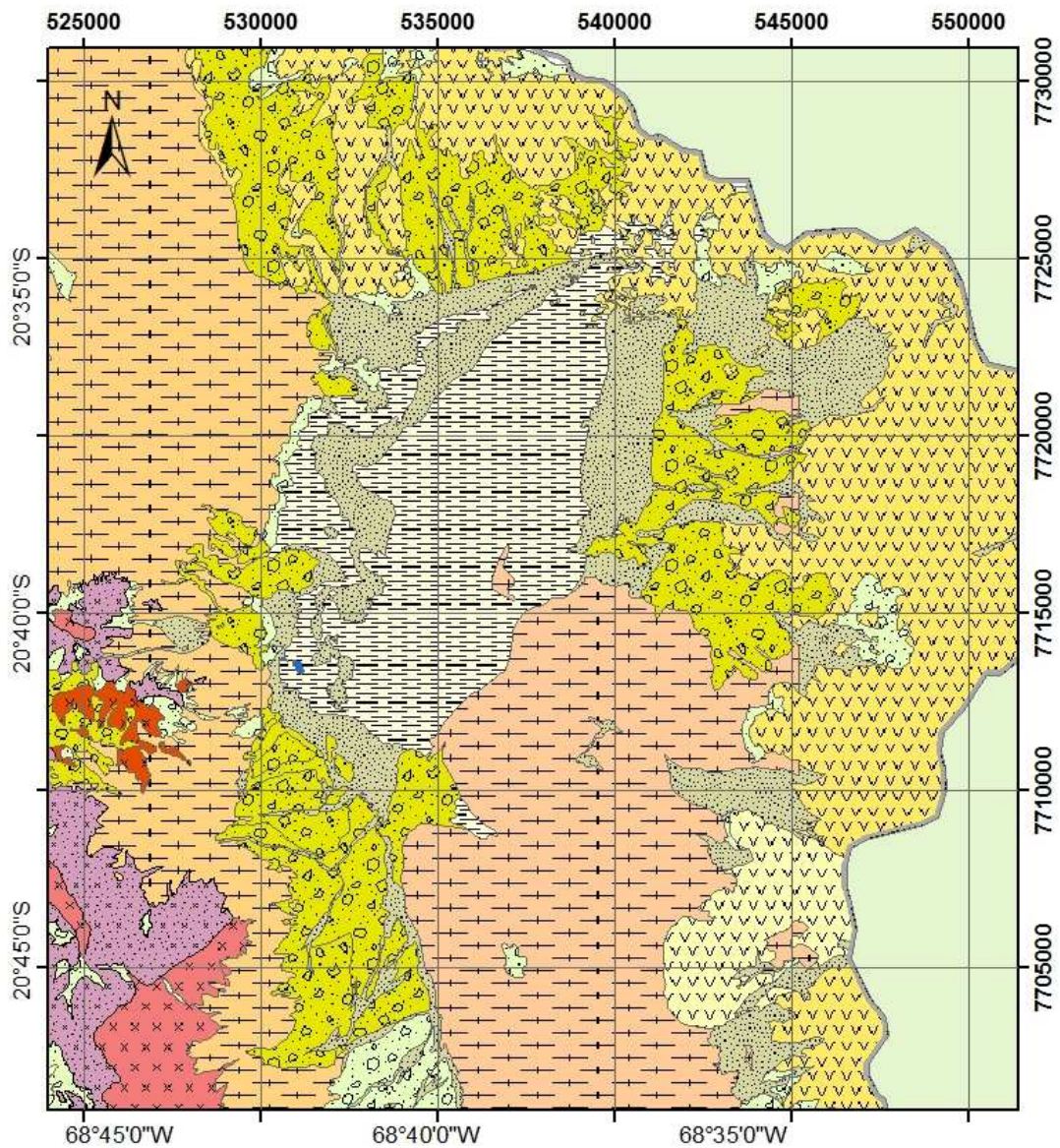


Figura 6: Principales unidades geológicas observadas en superficie.

### 3. Hidrología y Clima Actual

Para entender el contexto donde se desarrolla el Salar de Coposa y los factores que inciden en la formación de sales es necesario saber cuáles son las características climáticas que lo condicionan.

Las precipitaciones de la primera región de Chile son en general escasas. Hacia la costa el promedio de agua caída en un año alcanza sólo los 10 mm, hacia la cordillera esta cifra aumenta y se ve potenciada principalmente por las aguas recibidas en los veranos producto del llamado *invierno boliviano*. Para la cuenca estudiada el promedio de agua caída en un año asciende a los 150 mm, como se indica en la Figura 7.

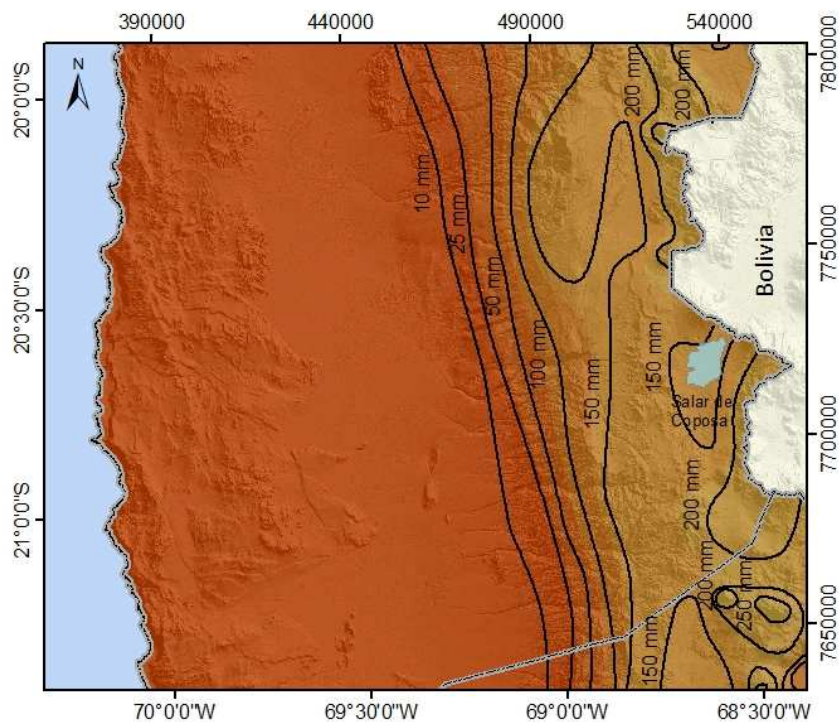


Figura 7: Mapa de isoyetas de la I región. Se puede observar en la figura que en la Cuenca del Salar de Coposa las precipitaciones anuales promedio son de 150 mm.

Por su parte las temperaturas de la primera región son templadas hacia la costa, pero hacia la zona de estudio existe una mayor oscilación térmica producto de la altura a la que se encuentra emplazada con una temperatura media anual de 4°C.

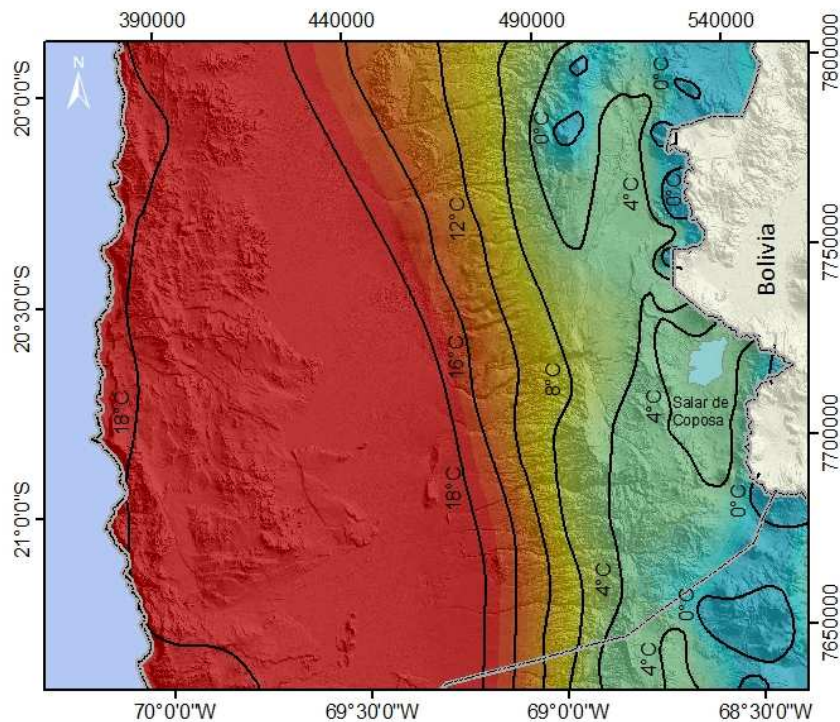


Figura 8: Mapa de isotermas de la I región. Se puede observar en la figura que en la Cuenca del Salar de Coposa la temperatura promedio es de 4°C.

En la zona de estudio, es decir, la Cuenca del Salar de Coposa y en general en la Depresión de los Salares, se caracteriza por presentar un clima conocido como **estepa de altura**, común a alturas superiores a los 3.500 m s.n.m. Las temperaturas medias no sobrepasan los 5°C, presentando una gran oscilación térmica entre día y noche. Las precipitaciones ocurren en verano, generalmente durante las tardes.

La aridez en el norte de Chile está controlada principalmente por tres factores: las masas de aire anticiclónicas, los efectos de la corriente de Humboldt y en los valles y en la costa también está controlada por los Andes, que a partir del Mioceno Medio (~14 Ma) fueron lo suficientemente altos como para bloquear la humedad proveniente del Atlántico, específicamente desde la cuenca amazónica (Le Roux, 2012).

El factor que tiene mayor incidencia en el área de interés es el anticiclón del Pacífico, una zona de altas presiones característica de las regiones subtropicales, esto se genera como resultado de la disposición de las celdas de circulación atmosféricas (celdas de Hadley/Ferrel). Es en estas regiones donde suelen estar emplazados los desiertos alrededor del mundo (Figura 9).



La Cuenca del Salar de Coposa, debido a su ubicación, presenta lluvias estivales, asociadas al fenómeno conocido como *invierno boliviano* o *South American Summer Monsoon (SASM)*, que trae humedad desde el amazonas.

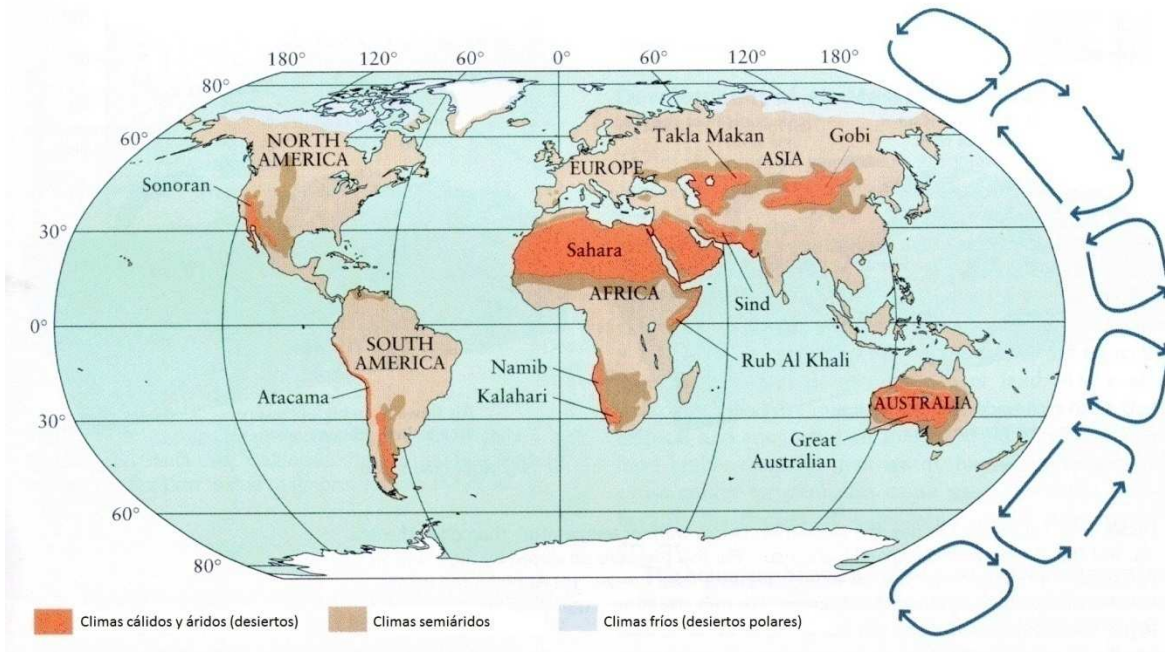


Figura 9: Celdas de circulación atmosférica. Las ubicadas en los polos son llamadas celdas polares, las ubicadas en torno al Ecuador se llaman celdas de Hadley y las intermedias son llamadas celdas de Ferrel. En la figura también se observa la ubicación de los desiertos alrededor del mundo, la cual está directamente relacionada con las zonas de altas presiones determinadas por la configuración de las celdas.

### III. Marco Teórico

#### 1. Ambientes de depositación

##### 1.1. Ambiente volcánico

La cuenca de la zona de estudio se caracteriza por estar situada junto al arco volcánico, el cual se ha encontrado en la misma posición durante el Cenozoico, presentando diversos episodios de actividad volcánica andesítica a dacítica, actividad plutónica y de volcanismo félsico explosivo (Charrier et al, 2007).

La presencia de un arco activo indudablemente condiciona los aportes recibidos por la cuenca. Los depósitos de origen volcánico pueden tener distintas génesis:

- **Depósitos de caída:** Compuestos por partículas piroclásticas eyectadas en un evento explosivo (como pómez y ceniza), el espesor de sus depósitos va disminuyendo exponencialmente a medida que uno se aleja del volcán. Este tipo de depósitos se ve altamente influenciado por el viento y su dirección (Houghton *et al.*, 1999).
- **Ignimbritas y oleadas piroclásticas:** depósitos compuestos principalmente por ceniza volcánica y pumicita resultado de flujos piroclásticos (Freundt *et al.*, 1999).
- **Lavas:** Las lavas pueden tener distintas viscosidades, determinadas por su composición (principalmente el contenido de SiO<sub>2</sub>), temperatura, contenido de cristales y de H<sub>2</sub>O. La viscosidad es la propiedad responsable de la capacidad de fluir de la lava, condicionando por lo tanto el alcance de las coladas (Wallace y Anderson, 1999; Kilburn, 1999). Asociados a los flujos de lavas también pueden existir brechas, las denominadas autobrechas (producidas en el proceso de enfriamiento de una colada).
- **Lahares:** corresponden a flujos de detritos cuyo origen está asociado a un evento volcánico, suelen ocurrir cuando el calor generado derrite el hielo alojado en el edificio (primarios), o por lluvias intensas sobre depósitos volcánicos (Vallance, 1999).
- **Brechas:** Estos depósitos se refieren a los producidos por avalanchas de detritos, las que pueden contener humedad pero no la suficiente como para constituir un flujo (Vallance, 1999).

## 1.2. Lagos playa y sabkhas del interior

Los lagos playa o lagos efímeros corresponden a cuerpos de agua temporales, propios de climas áridos a semiáridos con escasas precipitaciones y una tasa de evaporación relativamente alta.

Al llover se forman arroyuelos que transportan el agua y sedimentos finos al centro de la cuenca. En el lago recién formado se comenzaran a depositar capas de sedimentos finos.

Una vez pasado el período lluvioso el lago comienza a reducir su área, y comienzan a concentrarse, por producto de la evaporación, sales que se irán depositando en forma de capas, sobre los de sedimentos finos. (Gary Nichols, 1999)

Sabkha es un término árabe se refiere a las planicies de inundación que rodean los lagos playa (Allen y Collinson, 1986). Estas regiones permanecen húmedas sólo en algunas épocas del año, cuando se produce el desarrollo de los lagos, inminentemente las sabkhas se secan, dando lugar a la precipitación de sales (Glennie, 1970).

Las lluvias, pequeños arroyos o las aguas subterráneas pueden provocar la disolución de las sales formadas en períodos secos anteriores, sales que luego pueden recrystalizar formando lentes. Son los cristales desplazativos, formados bajo la superficie, entre los sedimentos, los que tienden a preservarse mejor.

En general se encuentra en las sabkhas una estratificación paralela algo irregular y ondulosa, de sedimentos clásticos finos y sales (principalmente yeso). El depósito de capas irregulares y contorsionadas de yeso y/o anhídrita intercaladas con sedimentos perimareales clásticos (arcilla, limo y en menor cantidad arena) da forma a la textura "enterolítica" (*enterolithic*) (Tucker, 2003). También es común encontrar la presencia de nódulos de yeso desplazativo entre los sedimentos. Es muy común encontrar ondulitas de adhesión en las sabkhas.

## 1.3. Salmueras

La formación de una roca evaporítica se produce en el momento en que una salmuera, por algún cambio en sus variables, pasa a estar de saturada a sobresaturada, esto puede suceder por evaporación, por ganancia de sales, y por cambios en las condiciones de presión y temperatura.

En un ambiente de evaporítico, tras el depósito de un mineral la salmuera original variará su composición, enriqueciéndose y empobreciéndose relativamente en los elementos involucrados en el proceso (Figura 10).

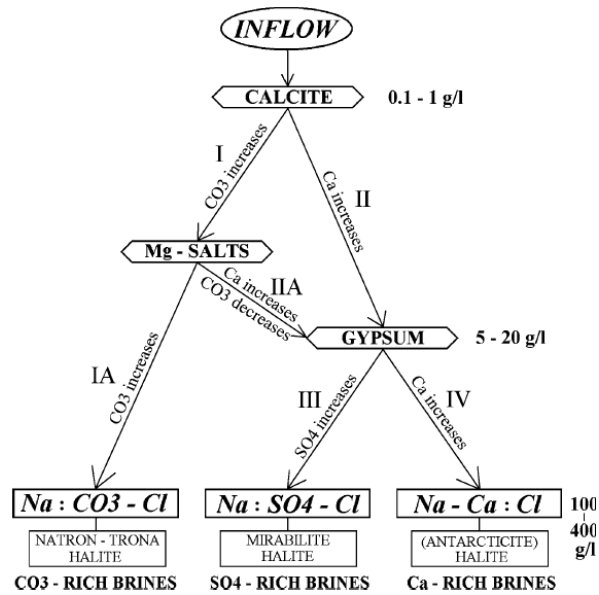


Figura 10: Evolución teórica de las salmueras durante un proceso de evaporación.

Es así como, a partir de una salmuera primitiva se pueden seguir distintos caminos durante el proceso de evaporación-depositación.

Como se puede apreciar en el esquema de la Figura 10, para obtener una salmuera a partir de la cual pueda depositarse yeso es fundamental que exista un enriquecimiento relativo del Ca con respecto al  $\text{CO}_3$ .

El caso estudiado corresponde a una salmuera rica en  $\text{SO}_4$ , por lo tanto se puede deducir que la salmuera estaba empobrecida en  $\text{CO}_3$ , por lo tanto era más bien neutral que alcalina (Risacher y Fritz, 2008).

## 2. Sulfatos de Calcio

Los sulfatos de calcio: yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ), se forman principalmente como producto de la precipitación de salmueras en sabkhas (Figura 11).

Si bien el yeso es la versión completamente hidratada del sulfato de calcio, existe un mineral transicional, "semi-hidratado", llamado "bassanita" (*bassanite*), de fórmula  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$  (pudiendo contener menos de  $\frac{1}{2}$  de  $\text{H}_2\text{O}$ ). Esta especie suele presentarse de forma acicular con cristales de menos de 1 mm, formando agregados. Puede aparecer como reemplazo del yeso, en los lechos de lagos secos o perennes, o en cuevas asociada al yeso.



Figura 11. Corte hecho a una sabkha ubicada en la costa mediterránea de Egipto, se observan sulfatos nodulares, también típicos de estos ambientes, y una incipiente textura enterolítica en pleno proceso de formación (West *et al.*, 1979).

El yeso formado por precipitación en salmueras supersaturadas es una fase en equilibrio metaestable, y por lo tanto es común verlo alterado a anhidrita. Este proceso se puede reconocer al encontrar cristales o agregados de anhidrita pseudomorfos de yeso.

El yeso es una fase estable a bajas temperaturas, a temperaturas más elevadas precipitará bassanita o anhidrita (Li y Demopoulos, 2005). Si bien durante muchos años se consideró que la temperatura de equilibrio entre el yeso y la anhidrita era 42°C en condiciones atmosféricas, en los años sesenta se comenzaron a proponer temperaturas mayores, actualmente se considera que la fase sólida de yeso es estable en agua hasta los 45 – 50°, temperatura sobre la cual el yeso comenzará a transformarse en anhidrita (Dutrizac, 2002; Farrah *et al.*, 2004; Freyer y Voigt, 2003).

Pero la T° de estabilidad entre el yeso y la anhidrita además depende de la concentración de la salmuera: a mayor salinidad la anhidrita precipitará a menores temperaturas que en salmueras de menor concentración. Es de esperar entonces que en lagos salinos y en costas marinas cristalice primero el yeso y luego, al aumentar la concentración de la salmuera, por efecto de la evaporación o por adición de cationes al sistema, se forme anhidrita (Pettijohn, 1957).

De producirse el enterramiento del yeso la anhidrita fácilmente lo reemplazará (Scholle y Ulmer-Scholle, 2003). Este proceso ocurre cuando el yeso expulsa el agua contenida en su red cristalina, como se observa en la reacción (1). Por otro lado si anhidrita emplazada bajo capas de sedimentos posteriores es exhumada se producirá el proceso inverso y el yeso la reemplazará (Figura 12).



Este proceso puede ocurrir por pasos, pasando por el estado intermedio de hidratación, la bassanita (Hardie, 1967).

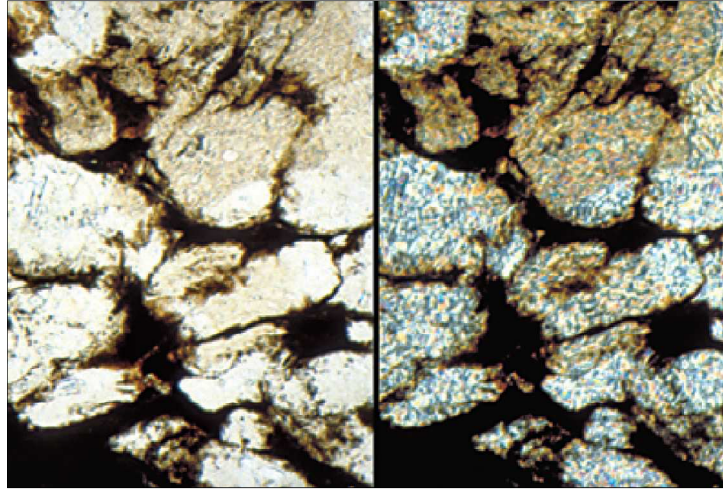


Figura 12: Corte transparente de yeso. Durante la diagénesis la anhidrita y el yeso pueden transformarse uno en el otro en la medida en la que pierden o ganan agua. Esto puede ocurrir reiteradas veces durante el proceso diagenético gracias a los ciclos climáticos y a posibles enterramientos y alzamientos. En la figura se observa la textura llamada "chicken -wire" conformada por nódulos de sulfato. Los cristales corresponden principalmente a yeso, pero se ven pequeñas inclusiones relictas de anhidrita (de colores de interferencia mayores), por lo que se puede concluir que probablemente los cristales originalmente correspondían a anhidrita. El ancho total de cada una de las fotografías es de 1,2 mm. Scholle y Ulmer-Scholle, 2003

La constante de equilibrio de la reacción yeso-anhidrita definida en función de las actividades de los reactantes es:

$$(3) (K_a)_{P,T} = \frac{a_{\text{CaSO}_4} \cdot a_{\text{H}_2\text{O}}^2}{a_{\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}}}$$

Esto se puede simplificar si se considera H<sub>2</sub>O puro, CaSO<sub>4</sub> puro y cristalino y CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O puro y cristalino, a una atmosfera. Para la temperatura de reacción la constante de equilibrio será:

$$(4) (K_a)_{T,P=1} = a_{\text{H}_2\text{O}}^2$$

Lo que se puede interpretar como que la reacción sólo depende de la actividad del agua, en condiciones de presión y temperatura constante.

### 3. Cristalinidad de los cristales de yeso

A pesar que clásicamente se ilustran los cristales de yeso como en la Figura 13.A, esta forma ideal es la menos común en sistemas subacuáticos naturales, en cambio los cristales lenticulares ilustrados en la Figura 13.B son los encontrados con mayor frecuencia. Estos se forman cuando una cara curva encapsula a un cristal, este cristal es llamado a veces pico de pájaro (*bird-beak*). Pueden tener tamaño arena a bloque y suelen presentar macla penetrativa, la cual da origen a la forma conocida como roseta o "rosa del desierto" (Figura 14).

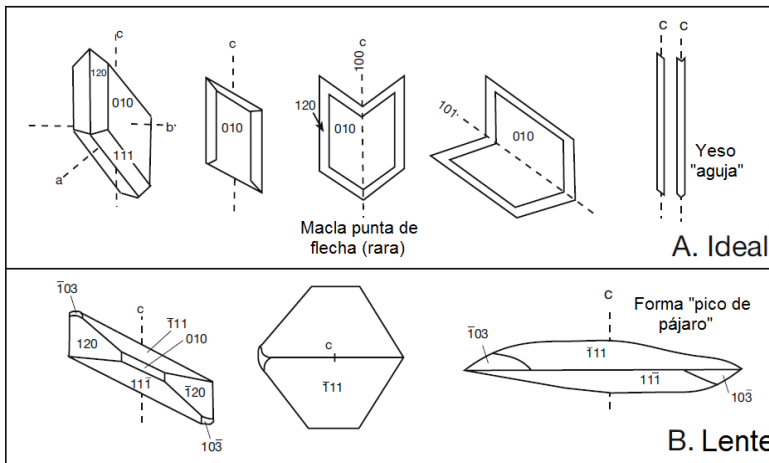


Figura 13: Cristalografía del yeso. (A) cristales prismáticos ideales, paralelos a la cara (010) con macla de punta de flecha en (100) o (101). A la derecha se muestra una forma acicular con su posible macla. (B) Forma lenticular, o "de lente", en la vista de la derecha se observa como las caras curvas ( $\bar{1}\bar{1}1$  y  $11\bar{1}$ ) con escaso desarrollo en los cristales prismáticos, en los cristales lenticulares presentan un gran desarrollo.

Los factores que controlan la forma de los cristales fueron estudiados por Cody y Cody (1988) quienes mediante pruebas de laboratorio analizaron el crecimiento de cristales, y descubrieron que la forma lenticular de los cristales de yeso desplazativo (de crecimiento entre los sedimentos) y su macla están controlados por la temperatura y la presencia de compuestos húmicos (materia orgánica) en la salmuera parental (Figura 14).

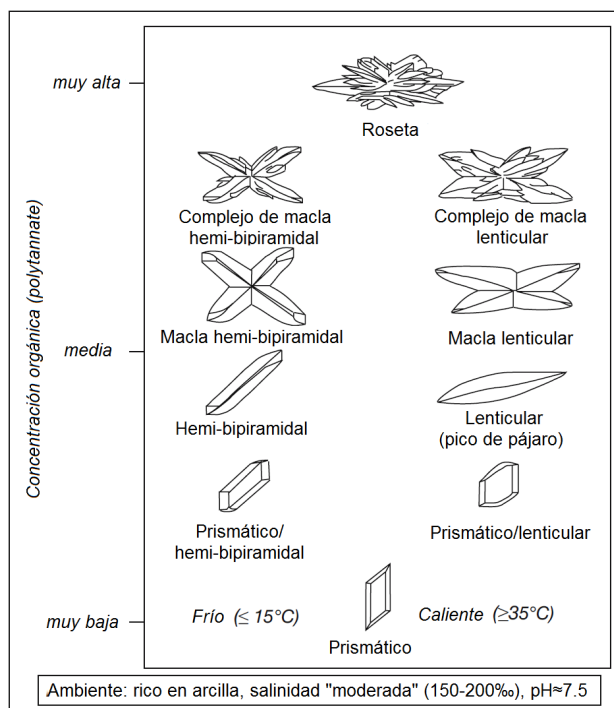


Figura 14: Distintos resultados del crecimiento de yeso en laboratorio en condiciones análogas al ambiente salino terrestre en una matriz de bentonita a pH neutro. Se probaron cuatro salinidades distintas y cuatro concentraciones de ácido tánico (*polytannate*), usado como análogo al material húmico terrestre, a tres T° diferentes. Los cristales prismáticos aparecen a altas y bajas T° en ausencia de ácido tánico, al aumentar la concentración del ácido orgánico los cristales progresivamente se aplanan perpendicularmente a la cara (001) y se desarrollan dos tendencias dependientes de la temperatura. A bajas temperaturas se forman cristales hemibipiramidales mientras que a mayores temperaturas se generan cristales lenticulares. Al aumentar la concentración de material orgánico se desarrollan maclas penetrativas en la cara (100), que si se sigue aumentando la concentración de materia orgánica, se transformarán en rosetas. Modificado de Warren (2006); Cody y Cody (1988).

#### 4. Relación entre el volcanismo y la ocurrencia de sales

Los depósitos producidos en el proceso de meteorización de rocas volcánicas en áreas hidrotermales (Vila, 1976a) y la oxidación de sulfuros en cráteres, fumarolas (solfataras) y cuerpos mineralizados proveen de una abundante fuente de sulfatos (CORFO, 1977a), además la emisión directa de volátiles de los volcanes ( $\text{SO}_2$  que combinado con agua o simplemente hidrógeno puede formar los ácidos  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{H}_2\text{S}$ ) constituye una fuente adicional que permite la formación de sulfatos como el yeso y la anhidrita; esta fuente de sulfatos probablemente tuvo una gran influencia en períodos de mayor actividad explosiva en esta latitud de los Andes Centrales.

Una fuente directa de sulfatos, y sales en general, es la erosión y transporte de sulfatos anteriores provenientes de antiguos depósitos salinos, como ocurre en el Salar de Atacama (Alonso y Risacher, 1996).



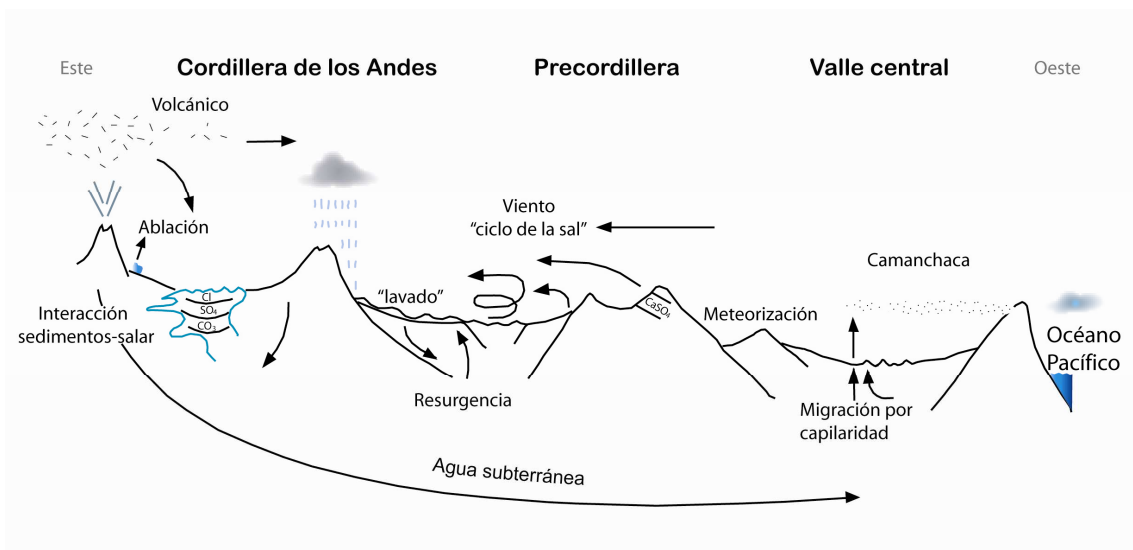


Figura 15: Esquema de las distintas fuentes de sales, postuladas por Berger y Coke (1996): meteorización, emisiones volcánicas, camanchaca, ablación (nieve), ciclo de la sal (transporte eólico), "lavado" (flujos superficiales, flujos de detritos, flujos de lodo), resurgencia (migración por capilaridad secundaria: flujos dentro de la cuenca, bajo el salar, geotermales) y migración por capilaridad. (Modificado de Berger y Coke, 1996).

Las aguas meteóricas del norte de Chile presentan un enriquecimiento relativo de sulfato, en comparación con su análogo boliviano, como se puede apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1: Análisis de USA de White *et al* (1963) y White *et al* (1980). Valores promedio de 62 aguas de USA, 54 aguas bolivianas y 187 aguas chilenas. Chi/Bol es la razón entre las concentraciones chilenas y bolivianas. En mmol/l excepto por Alk que está en mEq/l y TDS en mg/l. (Modificado de Risacher y Fritz, 1991)

Parámetro	USA	Rango	Bolivia	Rango	Chile	Rango	Chi/Bol
<b>pH</b>	7.5	6.6–8.3	7.9	3.8–10.4	7.8	3.9–9.8	*
<b>Na</b>	1.51	0.08–3.09	0.93	0.072–2.87	4.03	0.112–22.9	4.3
<b>K</b>	0.13	0.01–0.49	0.13	0.032–0.46	0.32	0.017–2.15	2.5
<b>Ca</b>	0.24	0.005–1.15	0.32	0.038–0.763	1.50	0.004–12.2	4.7
<b>Mg</b>	0.10	0.004–0.34	0.17	0.006–0.807	0.70	0.001–7.51	4.1
<b>Alk</b>	1.42	0.34–3.62	1.13	-0.064–4.88	1.92	-0.11–9.2	1.7
<b>SO<sub>4</sub></b>	0.23	0.001–0.87	0.28	0.021–1.72	2.27	0.04–28.6	8.1
<b>Cl</b>	0.39	0.04–1.75	0.35	0.024–1.49	2.26	0.007–9.93	6.5
<b>Si</b>	0.89	0.15–1.35	0.74	0.052–1.6	0.90	0.052–1.72	1.2
<b>TDS</b>	224	70–479	196	51–501	636	47.4–4050	3.2

El ácido producido por la interacción de los sulfuros y el agua ayuda a la neutralización de las aguas más alcalinas, esto podría explicar la disminución de la

presencia de carbonatos en las cuencas altiplánicas, los cuales son estables en ambientes más bien alcalinos (Risacher y Fritz, 2008).

La química calcoalcalina del volcanismo andino, por su parte, podría tener relación con una menor presencia de los cationes  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  en los volátiles, y por lo tanto una disminución relativa en la presencia de cloruros como la halita ( $\text{NaCl}$ ) y la silvita ( $\text{KCl}$ ), con respecto a sulfatos de sodio. Por otro lado las lluvias estivales (South American Summer Monsoon) conocidas como invierno boliviano, son una posible fuente de sales, especialmente de sulfato de calcio (Risacher y Fritz, 1991) aunque la concentración de éstas aguas mediante canales superficiales se ve desfavorecida por la fuerte aridez de la zona (Berger y Cooke, 1996).

Cabe destacar que la sobresaturación de las salmueras que da como resultado la precipitación de sales, ya sean cloruros o sulfatos, no necesariamente es un resultado de una tasa de evaporación elevada, sino que también se puede producir por un aporte elevado de volátiles con alto contenido de  $\text{CO}_2$ , Na, K, Cl, Ca,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc. En el trabajo de Momenzadeh (2007) se propone llamar a este tipo de rocas "saturitas" (*saturites*).

## IV. Resultados

Tras describir el registro estratigráfico de los pozos DEC-04, DEC-05 y DEC-06 (ubicados como se indica en la Figura 16), se pueden reconocer, de base a techo, las siguientes unidades:

- Toba cristalina
- Brecha volcano-sedimentaria
- Secuencia volcano-sedimentaria
- Toba de ceniza
- Sucesión sedimentaria evaporítica
- Lava andesítica
- Brecha volcánica
- Toba de lapilli
- Lapillita
- Andesita basáltica

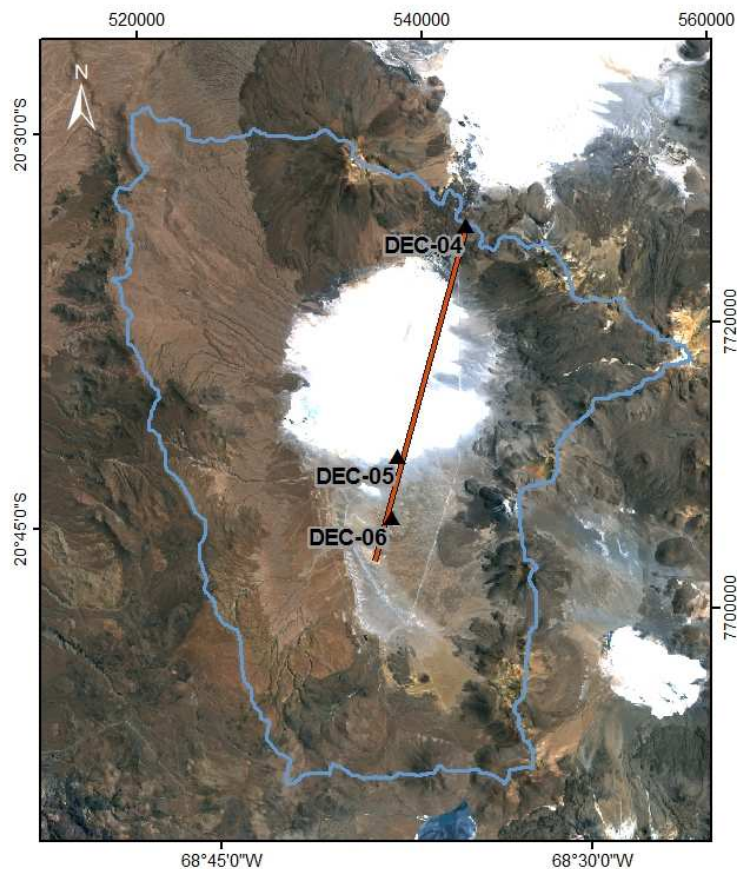


Figura 16: Ubicación de los pozos estudiados y traza de la sección transversal. Los pozos se encuentran indicados con triángulos rojos y la traza con una línea roja.

Con la información obtenida se confeccionan las columnas estratigráficas representadas en la Figura 17. El detalle de las descripciones de los pozos se presenta en el ANEXO 2.

# 1. Correlaciones

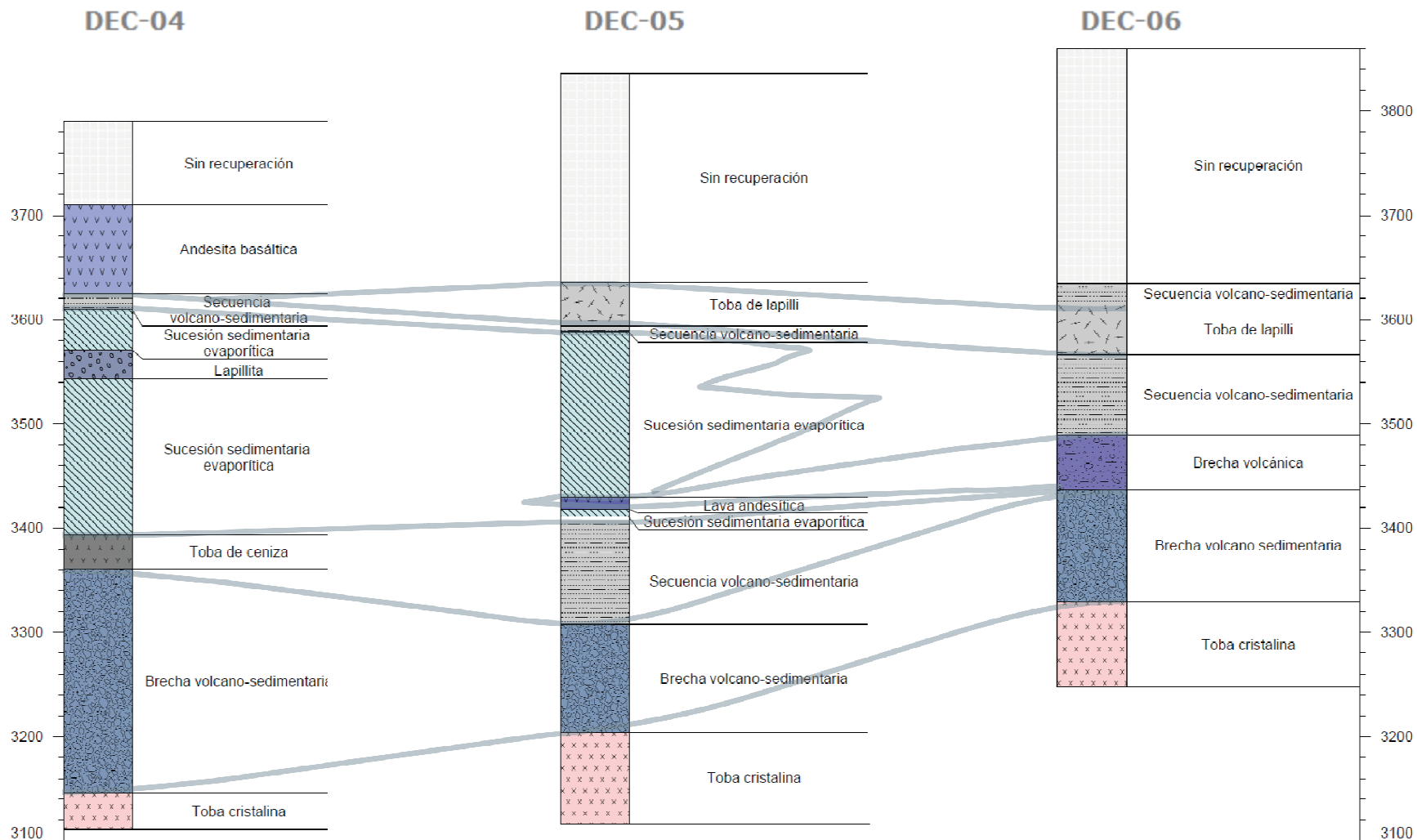


Figura 17: Columnas estratigráficas y correlaciones.

Con las unidades reconocidas en los pozos se puede establecer una correlación lateral como se observa en la Figura 17.

La toba cristalina aparece hacia la base de los tres pozos estudiados. Al sur, en el pozo DEC-06, el techo de esta unidad aparece a los 533,7 m mientras que hacia el norte, el techo se encuentra a mayor profundidad, en el pozo DEC-06 a 631,5 m y en el DEC-04 a 644 m.

Sobreyaciendo a la toba cristalina se encuentra a lo largo de toda la sección la brecha volcano-sedimentaria con espesores aproximados entre 100 m al sur y 200 m al norte. Al igual que la Ignimbrita Huasco su techo se eleva hacia el sur.

La secuencia volcano-sedimentaria se encuentra sobre la brecha volcano-sedimentaria en los pozos DEC-05 y DEC-06, en el pozo DEC-04 a la misma profundidad se reconoce una toba de ceniza laminada que se puede correlacionar con esta secuencia, debido a la similitud en sus características. La unidad reaparece sobre la sucesión sedimentaria evaporítica en los pozos DEC-04 y DEC-05 y a pesar de que se ve interrumpida por una toba de lapilli (DEC-05 y DEC-06) se puede asumir su continuidad hasta aproximadamente los 3.700 m s.n.m. En general se encuentra rodeando a la sucesión sedimentaria evaporítica. Esta unidad se puede subdividir en secuencia volcano-sedimentaria inferior y secuencia volcano-sedimentaria superior. Esta última corresponde a los depósitos encontrados sobre la sucesión evaporítica. No se reconocen diferencias mayores entre ambas secuencias.

Tanto en el pozo DEC-05 como en el DEC-06 fue posible reconocer depósitos de origen volcánico a los 3.440 m s.n.m.: lava andesítica y brecha volcánica. Esta última es estrictamente monomítica y su brechización puede interpretarse como un proceso primario. Si bien ambas unidades no son iguales corresponden a productos de un volcanismo efusivo, es por esto se agrupan bajo el nombre de "depósitos volcánicos".

La sucesión sedimentaria evaporítica se reconoce en los pozos DEC-04 y DEC-05, no así en el DEC-06, por lo que es posible postular que el límite sur de esta unidad se encuentra entre los pozos DEC-05 y DEC-06.

Un problema para la completa descripción del registro estratigráfico y la construcción de la sección transversal, fue que en ninguno de los tres pozos existe la información de los primeros metros, para suplir esta falta de datos se recurrió a descripciones anteriores de otros pozos perforados en la zona, específicamente de los pozos PDC-01, DPEC-04, PDC-05, y CDD-02 (ANEXO

3), además de la información acerca de la geología de superficie. Es así como se pudo extender la secuencia volcánica sedimentaria por sobre los 3.700 m s.n.m. nivel donde comienza a aparecer la Ignimbrita Pastillos. Se proyecta además la extensión de la andesita basáltica hasta la superficie, debido a la similitud con las rocas que afloran en esa zona. En los metros superiores de la sección aparecen depósitos no consolidados.

En la Figura 18 se presenta el perfil (sección transversal) realizado con estas correlaciones.

## 2. Perfil NNE-SSW

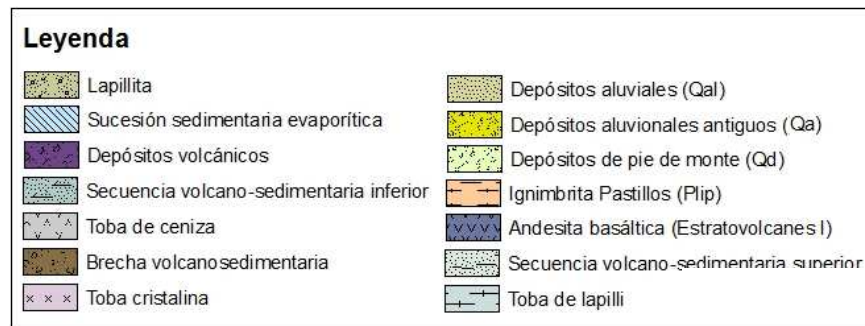
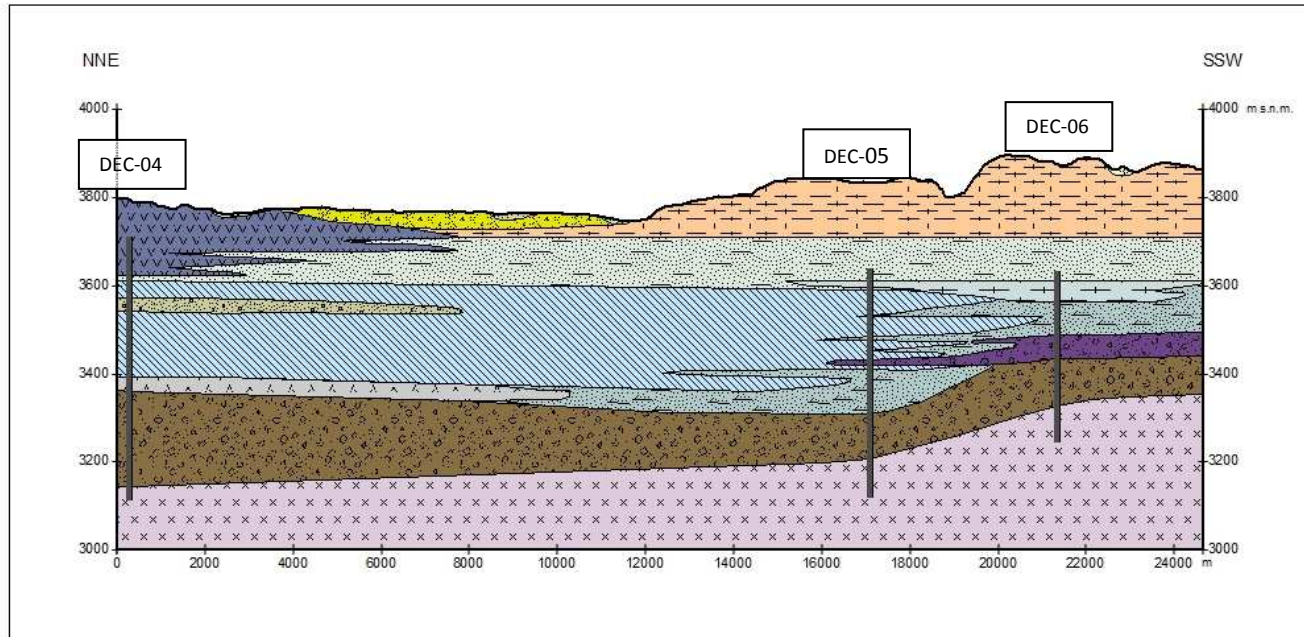


Figura 18: Perfil NNE-SSW de la zona de estudio. Los pozos aparecen representados sólo en el tramo con recuperación.

### 3. Descripción litológica de unidades

#### 3.1. Toba cristalina

Toba cristalina soldada, con cristales de biotita de hasta 2 mm, cristales de plagioclasa y ojos de cuarzo de hasta 5 mm. Se reconocen pómez de hasta 3 cm y se pueden observar *fiammes*. La roca es compacta y competente. Hacia el techo la unidad es grisácea, pero hacia la base se va vuelve más roja, llegando a ser rojo oscuro. Presenta numerosas fracturas rellenas con arcillas, óxidos y cuarzo.



Figura 19: Toba cristalina (testigos de pozo DEC-05).

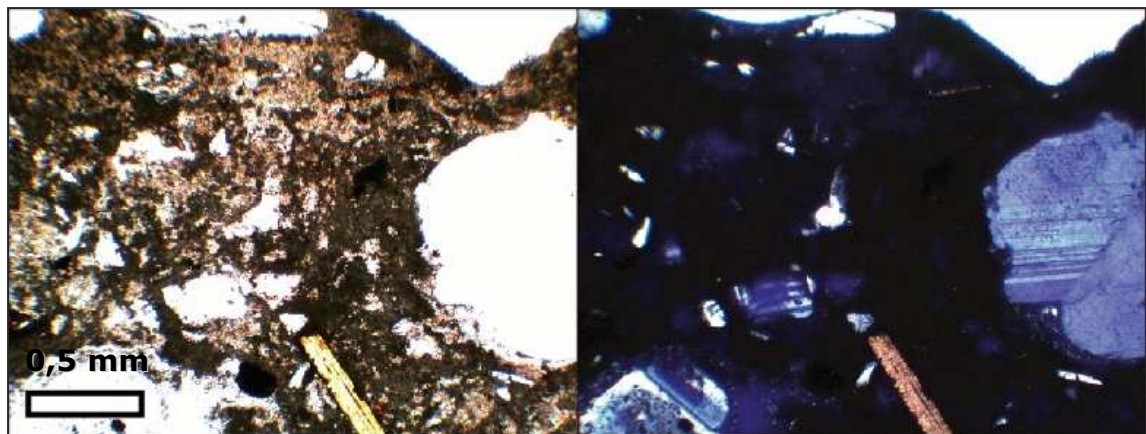


Figura 20: Toba cristalina (CT de la muestra DEC-05-37). Se observan cristales de Qtz, Plg, Bt y Anf, además de líticos inmersos en una matriz vítrea intensamente soldada. Profundidad 633 m.



### 3.2. Brecha volcano-sedimentaria

Brecha polimíctica compuesta principalmente por clastos de origen volcánico, como lavas andesíticas, tobas soldadas y pómez en menor cantidad. Sólo en el pozo DEC-05 se observan clastos de granitoides. Los tamaños de los clastos van desde gravilla fina a ripio y la matriz en general está compuesta por arena media a fina y arcilla.



Figura 21: Brecha volcano-sedimentaria (Testigos de pozo DEC-04).

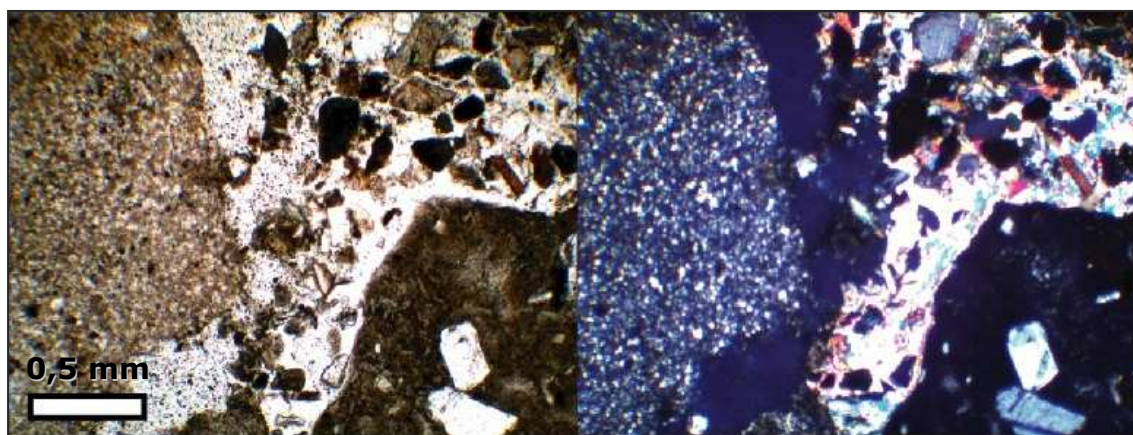


Figura 22: Brecha volcano-sedimentaria (CT de la muestra DEC-05-34). Brecha con clastos de toba (bastante alterada) y chert, donde destaca una matriz de arena cementada con anhidrita. Profundidad 528,8 m.

### 3.3. Secuencia volcano-sedimentaria

Secuencia compuesta por intercalaciones de depósitos clásticos y cenizas. Las cenizas (vítreas) usualmente se encuentran alteradas a arcillas blancas-amarillentas (palagonita). Los componentes clásticos corresponden a arenas polimícticas, de grano medio, principalmente se trata de clastos de cuarzo y líticos volcánicos en proporciones similares, tienen una madurez textural media a buena. Aparecen cristales de biotita tanto en la ceniza como en los depósitos clásticos. En el pozo DEC-06 se reconoce vidrio volcánico (obsidiana) entre los depósitos, formando cuerpos de hasta 2 cm.

Suelen aparecer niveles con laminados, con capas de hasta 1 mm. Es posible apreciar retrabajo en la estratificación y laminación, se reconoce la presencia de pequeños riachuelos. Además es común observar fragmentos de láminas arcillosas en los niveles clásticos.



Figura 23: Secuencia volcano-sedimentaria (testigos del pozo DEC-05).

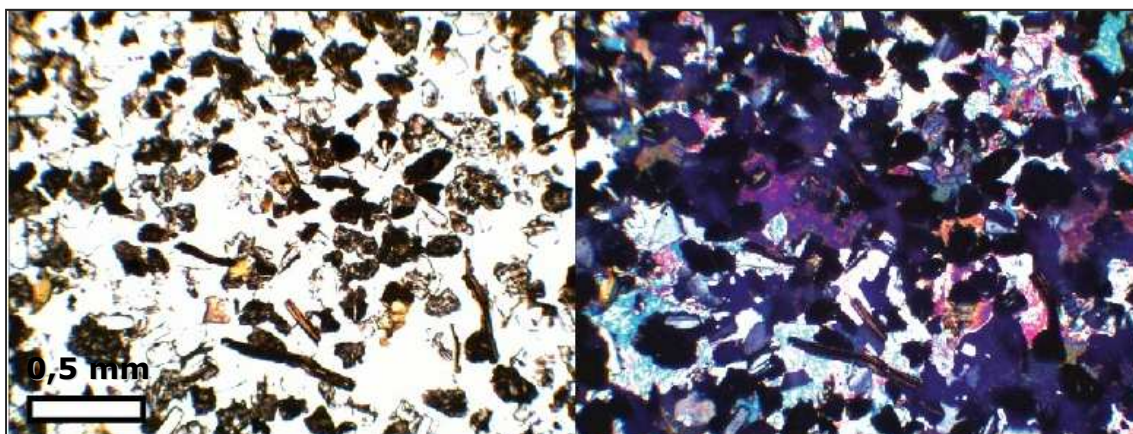


Figura 24: Secuencia volcano-sedimentaria (CT de la muestra DEC-05-31). Arenisca con clastos volcánicos, donde a veces es posible observar plagioclasas, el vidrio a veces se presenta alterado (a palagonita). El cemento corresponde a anhidrita. Profundidad 500 m.

### 3.4. Toba de ceniza

Esta unidad se identifica sólo en el sondaje DEC-04 entre los 396,95 y 402,45 m. Está compuesta principalmente por ceniza vítrea con algunos clastos tamaño lapilli que van aumentando hacia la base donde también aumenta la cantidad de arcilla. Se observa laminación de entre 1 y 10 mm. Destaca la presencia de sulfatos en vetillas.

### 3.5. Sucesión sedimentaria evaporítica

En esta sucesión se reconocen grandes espesores de sulfatos (yeso y anhidrita), de forma masiva y laminada. Se observan también niveles más oscuros con distintas cantidades de depósitos clásticos. Aparecen además capas de ceniza vítrea comúnmente alterada a arcilla (palagonita), en estas capas suelen observarse cristales de biotita. Los componentes clásticos corresponden mayormente a clastos tamaño arena media, de origen volcánico. Estos son de madurez textural media. Ocasionalmente se observan clastos de granulometrías mayores (gravilla a grava).

Los tres tipos de depósitos antes descritos: sulfatos, ceniza y componentes clásticos se encuentran conviviendo en distintas proporciones a lo largo de esta unidad. Destaca la presencia de rosetas simples (dos cristales maclados) de entre 2 y 6 mm hacia el techo de esta unidad en el pozo DEC-04.


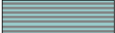
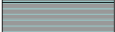
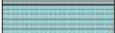
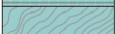


Si bien las laminaciones y estratificaciones tienen una orientación horizontal, es común verlas con distintos grados de plegamiento.



Figura 25: Sucesión sedimentaria evaporítica. A izquierda: Maclas penetrativas simples en cristales de yeso (DEC-04, 180 m de profundidad). A la derecha: Sulfatos masivos con intercalaciones clásticas (DEC-04, 210 m de profundidad).

A continuación, en la Figura 26 y la Figura 27, se muestra el detalle de la sucesión sedimentaria evaporítica, para el pozo DEC-04 y el pozo DEC-05 (respectivamente). Se muestran en estas figuras subdivisiones realizadas de acuerdo a la descripción hecha en terreno, usando como criterio la composición y disposición de los depósitos.

La simbología utilizada se muestra a continuación:

	Presencia de cristales desplazativos de yeso
	Laminación
	Estratificación
	Laminación a estratificación
	Sulfatos masivos intercalados con sedimentos clásticos
	Sulfatos masivos con zonas laminadas a estratificadas
	Toba

Es posible observar que no existe un patrón específico en la repetición de las distintas variantes de la sucesión sedimentaria evaporítica. Destaca en el pozo DEC-04 la presencia de cristales desplazativos de yeso hacia el techo de la sucesión, en este pozo además son más abundantes los niveles con sulfatos masivos, en relación a lo encontrado en el DEC-05.



Figura 26: Detalle de la sucesión sedimentaria evaporítica en el pozo DEC-04.

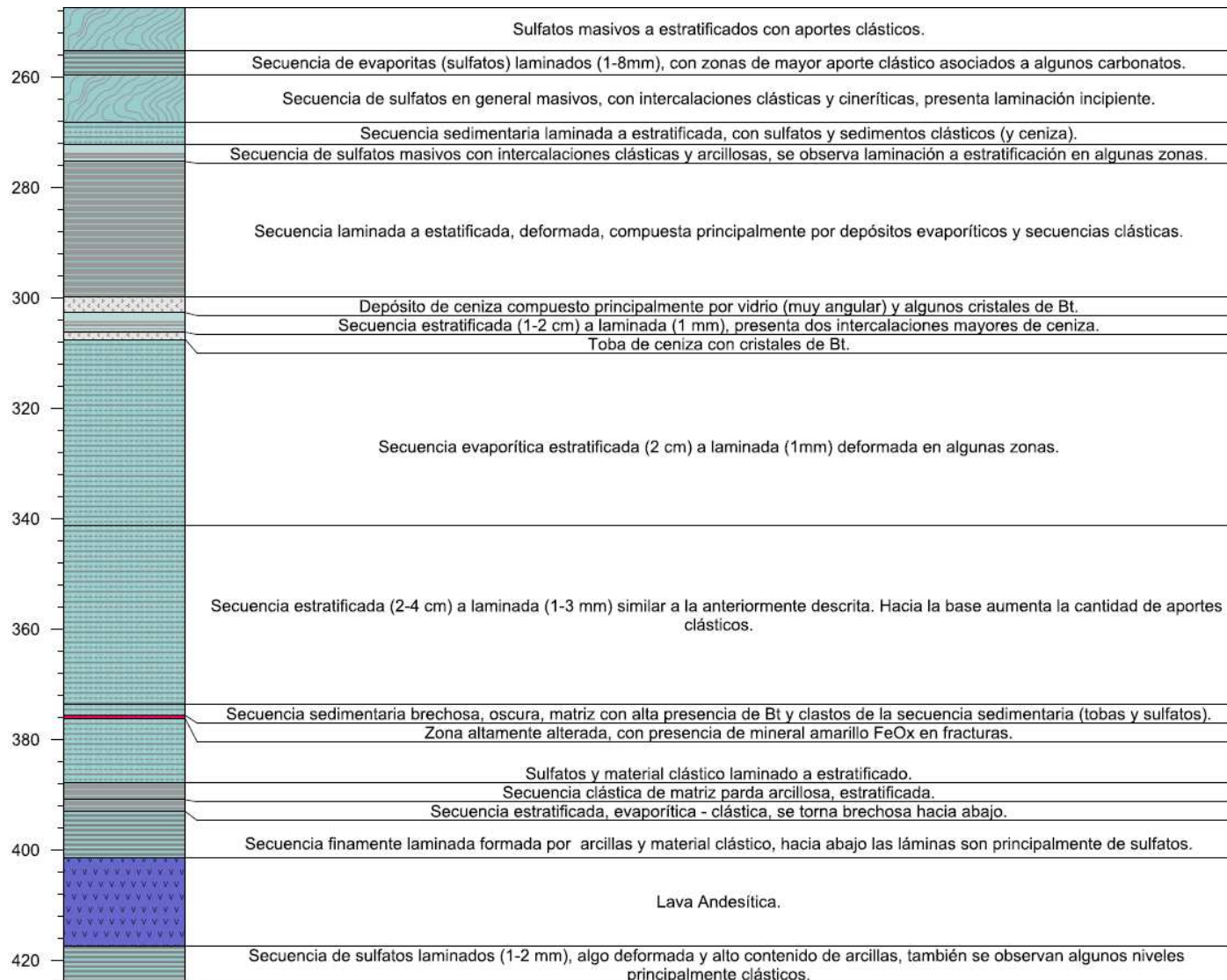


Figura 27: Detalle de la sucesión sedimentaria evaporítica en el pozo DEC-05.

### 3.6. Lava andesítica

Esta unidad aparece sólo en el pozo DEC-05 y corresponde a una serie de brechas monomícticas, de clastos andesíticos con escaso transporte y a una andesita de 7 m de espesor con características similares a los clastos de las brechas. Si bien esta unidad es en parte clástica, debido a su poco transporte se considera como una roca volcánica.

### 3.7. Brecha volcánica

Brecha monomíctica presente sólo en el sondaje DEC-06. Está compuesta por clastos de lavas andesíticas gris azulado con gran cantidad de cristales de plagioclasa. Los clastos tienen tamaños que van desde 1 mm a 25 cm y son en general subredondeados. La matriz está compuesta por arena y se encuentra cloritizada. Al observar el corte transparente se distinguen coronas de clorita-esmectita rodeando a los clastos. La secuencia presenta un espesor de aproximadamente 50 m.

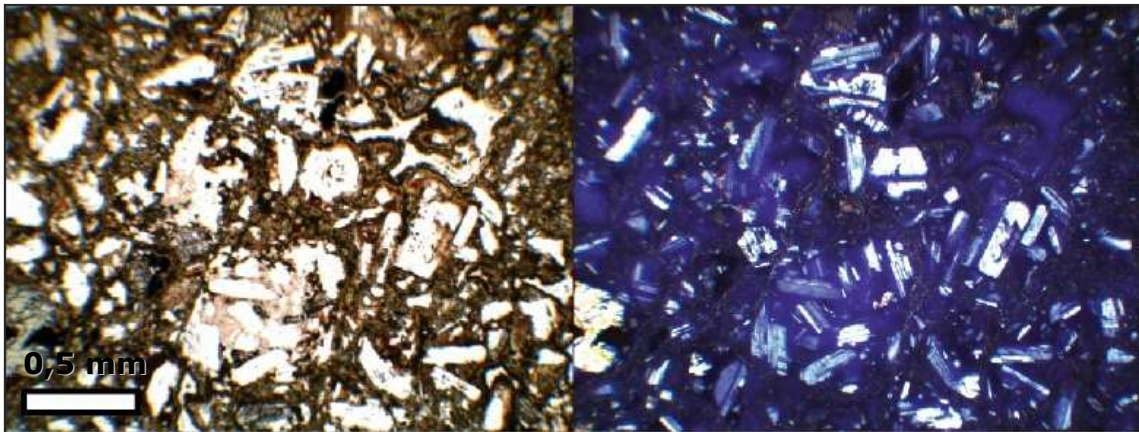


Figura 28: Brecha volcánica (CT de la muestra DEC-06-04). En el corte se observa la matriz de la brecha, está compuesta por pequeños fragmentos de lava andesítica con coronas de esmectita (y posiblemente algo de clorita). Profundidad 380,3 m.



Figura 29: Vista macroscópica de la brecha volcánica. Pozo DEC-06, profundidad 400 m.

### 3.8. Toba de lapilli

Secuencia encontrada entre los 245,6 y 293,95 m del sondaje DEC-06 de color rosado a gris hacia su base, está compuesta por pómez fibrosas con biotita y líticos volcánicos en menor cantidad, los cuales disminuyen hacia la base llegando incluso a desaparecer. La matriz es de ceniza principalmente vítrea con presencia de cristales de biotita.



Figura 30: Toba de Lapilli (DEC-06).

### 3.9. Lapillita

Esta unidad aparece exclusivamente en el sondaje DEC-04, entre los metros 219,1 y 246,6 y se ubica dentro de la secuencia sedimentaria evaporítica. Se compone de piroclastos tamaño lapilli (lavas andesíticas y pómez principalmente) inmersos en una matriz de ceniza donde se observan algunos cristales de biotita. Destaca la presencia de algunos fragmentos de sulfatos (yeso-anhidrita) dentro de esta unidad (<5%).

### 3.10. Andesita basáltica

Esta unidad se aprecia exclusivamente en el pozo DEC-04 y se trata de una roca volcánica efusiva gris oscuro, hipocristalina, con fenocristales de plagioclasa de entre 1 y 5 mm, y algunos cristales de piroxeno que presentan tamaños de hasta 2 mm. Es en general competente aunque presenta fracturamiento. En algunos tramos pueden observarse un mayor contenido de vesículas.





Figura 31: Andesita basáltica con algunas vesículas (DEC-4).

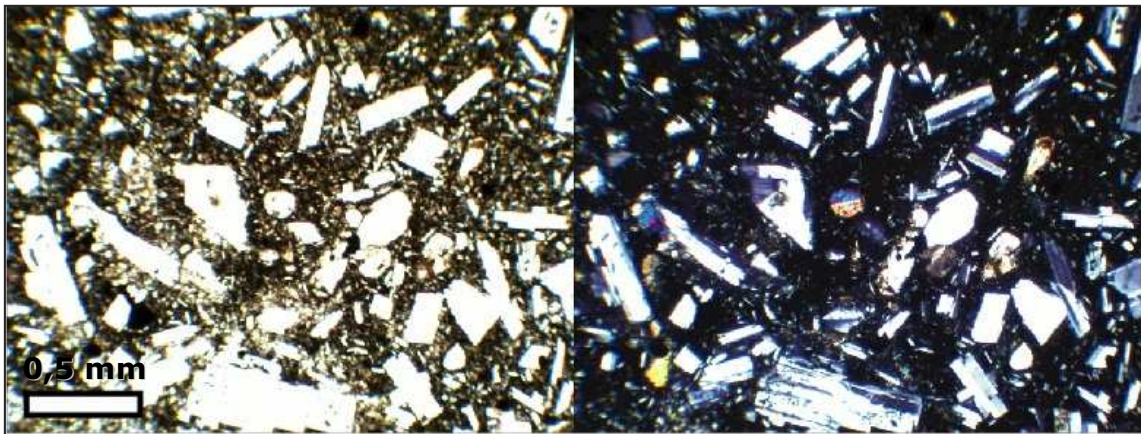


Figura 32: Andesita basáltica (CT de la muestra DEC-04-01). Lava con fenocristales de Plg y Cpx (2 familias, grandes de altos colores de interferencia y más pequeños de colores amarillos), escasos Opx. Profundidad 122,6 m.

## **4. Difracción de Rayos X**

### **4.1. Muestra DEC-04-08**

Esta muestra fue extraída a los 284 m del sondaje DEC-04, y forma parte de la unidad definida como secuencia sedimentaria evaporítica. La muestra no es representativa de la unidad, más bien corresponde a un nivel anómalo. Mediante la XRD se detectaron los siguientes minerales:

- Calcita magnésica
- Ankerita (carbonato de Ca y Fe<sup>2+</sup>)
- Anhidrita
- Albita alta
- Microclina

En esta muestra, la línea base se eleva levemente después de los 20° Theta, lo que indica la presencia de restos de material amorfo como vidrio volcánico.

### **4.2. Muestra DEC-05-15:**

Esta muestra fue extraída a los 321,5 m del sondaje DEC-05, zona que corresponde a la misma unidad de la muestra antes descrita, es decir, la sucesión sedimentaria evaporítica. La muestra DEC-05-15 a diferencia de la anterior es bastante representativa de la sucesión, se trata de laminación de sulfatos que se observan algo pegados. Los minerales encontrados fueron:

- Yeso
- Trazas de cuarzo

### **4.3. Muestra DEC-06-06:**

Esta muestra fue tomada en el sondaje DEC-06 a los 311,3 m y representa a uno de los componentes frecuentes de la unidad volcano-sedimentaria. El análisis de XRD arrojó que está compuesta en su mayor parte por vidrio volcánico, la elevación intensa de la línea base entre los 20° y 30° 2 Theta, así lo demuestra. Sin embargo también hay otras especies minerales como cuarzo, halloysita hidratada y anortoclasa, probablemente en ese orden de ocurrencia.

## **V. Interpretaciones y Análisis**

### **1. Facies y ambientes de depositación**

#### **1.1. Ambiente volcánico explosivo**

Dentro de los depósitos estudiados se puede distinguir material piroclástico, propio de un ambiente volcánico explosivo, distribuido prácticamente a lo largo de todas las unidades encontradas.

La toba cristalina encontrada en la base de los tres pozos se puede interpretar como un depósito ignimbrítico muy extenso, que representaría el material producido por el arco en un período de intensa actividad explosiva, previa al desarrollo del ambiente evaporítico.

En las unidades superiores, como la secuencia volcano-sedimentaria y la sucesión sedimentaria evaporítica no deja de aparecer material piroclástico, evidenciando que el arco permaneció activo con actividad. Si bien éstos no son los principales constituyentes de dichas unidades, se observan niveles importantes de ceniza intercalándose con sulfatos y/o material clástico, lapillitas (DEC-04) y tobas de lapilli (DEC-05 y DEC-06).

Los niveles cineríticos encontrados dentro de la sucesión volcano-sedimentaria varían entre: cenizas compuestas principalmente por vidrio alterado a palagonita, cenizas compuestas por vidrio muy anguloso y tobas de ceniza cristalinas, con abundantes cristales de biotita.

Aflorando en superficie se encuentra la Ignimbrita Pastillos, de edad holocena.

#### **1.2. Ambiente volcánico efusivo**

Asociados a este ambiente se encuentra la brecha volcánica, la lava andesítica, y la andesita basáltica. Estas rocas son una evidencia de la actividad efusiva que ha tenido el arco durante el Cenozoico.

Si bien la brecha volcánica conforma una unidad clástica, su brechización puede interpretarse como un proceso primario debido a que es estrictamente monomítica y también debido a la naturaleza de su matriz, compuesta por vidrio y cristales similares a los encontrados en los clastos.

En el caso de la lava andesítica también es posible encontrar brechización, la que probablemente ocurrió in situ. Es por esto que dicha unidad se considera una roca volcánica.

### 1.3. Ambiente volcano-sedimentario

Son propias de este ambiente la brecha volcano-sedimentaria y la secuencia volcano-sedimentaria. En la primera se observan clastos de gran tamaño, de diversos orígenes y pobremente redondeados, indicando poco transporte, es decir, el origen de los clastos probablemente esté dentro de la misma cuenca.

La secuencia volcano-sedimentaria está compuesta principalmente por clastos tamaño arena media, con una madurez textural buena a media. Presenta frecuentemente laminaciones y estratificaciones propias de pequeñas corrientes de agua (arroyuelos). Esta unidad muestra un ambiente de menor energía, que podría tratarse de un lago playa (Gary Nichols, 1999).

### 1.4. Ambiente sedimentario evaporítico

Dentro de la sucesión sedimentaria evaporítica se pueden distinguir distintos tipos de depósitos, algunos conformados por sulfatos laminados finamente, otros presentando estratificaciones con importantes aportes clásticos, sulfatos masivos con intercalaciones clásticas irregulares y niveles principalmente cineríticos.

En la Figura 33 se observan sulfatos masivos intercalados con depósitos clásticos de forma irregular. Este tipo de niveles con textura enterolítica se pueden interpretar como los depósitos típicos de una sabkha del interior (Tucker, 2003).



Figura 33: Sulfatos masivos intercalados irregularmente con material clástico. A la izquierda una muestra del pozo DEC-05 a 250 m de profundidad. A la derecha una muestra del pozo DEC-04 a 185 m de profundidad

En esta unidad, además es común encontrar sulfatos dispuestos en láminas de aproximadamente 1 mm. Las láminas suelen observarse sobre depósitos clásticos de grano fino (como se observa en la Figura 34). Esta sucesión puede interpretarse como los depósitos clásticos de un lago playa que luego son cubiertos por depósitos salinos formados cuando el lago comienza a secarse.

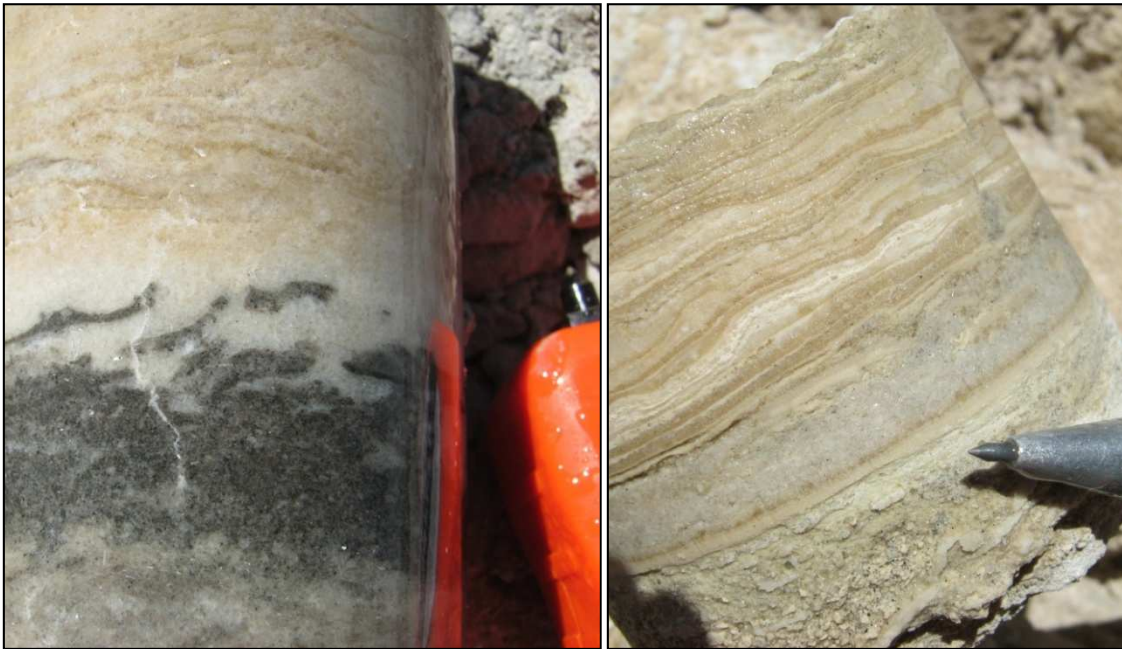


Figura 34: Sulfatos laminados. A la izquierda se observa como capas clásticas laminadas fueron cubiertas por sulfatos. Muestra del pozo DEC-05 a 247 m de profundidad. A la derecha una laminación de sulfatos en el DEC-04 a 268 m de profundidad.

En la sucesión también aparecen algunos niveles de arcillas negras que podrían reflejar ambientes orgánicos dentro de los lagos playa.



Figura 35: Arcillas negras laminadas, muy fraccionadas, de probable origen orgánico. Fotografía del pozo DEC-04 a 390 m de profundidad.

Si se observa el detalle de las sucesiones sedimentarias evaporíticas (Figura 26 y Figura 27) se puede apreciar que no existe un orden evidente entre la ubicación de los niveles interpretados como lago playa y la zona interpretada como sabkha, aunque si se puede notar que los sulfatos masivos son más abundantes en el pozo DEC-04. Probablemente año a año la geometría del lago efímero fue registrando pequeños cambios, provocando que el lugar donde se concentraron las aguas en un período lluvioso cambie de una temporada a otra.

## **2. Presencia y ubicación de los depósitos salinos**

En Chile existen salares emplazados en distintas unidades morfoestructurales, es así como éstos se pueden clasificar en: Salares de la Cordillera de la Costa, Salares de la Depresión Intermedia, Salares Preandinos y Salares Andinos. Según su ubicación los salares recibirán aportes de distintas fuentes (Figura 15).

La Cuenca del Salar de Coposa se encuentra ubicada en la depresión de los salares, junto a la Cordillera Occidental, a una altura superior a los 3.740 m s.n.m. (a esta altura se encuentran los depósitos salinos actuales). Debido a su ubicación esta cuenca recibe los efectos del invierno altiplánico, es decir, presenta precipitaciones estivales, implicando que las condiciones de aridez en esta área no sean tan fuertes como en otras zonas del norte de Chile.

La cuenca está emplazada muy cerca del arco (ubicado en la misma posición durante todo el Cenozoico, según Charrier *et al.*, 2009) lo que trae como consecuencia que en sus aguas se concentren los componentes aportados por la actividad volcánica como se explica en el punto 4 del capítulo III.

Es así como es posible la formación de sales a pesar de no tener las condiciones extremas de aridez, pero contando con la cantidad necesaria de aportes de soluto a las aguas de la cuenca. Por dichas razones este tipo de rocas no deberían llamarse evaporitas sino más bien "saturitas" como propone Momenzadeh (2007).

La presencia mayoritaria de sulfatos en los depósitos estudiados estará condicionada entonces por las características de los aportes provenientes del arco (meteorización de rocas volcánicas, oxidación de sulfuros, emisión de volátiles como  $\text{SO}_2$ ). Sí es posible encontrar carbonatos, como indican los resultados de la difracción de rayos X, pero éstos son minoritarios con respecto a los sulfatos, lo que puede atribuirse a la acidificación de las aguas debido al ácido sulfúrico producido por la interacción del  $\text{SO}_2$  con  $\text{H}_2\text{O}$ .

Al comparar el Salar de Coposa con el Salar de Atacama se observa que este último posee una importante cantidad de halita. ¿Qué factores influyen en esta diferencia? El Salar de Atacama está flanqueado por el oeste por la llamada Cordillera de la Sal,

la cual contiene depósitos terciarios pertenecientes a un antiguo salar formado por yeso y halita (Risacher y Fritz, 2008), factor que no está presente en la zona de estudio. Además es preciso recordar que dentro de la evolución de una salmuera la halita precipita en una etapa posterior al yeso, lo que indicaría que la salmuera presente mientras se formaban los sulfatos no estaba en la etapa propicia para la formación de halita.

### 3. Cristales de yeso en proceso de transformación a anhidrita

En condiciones superficiales el mineral más propicio a formarse fue el yeso. Los niveles de yeso estudiados se cubrieron con el paso del tiempo por depósitos sedimentarios y volcánicos hasta llegar a tener alrededor de 200 m de rocas y sedimentos sobreyaciéndolas.

Bajo estas nuevas condiciones de presión y probablemente a una mayor temperatura producida por el enterramiento (se puede asumir un gradiente geotermal elevado debido a la cercanía con el arco) el yeso deja de ser estable y se produce el reemplazo a anhidrita, como se explica en el punto 2 del capítulo III.

El reemplazo puede ser observado en los cortes transparentes (DEC-04-03, DEC-05-08, DEC-05-09, DEC-05-14 y DEC-05-15). La anhidrita aparece en franjas finas y alargadas perpendiculares al eje mayor de los cristales lenticulares de yeso.

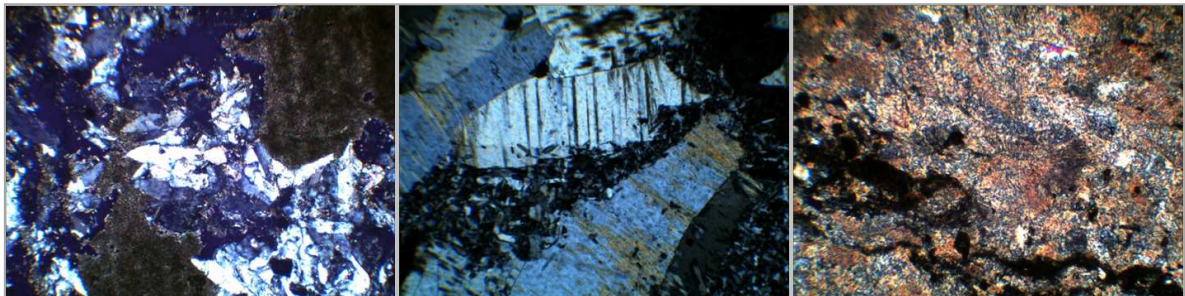


Figura 36: Cortes transparentes de tres distintos tipos de cristales de yeso. A la izquierda se pueden observar cristales lenticulares de color blanco (muestra DEC-05-12 extraída a los 186,5 m de profundidad). Al centro se observan cristales lenticulares siendo reemplazados incipientemente por anhidrita, la cual se presenta de colores amarillos a anaranjados (muestra DEC-05-14 extraída a los 311,04 m de profundidad). A la derecha se pueden observar numerosos cristales de yeso lenticular con un reemplazo más avanzado de anhidrita, en este corte los colores de interferencia alcanzados por la anhidrita son más altos, llegando al fucsia y celeste (muestra DEC-05-09 extraída a los 248, 35 m de profundidad).

Es en estas nuevas condiciones donde se deposita anhidrita primaria, como la encontrada en los cortes DEC-04-09, DEC-04B-01, DEC-04B-04, DEC-05-18, DEC-05-19 y DEC-05-21 (Figura 37). Ésta, además se observa actuando como cemento en brechas y areniscas en los cortes DEC-05-34 y DEC-05-31, respectivamente. En estos cortes se pueden identificar los cristales de anhidrita como primarios debido a sus elevados colores de interferencia y a su carácter ortorrómbico.

Otro factor que podría incidir en la precipitación de anhidrita en profundidad es una elevada concentración de sulfato de calcio en el agua subterránea producto de los grandes espesores que contienen yeso. Una mayor salinidad de la salmuera permite la precipitación de anhidrita a menores temperaturas, como se indica en el punto 2 del capítulo III.

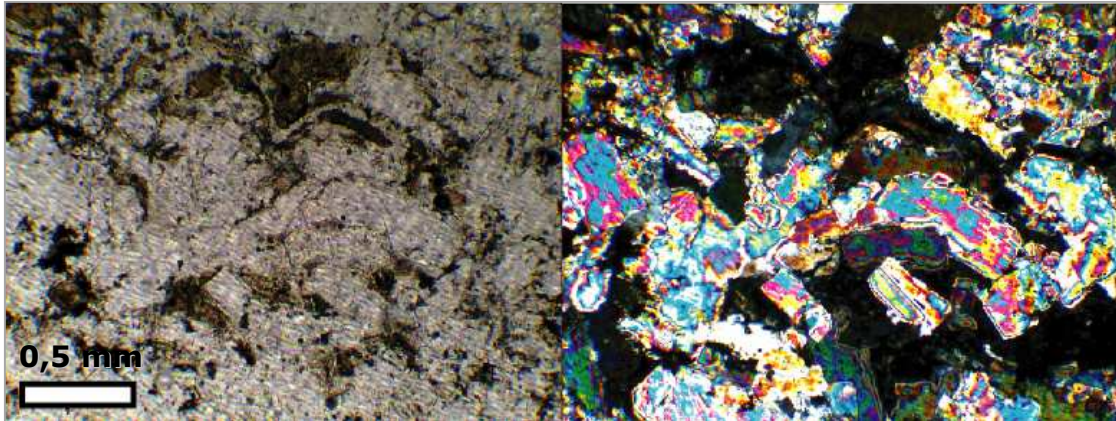


Figura 37: Sucesión sedimentaria evaporítica (Muestra DEC-05-21). Cristales de anhidrita de entre 0,02 y 0,25 mm con clivaje en 90°, presentan elevados colores de interferencia (3° orden). Profundidad 421,35 m.

#### 4. Discusiones

Bajo los depósitos actuales del Salar de Coposa, a aproximadamente 200 m de profundidad, se encuentra el techos de depósitos evaporíticos compuestos principalmente por sulfatos de calcio (como se pudo comprobar con la difracción de rayos X), esto se puede interpretar como la presencia de un salar antiguo. Probablemente dicho salar se formó mientras los volcanes tenían una actividad explosiva debido a la importante presencia de cenizas y tobas intercaladas con los depósitos evaporíticos.

Los cristales de yeso encontrados corresponden a cristales lenticulares que ocasionalmente forman rosetas simples, indicando la posible presencia de componentes orgánicos en cantidades moderadas y una temperatura de formación relativamente alta según lo postulado por Warren en el 2006 (ver Figura 14). Esto es consistente con la escasa presencia de niveles orgánicos (Figura 35).

Es posible observar en los cortes transparentes DEC-05-31 (Figura 24), y DEC-05-34 (Figura 22), pertenecientes a la secuencia volcano-sedimentaria inferior y a la brecha volcano-sedimentaria respectivamente, anhidrita actuando como cemento de rocas clásticas: una arenisca y una brecha con matriz de arena. Esto puede interpretarse como la migración a través del agua freática de sulfato de calcio.



Ubicada en los márgenes de la sucesión sedimentaria evaporítica (inferior y lateral) se encuentra la secuencia volcano-sedimentaria inferior, donde se intercalan depósitos clásticos y material volcánico (principalmente vidrio y algunos cristales tamaño ceniza). Destaca en esta unidad la laminación y el retrabajo de algunos niveles producto de la interacción de sedimentos y cenizas con el agua. Este fenómeno también se puede observar en depósitos encontrados en los pozos PGC-01 y PGC-02, ubicados al este de los pozos "DEC", pero con un menor desarrollo (menos de 5 m) lo que indica que el margen oriental de esta unidad correspondería al arco volcánico (ANEXO 4). Por otro lado en el pozo DEC-04 se encuentra a este nivel una toba de ceniza de 32 m de espesor con zonas laminadas y una apariencia bastante similar a la secuencia volcano-sedimentaria. Posiblemente ambos niveles se depositan al mismo tiempo y su composición varía principalmente por la ubicación.

La sucesión sedimentaria evaporítica, se encuentra en los pozos DEC-04 y DEC-05 entre las cotas 3.400 y 3.600 aproximadamente. En el pozo DEC-06 no se encontró sulfatos, en cambio se observan aportes cineríticos y algunas intercalaciones de tobas, lo que indica que el margen del ambiente de depositación de sales estuvo entre los pozos DEC-05 y DEC-06.

Sobre la sucesión evaporítica se encuentra la secuencia volcano-sedimentaria superior, de similares características a la secuencia volcano-sedimentaria inferior.

## **5. Correlaciones**

En base a lo observado en este trabajo y a antecedentes previos, la toba cristalina encontrada en la base de los pozos se puede correlacionar con la Ignimbrita Huasco, definida por Vergara y Thomas (1984). Es así como se le puede asignar una edad miocena media. Tomlinson (2001) propone una edad miocena temprana tardía para esta unidad.

La brecha volcano-sedimentaria puede correlacionarse con los Depósitos Aterrazados (Tt) definidos por Vergara y Thomas (1984), la cual a la vez se puede correlacionar con la unidad 5 de la Formación Altos de Pica (Galli y Dingman, 1962). Se le podría asignar, entonces, una edad miocena tardía-pliocena temprana (Victor, 2004).

La sucesión sedimentaria evaporítica, entonces, tendría una edad máxima pliocena temprana.

Otra correlación posible es entre la secuencia volcano-sedimentaria y los Depósitos Aterrazados (Tpt), descritos también por Vergara y Thomas (1984). Esta correlación no es tan certera pues, si bien, su ubicación y litología son semejantes, según lo

descrito en este trabajo la secuencia volcano-sedimentaria aparece interrumpida por la presencia de depósitos salinos. La edad que se le asigna a los Depósitos Aterrazados es pliocena tardía-pleistocena, lo que es consistente con la edad máxima (pliocena temprana) propuesta para la sucesión sedimentaria evaporítica.

La andesita basáltica dada su litología, continuidad con las rocas que afloran en superficie y su ubicación con respecto a las demás unidades se podría correlacionar con la unidad Estrato-Volcanes II (Vergara y Thomas, 1984), de edad pliocena.

## VI. Conclusiones

En los pozos estudiados, ubicados en la zona nor-este de la Cuenca del Salar de Coposa, se pudieron distinguir distintas unidades estratigráficas, estas son: toba cristalina, brecha volcano-sedimentaria, sucesión sedimentaria evaporítica, toba de ceniza, toba de lapilli, lapillita, brecha volcánica, lava andesítica y andesita basáltica.

En la base de los tres pozos estudiados está la toba cristalina, evidencia de un arco con actividad explosiva. Se puede observar que su techo tiene un ascenso considerable hacia el sur. Esta unidad es correlacionable con la Ignimbrita Huasco, formada en el Mioceno Medio (Vergara y Thomas, 1984).

Sobre la toba cristalina se reconoce una secuencia clástica, la brecha volcano-sedimentaria, donde se reconocen clastos mal seleccionados de diversas litologías indicando la erosión y transporte principalmente de rocas ígneas (intrusivas y extrusivas) ubicadas en los alrededores. Hacia el techo de esta unidad puede reconocerse en un corte transparente (DEC-05-34) anhidrita actuando como cemento, mineral que provendría de las unidades superiores. Esta unidad puede correlacionarse con la unidad Tt definida por Vergara y Thomas (1984) por lo que tendría una edad miocena tardía-pliocena temprana (Victor, 2004).

Sobreyaciendo a la brecha volcano-sedimentaria, se encuentra la secuencia volcano-sedimentaria inferior, una unidad clástica de grano mucho más fino (arena fina a media en general) que presenta evidencias de interacción con cuerpos de agua y la coexistencia de un arco con alta actividad explosiva, lo que se puede observar en las frecuentes intercalaciones cineríticas. En esta unidad también es posible apreciar anhidrita cementando los clastos de una arenisca (CT DEC-05-31).

La sucesión sedimentaria evaporítica, encontrada bajo los 3.600 m s.n.m, corresponde a intercalaciones de sulfatos de calcio y material clástico, el cual incluye ceniza, arena y algunos piroclastos tamaño lapilli. Los sulfatos se presentan masivos y también laminados representando ambientes de sabkha y de lagos playa respectivamente. Los sulfatos corresponden a yeso y a anhidrita, como se pudo observar en los cortes transparentes. Los cristales de yeso son lenticulares y se observan maclas penetrativas simples. Es común encontrar cristales de yeso en proceso de transformación a anhidrita, fenómeno causado fundamentalmente por el enterramiento. El ambiente de la cuenca no fue muy favorable para el depósito de carbonatos, debido tal vez a la composición química de sus salmueras o a la baja alcalinidad de sus aguas.

Sobre los 3.600 m s.n.m. aparece la secuencia volcano sedimentaria superior, de similares características a la encontrada anteriormente, esta unidad marca la desaparición de las condiciones aptas para el depósito de evaporitas.

Sobre esta unidad y hacia el norte se encuentran depósitos asociados a la actividad volcánica efusiva, es decir la andesita basáltica, la cual se puede correlacionar con la unidad Estratovolcanes II (Vergara y Thomas, 1984)

El relleno reciente de la cuenca está constituido por la Ignimbrita Pastillos (Vergara y Thomas, 1984) y depósitos no consolidados superficiales.

## Recomendaciones

Se recomienda actualizar el modelo hidrogeológico de la Cuenca del Salar de Coposa, utilizando la información que se desprende de este trabajo y tomando en cuenta que:

- La toba cristalina (Ignimbrita Huasco) se presenta como una unidad mayormente impermeable, con escasa permeabilidad secundaria. Su techo se encuentra aproximadamente entre los 3.100 y 3.300 m s.n.m., experimentando un ascenso hacia el sur.
- La unidad reconocida sobre la Ignimbrita Huasco, llamada brecha volcano-sedimentaria (Tt), presenta buena permeabilidad primaria, pudiendo tratarse de un acuífero profundo. Su mayor espesor se registra en el norte (pozo DEC-04) con más de 200 m.
- Entre los 3.400 y 3.600 m s.n.m. se encuentra una la sucesión sedimentaria evaporítica donde abundan niveles de baja permeabilidad primaria, como lo son arcillas y sulfatos de calcio.

Se recomienda además, con objetivos científicos, estudiar en mayor profundidad el proceso de transformación observado en los cristales de yeso de la sucesión sedimentaria evaporítica, pues actualmente es un tema poco desarrollado.

## Abreviaciones utilizadas en este trabajo

- Bt: Biotita
- Plg: Plagioclasa
- Qtz: Cuarzo
- Anf: Anfíbola
- Hb: Hornblenda
- Chl: Clorita
- Ep: Epidota
- Fd: Feldespato
- Cpy: Clinopiroxeno
- Opy: Ortopiroxeno
- K-Fd: Feldespato potásico
- Fe-Ox: Óxidos de hierro
- Rej-Or: Rejalgar-oropimente
- CT: Corte transparente
- n//: Nicoles paralelos
- nx: Nicoles cruzados
- Cx: Cristal
- Co.: Cerro

## Referencias

- Allen, P. A., y Collinson, J. D.** 1986. Lakes. En: Sedimentary Environments and Facies. Segunda Edición. Blackwell Scientific Publications. Oxford, p. 63-94.
- Alonso, H. y Risacher, F.** 1996. Geoquímica del Salar de Atacama. Parte 1: Origen de los componentes y balance salino. Revista Geológica de Chile, 23 (2), 113-122.
- Azimi, G. y Papangelakis, V.** 2011. Mechanism and kinetics of gypsum-anhydrite transformation in aqueous electrolyte solutions. Hydrometallurgy, 108, 122-129.
- Berger, I. A., y Cooke, R. U.** 1996. The origin and distribution of salts on alluvial fans in the Atacama Desert, northern Chile. Earth Surface Processes and Landforms, 22, 581-600.
- Charrier, R., Farías, M., y Maksaev, V.** 2009. Evolución tectónica, paleogeográfica y metalogénica durante el Cenozoico en los Andes de Chile norte y central e implicaciones para las regiones adyacentes de Bolivia y Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 65 (1), 5-35.
- Charrier, R., Pinto, L. y Rodríguez, M.P.** 2007. Tectono-stratigraphic evolution of the Andean orogen in Chile. En: Geology of Chile, Chapter 3 (Gibbons, W. and Moreno, T., eds), The Geological Society, London, Special Publication, p. 21-116.
- Cody, R.D., y Cody, A.M.** 1988. Gypsum nucleation and crystal morphology in analog saline terrestrial environments. Journal of Sedimentary Petrology, 58, 247-255.
- Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.** 2008. "Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Nortede Chile, Regiones XV, I, II y III". Etapa 1 informe final parte II: Geología Regional del Altiplano de Chile.
- Dutrizac, J.E.** 2002. Calcium sulphate solubilities in simulated zinc processing solutions. Hydrometallurgy, 65, 109-135.
- Farrah, H.E., Lawrance, G.A., Wanless, E.J.** 2004. Gypsum-anhydrite transformation in hot acidic manganese sulphate solution. A comparative kinetic study employing several analytical methods. Hydrometallurgy, 75, 91-98.
- Freundt, A., Wilson, C. J. N. y Carey, S. N.** 1999. Ignimbrites and Block-and-Ash Flow Deposits. En: Encyclopedia of Volcanoes. Academic Press, San Diego, p.581-600.
- Freyer, D., Voigt, W.** 2003. Crystallization and phase stability of CaSO<sub>4</sub> and

CaSO<sub>4</sub>-based salts. *Monatsh. Chem*, 134, 693–719.

**Galli, C.** 1957. Las formaciones geológicas en el borde occidental de la Puna de Atacama, sector Pica, Tarapacá. *Minerales*, 12 (56), 14-26.

**Galli, C. y Dingman, R.J.** 1962. Cuadrángulos Pica, Alca, Matilla y Chacarilla, provincia de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica. Chile, Nos. 7-10, 125 pp.

**Geohidrología Consultores LTDA.** 2009. Actualización del Modelo Hidrogeológico Conceptual, Cuenca de Coposa. Santiago.

**Geohidrología Consultores Ltda.** 2009. Asesoría hidrogeológica y estratégica en recursos hídricos "Actualización Modelo Hidrogeológico Conceptual Cuenca de Coposa". Santiago.

**Glennie, K. W.** 1970. *Desert Sedimentary Environments*. Elsevier Publishing, New York, 222 pp.

**Hardie, L.** 1967. The gypsum-anhydrite equilibrium at one atmosphere pressure. *The American Mineralogist*, 52, 171-200.

**Hérail, G., Oller, J., Baby, P., Bonhomme, M., Soler, P.** 1996. Strike-slip faulting, thrusting and related basins in the Cenozoic evolution of the southern branch of the Bolivian Orocline. *Tectonophysics*, 259, 201-212.

**Houghton, B. F., Wilson, C. J. N., y Pyle, D. M.** 1999. Pyroclastic Fall Deposits. En: *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, p. 555-570.

**Kilburn, C.** 1999. Lava Flows and Flow Fields. En: *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press. Estados Unidos. San Diego. 291-306.

**Le Roux, J. P.** 2012. A review of Tertiary climate changes in southern South America and the Antarctic Peninsula. Part 2: continental conditions. *Sedimentary Geology*, 247/248, 21–38.

**Li, Z., Demopoulos, G.** 2005. Solubility of CaSO<sub>4</sub> phases in aqueous HCl + CaCl<sub>2</sub> solutions from 283 K to 353 K. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 50(6), 1971-1982.

**McQuarrie, N., Davis, G.** 2002. Crossing the several scales of strain-accomplishing mechanisms in the hinterland of the central Andean fold-thrust belt, Bolivia. *Journal of Structural Geology*, 24, 1587–1602.

**Momenzadeh, M.** 2007. Saline deposits and alkaline magmatism: A genetic model. *Journal of Petroleum Geology*, 13, 341–356.

**Nichols, G.** 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*. Segunda edición. Wiley-Blackwell, Oxford, 419 pp.

**Pettijohn, F.J.** 1957. *Sedimentary Rocks*. Segunda edición. Harper and Bros,



New York, 718 pp.

**Pueyo, J.J., Chong, G., Jensen, A.** 2001. Neogene evaporites in desert volcanic environments: Atacama Desert, northern Chile. *Sedimentology*, 48, 1411 - 1431.

**Ramos, V.** 2008. The Basement of the Central Andes: The Arequipa and Related Terranes. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 36, 289–324.

**Risacher, F. y Fritz, B.** 2008. Origin of salts and brine evolution of Bolivian and Chilean Salars. *Aquat. Geochem*, 15, 123–157.

**Risacher, F., Fritz, B.** 1991. Quaternary geochemical evolution of the salars of Uyuni and Coipasa, central Altiplano, Bolivia. *Chem Geol*, 90, 211–231.

**Sayes, J., 1978.** Cuadrángulos Collacagua y Laguna del Huasco. Provincia de Iquique- 1ª Región. Escala 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería.

**Scholle, P. y Ulmer-Scholle, D.** 2003. A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, Textures, Porosity, Diagenesis. The American Association of Petroleum Geologists, Oklahoma, 459 pp.

**Tomlinson, A., Martin, M., Blanco, N.** 2001. U-Pb and K-Ar geochronology from the Cerro Empexa Formation, 1a and 2a Regions, Precordillera, northern Chile. *South American Symposium on Isotope Geology, Comunicaciones*, 52, Actas I: 169, Pucón.

**Tucker, M.E.** 2003. *Sedimentary Rocks in the Field*. Tercera Edición, Wiley, Oxford, 337 pp.

**Vallance, J.** 1999. Lahars. En: *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, p. 601-616.

**Vergara, H.** 1978. Carta Geológica de Chile N°33, Escala 1:50.000. Cuadrángulo Ujina. Región de Tarapacá. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago.

**Vergara, H. y Thomas A.** 1984. Carta Geológica de Chile N° 59, Escala 1:250.000. Hoja Collacagua. Región de Tarapacá. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago.

**Victor, P.** 2004. Uplift of the western Altiplano plateau: Evidence from Precordillera between 20° and 21°S (northern Chile). *Tectonics*, 23, 1-24.

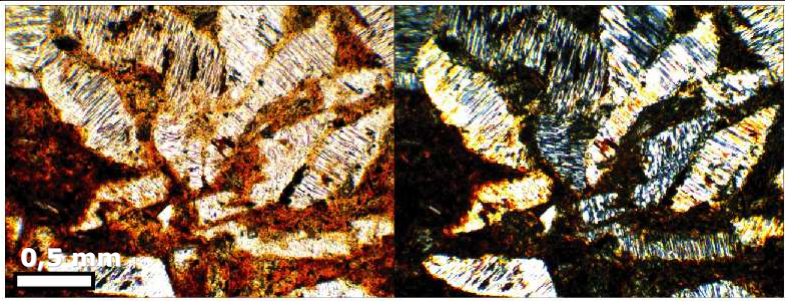
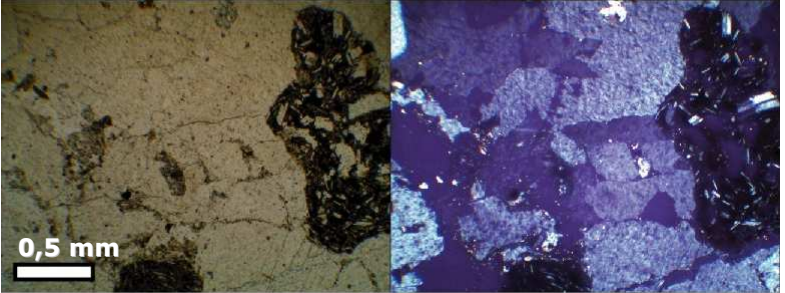
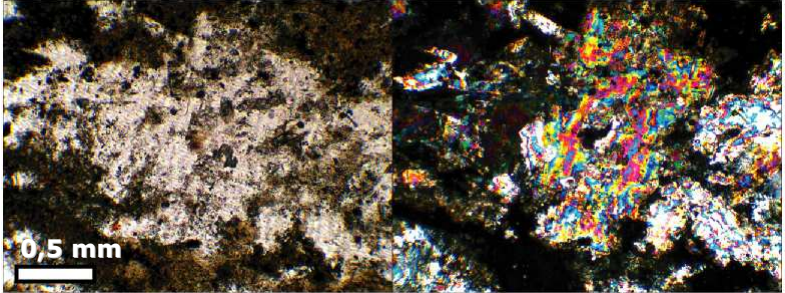
**Wallace, P., y Anderson, A. T. Jr.** 1999. Volatiles in Magmas. En: *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, p. 149-170.

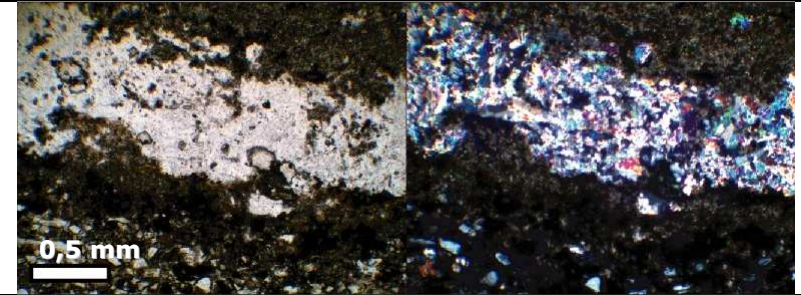
**Warren, J.** 2006. *Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons*. Springer, Würzburg, 1035 pp.

**West, I.M., Ali, Y.A.A. and Hilmy, M.** 1979. Primary gypsum nodules in a modern sabkha on the Mediterranean coast of Egypt. *Geology*, 7, 354-358.

## A. Anexos

### 1. Cortes transparentes

	<p><b>DEC-04-03</b> <b>Unidad:</b> Sucesión sedimentaria evaporítica <b>Profundidad:</b> 180,8 m <b>Clasificación:</b> Yeso-Anhidrita</p>
<p>Se observan cristales de yeso lenticulares (tamaño) alterándose a anhidrita, se puede apreciar en algunos cristales que el reemplazo ha ocurrido parcialmente hacia los bordes pero no en el núcleo del cristal. Este proceso se ve mejor desarrollado en algunos cristales. Se aprecian Fe-Ox.</p>	
	<p><b>DEC-04-04</b> <b>Unidad:</b> Sucesión sedimentaria evaporítica <b>Profundidad:</b> 203 m <b>Clasificación:</b> Yeso</p>
<p>Se observan cristales de yeso, destacando la presencia entre ellos de un clasto andesítico en el que claramente se pueden distinguir cristales de Plg (derecha de la imagen).</p>	
	<p><b>DEC-04-09</b> <b>Unidad:</b> Sucesión sedimentaria evaporítica <b>Profundidad:</b> 341,8 m <b>Clasificación:</b> laminación entre anhidrita y micrita.</p>
<p>Anhidrita y masa fina posiblemente arcilla micrítica, que puede representar una entrada de agua turbia a la sabkha.</p>	

	<p><b>DEC-04B-01</b>  <b>Unidad:</b> Sucesión sedimentaria evaporítica  <b>Profundidad:</b> 374 m  <b>Clasificación:</b> laminación entre micrita y anhidrita</p>
<p>Anhidrita, se aprecia clivaje en 90°, altos colores de interferencia, presencia de micrita, aparece yeso con macla cola de golondrina, pero con bordes cristalinos muy difusos al parecer en un proceso de recristalización.</p>	

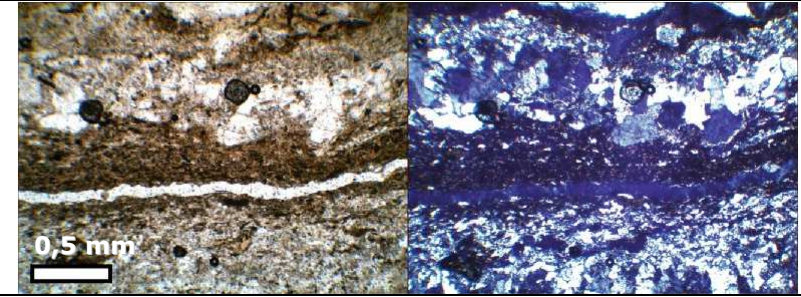
	<p><b>DEC-04B-04</b>  <b>Unidad:</b> Sucesión sedimentaria evaporítica  <b>Profundidad:</b> 385 m  <b>Clasificación:</b> laminación entre micrita y anhidrita</p>
<p>Intercalación de sulfatos (anhidrita, que se presenta con altos colores de interferencia) y micrítica laminados.</p>	

	<p><b>DEC-04B-06</b>  <b>Unidad:</b> Brecha volcano-sedimentaria  <b>Profundidad:</b> 468,4 m  <b>Clasificación:</b> Brecha</p>
<p>En el corte se observa la matriz de la brecha volcano-sedimentaria, compuesta por fragmentos andesíticos y arcilla (esquina superior derecha y a la izquierda al centro).</p>	

	<p><b>DEC-05-04</b>  <b>Unidad:</b> Toba de lapilli  <b>Profundidad:</b> 237,8 m  <b>Clasificación:</b> Toba vítrea</p>
<p>Toba con pómez tamaño lapilli, la matriz es vítrea y se pueden observar en ella esquirlas (shards), y cristales de Cpy y de Qtz.</p>	

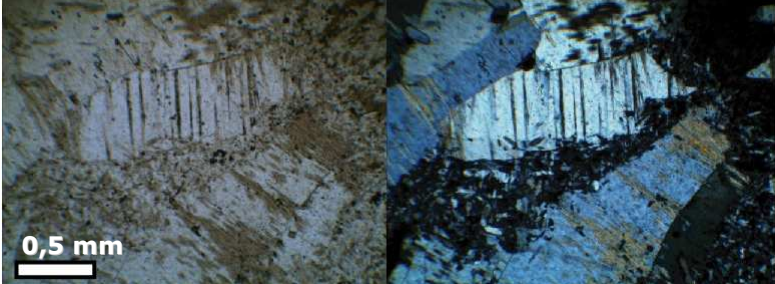
	<p><b>DEC-05-08</b>  <b>Unidad:</b> Sucesión sedimentaria evaporítica  <b>Profundidad:</b> 247,48 m  <b>Clasificación:</b> Yeso-anhidrita</p>
<p>Cxs de yeso que se observan alterándose a anhidrita, pero en proceso, de hasta 1 mm- euhedrales con forma de diamante intercrecidos, amarillo muy claro a translucido a n//, los colores de interferencia van desde blanco a violeta de 1° orden, con presencia de clastos de origen volcánico aparentemente (se ven andesitas con abundantes cristales de plagioclasa), estos se encuentran subredondeados a angulares de hasta 0,4 mm. Hay una capa de 1,5 cm con mayor porcentaje de líticos, donde éstos llegan a ser un 30% de la roca.</p>	

	<p><b>DEC-05-09</b>  <b>Unidad:</b> Sucesión sedimentaria evaporítica  <b>Profundidad:</b> 248,35 m  <b>Clasificación:</b> Yeso-Anhidrita</p>
<p>Cristales de yeso en proceso de reemplazo a anhidrita, amarillo pardo a n // con colores de interferencia que van desde el blanco al violeta de primer orden, de hasta 2,5 mm. Son tabulares y con forma de diamante, en general, se ven fibrosos perpendiculares a su eje mayor, extinción paralela a eje mayor, se observa una vetilla de arcilla. Se observan oquedades triangulares entre cristales.</p>	

	<p><b>DEC-05-11</b>  <b>Unidad:</b> Sucesión sedimentaria evaporítica  <b>Profundidad:</b> 258,4 m  <b>Clasificación:</b> Yeso-anhidrita</p>
<p>Laminación de cristales yeso que van desde los 0,05 mm a los 8 mm, los cristales mayores probablemente se encuentran recristalizados. Y pequeñas láminas de arcilla de hasta 1 mm, que se ve parda con puntos de colores brillantes. Yeso recristalizado. El yeso en general se encuentre inalterado pero en algunos cristales se puede apreciar una incipiente alteración a anhidrita.</p>	

	<p><b>DEC-05-12</b>  <b>Unidad:</b> Sucesión sedimentaria evaporítica  <b>Profundidad:</b> 286,5 m  <b>Clasificación:</b> Yeso</p>
<p>Cristales intercrecidos de yeso con forma de espada, en general maclados (Carlsbad), que en general no se observan alterados a anhidrita, presencia micrita con algo de esparita relleno de oquedades (20%), se observan ciertos cristales de feldspatos (se distingue una Plg maclada y fragmentada) que podrían indicar una fuente ígnea cercana. Clastos mayores se encuentran creciendo hacia zonas micríticas como en una geoda (cxs desde 0,1 hasta 2 mm).</p>	

	<p><b>DEC-05-13</b>  <b>Unidad:</b> Sucesión sedimentaria evaporítica  <b>Profundidad:</b> 307,2 m  <b>Clasificación:</b> Toba de ceniza cristalina</p>
<p>Toba cristalina con abundantes Bt (euhedrales) y Plg (muy fraccionadas), algunas Anf fraccionadas.</p>	

	<p><b>DEC-05-14</b>  <b>Unidad:</b> Sucesión sedimentaria evaporítica  <b>Profundidad:</b> 311,04 m  <b>Clasificación:</b> Yeso-anhidrita</p>
<p>Dos familias de cristales de yeso, unos alargados con formas de diamante de hasta 0,5 mm y otros de hasta 6 mm Con forma de espada. Incipiente reemplazo de anhidrita observable en clastos mayores, con colores de interferencia que van desde amarillo anaranjado hasta magenta.</p>	

		<p><b>DEC-05-15</b>  <b>Unidad:</b> Sucesión sedimentaria evaporítica  <b>Profundidad:</b> 321,46 m  <b>Clasificación:</b> Yeso laminado</p>
<p>Laminación de cristales de yeso de hasta 2 mm. Con reemplazo parcial de anhidrita, de mayor intensidad en algunas capas. Colores de interferencia de blanco a calipso de 1° orden.</p>		

		<p><b>DEC-05-18</b>  <b>Unidad:</b> Sucesión sedimentaria evaporítica  <b>Profundidad:</b> 396,91 m  <b>Clasificación:</b> Arenisca</p>
<p>Se observan clastos volcánicos, cristales de Cpy y en menor cantidad Opy, con cemento de anhidrita (altos colores de interferencia).</p>		

		<p><b>DEC-05-19</b>  <b>Unidad:</b> Sucesión sedimentaria evaporítica  <b>Profundidad:</b> 397,33 m  <b>Clasificación:</b> Anhidrita</p>
<p>Cristales de anhidrita de hasta 2 mm, con algunos cristales de yeso. Todos con formas elongadas, se observan masas de cristales muy fibrosos. Los colores son muy brillantes y están inmersos en una matriz isótropa o amorfa, que es translúcida a n// y opaca a nx (sal?).</p>		

	<p><b>DEC-05-20</b>  <b>Unidad:</b> Lava andesítica  <b>Profundidad:</b> 410,54 m  <b>Clasificación:</b> Lava andesítica</p>
<p>Lava andesítica, dos familias de tamaños, las mayores se aprecian zonadas, se observan algunos cristales Cpy de menor tamaño y Anf.</p>	

	<p><b>DEC-06-01</b>  <b>Unidad:</b> Secuencia volcano-sedimentaria  <b>Profundidad:</b> 239,5 m  <b>Clasificación:</b> Arenisca</p>
<p>Arena volcánica (se pueden distinguir plagioclasas) inmersa en una masa micrítica arcillosa, pobremente compactada.</p>	

## 2. Descripción macroscópica

### 2.1. Pozo DEC-04

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE UNIDADES	MUESTRA
80	90,35	Andesita basáltica	Roca extrusiva gris oscuro, hipocristalina, inequigranular, vitrofírica, grano medio, los cristales corresponden a plagioclasas euhedrales de 1 a 5 mm, representan un gran porcentaje de la roca llegando a superar el 50%, también se encuentra <5% de olivino anhedral. Las vesículas representan menos de un 5% y son de ~2 mm. Es competente, presenta numerosas fracturas rellenas de Qtz y abundantes óxidos amarillos (FeOx).	
90,35	93,5		Lava similar a la anterior pero con vesículas de hasta 1 cm, alargadas verticalmente que representan un 15% de la roca total.	
93,5	107,4		Lava con vesículas de 2-3 mm que llegan a representar un 10% de la roca. Presencia de arcillas amarillas, anaranjadas y rojas en masa fundamental (~2% amarillas, ~10% rojas). Las vetillas disminuyen su espesor (0,5 cm).	
107,4	124,5		Misma roca antes vista, sin vesículas. Presenta mayor número vetillas, pero estas tienen un menor espesor que el visto con anterioridad (2mm). Hasta los 114 m se observa Chl-Ep en las vetillas.	DEC-04-01
124,5	141		Aparecen tramos de 0,5 - 1 m de roca relativamente sana (donde se percibe un aumento de la porosidad), competente, con vesículas de aproximadamente 2 mm, presencia de arcillas amarillo-verdosas en masa fundamental, intercalándose con roca altamente alterada con abundantes arcillas amarillas y cafés (FeOx?).	
141	148		Lava intensamente fracturada, con vetillas de < 1 mm, escasas a nulas vesículas. La masa fundamental se encuentra alterada con arcillas blancas.	



DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE UNIDADES	MUESTRA
148	165,6	Andesita basáltica	Roca volcánica muy porosa, vesículas de hasta 3 mm que llegan a representar el 20% de la roca. La masa fundamental presenta minerales de alteración (verde claro) y Fe-Ox. En tramos de ~1m se presenta muy alterada y disgregada. Luego de un tramo disgregado aparece la siguiente unidad.	
165,6	180,2	Secuencia volcano-sedimentaria	Ceniza argilizada con un 30-40% de líticos tamaño arena fina a media. Hay algunas zonas irregulares endurecidas por cuarzo, además de fracturas rellenas de minerales anaranjados. Presenta laminación de 1-10 mm de una intercalación de capas de ceniza blanca y depósitos principalmente clásticos, representando estos últimos un 30% de la secuencia. Destaca brecha de toba de ceniza en los depósitos clásticos. Los depósitos clásticos son areniscas (y arenas) finas polimícticas, con un 50% de Qtz, 50% de líticos, redondeados y de buena esfericidad. Alrededor de los 167-168 m la ceniza efervesce levemente. Hay niveles de hasta 50 cm donde predomina fuertemente la ceniza.	DEC-04-02
180,2	184,2	Sucesión sedimentaria evaporítica	Evaporitas aparecen intercalándose con la secuencia anterior. Tenemos capas de 20-50 cm de ceniza y arena otras de evaporitas, que se presentan en general cristalinas, con cristales intercrecidos de hasta 3 mm, con hasta un 25% de depósitos clásticos dispersos entre los cristales. Estas evaporitas aparecen intercaladas con depósitos clásticos y ceniza que representan la mayor parte de la secuencia (65%). Destacan rosetas simples (dos cristales lenticulares maclados) de cristales de yeso de entre 2 y 6 mm de un tono amarillo translúcido. En la matriz se reconocen minerales secundarios anaranjados a amarillos (Rej-Or?)	DEC-04-03

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE UNIDADES	MUESTRA
184,2	190,8	Sucesión sedimentaria evaporítica	Intercalaciones de niveles clásticos y sulfatos de calcio, el sulfato es masivo, grano fino < 3 mm. Los componentes clásticos están conformados por arena muy fina, redondeada, polimíctica, compuesta por ~60% de Qtz y ~ 40% de líticos. Además hay cierto porcentaje (<10%) de finos (arcilla- ceniza argilizada?).	
190,8	195		Secuencia similar a la superior pero con la presencia de vetillas de yeso cristalino, grano grueso, euedral, de hasta >1cm, además de otras vetillas de granos más fino, más abundantes. La porción clástica corresponde a un arenisca similar a la descrita anteriormente, pero destaca el aumento de arcilla parda-clara grisácea, llegando a ser más de un 10% de la porción clástica. También es posible observar sulfatos de calcio masivos, grano fino (< 2 mm) mezclados con los depósitos.	DEC-04-07
195	202,5		Sulfatos con aportes clásticos, incipiente laminación de hasta 1 cm. Los cristales de sulfato son de grano fino a medio (1-4 mm), el material clástico es anguloso, tamaño limo a arena media, principalmente Qtz (~75%), con presencia de arcilla gris pardo. Se observa un par de vetillas como las vistas anteriormente.	
202,5	208,2		Secuencia clástica grano decreciente, que grada de arena gruesa a grava hacia la base de la secuencia, los clastos corresponden a líticos volcánicos (lavas): 20%, pómez: 20%, cristales Plg: 10%, la matriz se compone de ceniza: 20% líticos polimícticos de 1 a 2 mm y un 15 % de ceniza fina, además en la matriz se presentan sulfatos (15%).	DEC-04-04

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE UNIDADES	MUESTRA
208,2	219,1	Sucesión sedimentaria evaporítica	Secuencia de sulfatos de calcio masivos a laminados, con algunas intercalaciones clásticas de arena fina polimíctica, y material piroclástico (ceniza fina blanca) Hacia abajo este tipo de aporte va aumentando, llegando a predominar, creando así una transición a la siguiente unidad. Los clastos corresponden a líticos de hasta 2 mm, polimícticos y algo de ceniza, además de pómez de hasta 4 mm. La roca en general es competente. Efervescencia en zonas arcillosas dentro de vetillas y oquedades, reconociendo la presencia de carbonatos.	
219,1	219,9	Lapillita	Toba anterior con algunos sulfatos en la matriz. Líticos: lavas (40%), pómez de hasta 4 mm (25%), matriz: ceniza+ limo (20%), sulfatos: 15%.	
219,9	246,6		Lapillita vítrea, muy poco competente, compuesta por pómez (50-65%) tamaño lapilli fino a grueso (1 clasto tamaño bloque), distintos tipos de lavas (20%) subangulares y aproximadamente un 5% de clastos de origen evaporítico, se observan además cristales de Bt.	
246,6	249,6	Sucesión sedimentaria evaporítica	Evaporita masiva, incipientemente laminada, compuesta por cristales finos de aproximadamente 2 mm. Cada medio metro aparecen intercalaciones de hasta 20 cm de la secuencia anterior, donde se aprecian menos clastos de pómez (65% líticos, 20% pómez).	
249,6	258,5		Secuencia de sulfatos masivos, con cristales de entre 1 y 5 mm, con importantes intercalaciones donde priman los aportes clásticos, representando estos aproximadamente un 45%. Los aportes clásticos corresponden a arenas muy finas, compuestas mayoritariamente por Qtz con un ~15% de líticos y cerca de un 15% de arcillas pardas.	

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE UNIDADES	MUESTRA
258,5	261,2	Sucesión sedimentaria evaporítica	Secuencia similar a la anterior, pero con predominancia de los depósitos clásticos, llegando a ser éstos el 85% del depósito.	
261,2	268,3		Secuencia evaporítica, donde destaca: 1,5 m de yeso masivo con intercalaciones clásticas "rugosas" de < 2mm, 1,7 m de arcilla (ceniza alterada?) finamente laminada (<1 mm) con presencia de Rej-Or y algunas capas de yeso. 5,5 m de sulfatos de calcio masivos con intercalaciones clásticas gris oscuro, compuestas por arena fina y arcilla, además de arcillas blancas (ceniza alterada?) 15 cm de sulfatos con laminación de 1 mm. Presencia de halita/ silvita en zonas arcillosas.	
268,3	277,6		Sulfatos masivos, con cristales de hasta 2 cm, intercalados con depósitos clásticos similares a los vistos más arriba. Fuerte alteración a arcillas amarillo-anaranjadas (FeOx?). Intercalaciones de hasta 10 cm de arenas finas arcillosas (abundante arcilla parda). Presencia de halita en algunos tramos, perceptible solo por sabor.	
277,6	280		Secuencia similar a la anterior pero con presencia de mineral negro, terroso, presumiblemente pirolusita, además de arcillas rojas (FeOx?).	

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE UNIDADES	MUESTRA
280	320,7	Sucesión sedimentaria evaporítica	<p>Secuencia sedimentaria, evaporitas masivas grano fino (1 mm), intercaladas con depósitos clásticos gris oscuro (ceniza con algunos cristales de Bt) (2 intercalaciones de 40 cm y 1 m), además es posible encontrar arcillas (ceniza alterada?) finamente laminadas. Destacan dos tramos de 1,5 y 0,3 m de yeso laminado (1 mm). Entre los metros 298 y 299 aparecen importantes intercalaciones clásticas. Se observan zonas con distintos grados de alteración a minerales amarillos y verdes (limolita? Chl-Ep?). Los porcentajes de los depósitos encontrados son aproximadamente: 30% arcillas laminadas, 15% ceniza clara, 10% sulfatos laminados, 15% depósitos clásticos y 30% de sulfatos masivos. En algunos tramos arcillosos se percibe sabor a sal, reconociendo la presencia de halita. Entre las laminaciones arcillosas, en las interfaces se observa efervescencia ante HCl, identificando la presencia de carbonatos.</p>	DEC-04-05
320,7	336,5		<p>Sulfatos masivos predominan (65%) y se presentan intercalados con secuencias arcillosas laminadas (1 mm) y masivas que representan aproximadamente el 35% de la secuencia. Los sulfatos masivos tienen cristales de hasta 2 mm y presentan aportes clásticos de arena fina - ceniza. Las secuencias arcillosas también presentan distintas cantidades de sulfatos, que los cementan. A partir de los 334 m se percibe sabor a silvita-halita en las zonas arcillosas.</p>	

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE UNIDADES	MUESTRA
336,5	352	Sucesión sedimentaria evaporítica	Secuencia similar a la anterior, pero se observa blanquecina, alterada. Se observan intercalaciones clásticas gris oscuro, de arena fina polimíctica, compuesta principalmente por Qtz (~75) y el resto de líticos, además de algo de arcillas (<5%) ( Se observan dos tramos de 50 cm cada uno). Además aparece una intercalación de ceniza blanca (345,60-346,20). Más abajo se observa una intercalación de 1,5 m de ceniza con abundante Bt (30%) euhedral de 1 mm que da tono gris a la ceniza (349,10-351,20). Estas intercalaciones aparecen disgregadas. Se distingue silvita? en zonas arcillosas.	DEC-04-09
352	368,1		Secuencia laminada de arcillas (ceniza?), depósitos clásticos y algunas capas de sulfato, no se observan mayores tramos de sulfatos masivos. La secuencia en general se presenta alterada (blanquecina) y fragmentada. Entre los 351 y 356 m se percibe sabor a sal en las zonas arcillosas, hacia abajo se va haciendo más tenue y se mezcla con silvita.	DEC-04-10
368,1	379,8		Secuencia compuesta por intercalaciones de hasta 1,5 m de sulfatos masivos (50% de la secuencia) con altos aportes clásticos diseminados y niveles arcillosos laminados a masivos con un leve sabor a halita/silvita. Presenta algunos tramos altamente alterados y disgregados. Hay algunos niveles clásticos gris oscuro conformados por arena grano fino a medio, polimíctica). Entre los 376,73 y 377,29 m aparece una secuencia con arcillas negras-grisáceas.	DEC-04B-01 DEC-04B-02

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE UNIDADES	MUESTRA
379,8	397	Sucesión sedimentaria evaporítica	Secuencia compuesta por un 40-50% de sulfatos masivos, con alto aporte de depósitos gris diseminado, intercalada con niveles arcillosos laminados (2 mm), entre los cuales se pueden encontrar láminas de sulfatos (DEC-04B-04). Las secuencias arcillosas se encuentran altamente disgregadas. Destaca una intercalación de arcillas negras laminadas, muy fraccionadas (DEC-04B-03), además de 2 intercalaciones de 30 cm aproximadamente de ceniza blanca muy fina, con escasos cristales de Bt <1 mm a los 390 y 395,80 m, también aparece una intercalación de arena fina polimíctica en matriz arcillosa (ceniza alterada?)	DEC-04B-03 DEC-04B-04
397	402,5	Toba de ceniza	Toba de ceniza, en cuya base y techo tenemos evaporitas intercalándose de forma muy poco homogénea y rugosa. La toba se compone por 5% de líticos (lavas), 5% de pómez, ambos tipos de fragmentos angulosos subredondeados de hasta 2,5 cm, el resto corresponde a una matriz de ceniza	
402,5	429		Toba de ceniza lítica, con arena muy fina a muy gruesa, primando la muy fina a fina, la arena es polimíctica, compuesta por aproximadamente un 50% de Qtz y un 50% de líticos, se distingue arcilla en la matriz, con algunas láminas de ceniza blanca. La secuencia presenta laminación entre 1 y 10 mm donde se distinguen distintas proporciones de arcillas y distintas granulometrías. Alrededor de los 427 m presenta 2 niveles evaporíticos menores (entre 2 y 5 cm). Algunas capas se encuentran alteradas adquiriendo coloraciones amarillas y verdes, esto ocurre preferentemente en zonas de alto contenido de arcilla.	DEC-04B-05

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE UNIDADES	MUESTRA
429	440,2	Brecha volcano-sedimentaria	Roca clástica, competente, en general, aunque en algunas zonas es disgregable, presenta clastos angulosos a subredondeados, clasto soportada. Los clastos son polimícticos, de origen volcánico, se pueden reconocer numerosos clastos de lavas andesíticas de distintas tonalidades (gris azulado, gris oscuro, rojo y morado; en ese orden de abundancia). La mayor parte de los clastos es tamaño gravilla fina a grava, aunque se puede encontrar algo de ripio (5%) y bloques de hasta 47 cm (15%). La matriz representa un ~10 % de la roca y está compuesta por arena polimíctica, cristales de Qtz y Fd, además de arcilla gris parda ( en ese orden de abundancia)	
440,2	446,7		Secuencia similar a la anterior, pero con alteración a óxidos rojos (FeOx?) y a arcillas blanco-amarillas. Porcentajes según granulometría (del total de clastos): gravilla fina 20%, gravilla 40%, grava 25%, ripio 15%. Además de aproximadamente un 10% de matriz.	
446,7	490,8		Depósito compuesto por clastos angulosos, clasto soportado. Aparecen clastos de toba de ceniza (blanca), todos ellos de tamaño gravilla a grava. Porcentajes según granulometría (del total de clastos): gravilla fina 15%, gravilla 20%, grava 40%, ripio 20%, bloques 1 a 5%, notándose cierto aumento en el tamaño de grano. La matriz representa entre un 10 y un 15% de la roca total y está compuesta principalmente por arena fina a gruesa con clastos líticos de Qtz y Fd, además de arcilla (aproximadamente 10% de la matriz). La roca en general es compacta (aunque no cementada) con tramos de hasta 20 cm disgregados. Se observan además algunos tramos minoritarios matriz soportados	DEC-04B-06



DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE UNIDADES	MUESTRA
490,8	498,9	Brecha volcano-sedimentaria	Secuencia similar a la superior, pero con mayor ocurrencia de clastos tamaño grava y ripio. Los clastos representan aproximadamente el 90% de la roca y se distribuyen granulométricamente de la siguiente forma: gravilla fina 10%, gravilla, 10%, grava 40%, ripio 40%. La matriz como la antes vista se compone de arena y arcilla.	
498,9	578,6		Brecha similar a la anterior, pero con mejor distribución de los porcentajes de tamaño de clastos. La roca se observa muy alterada con presencia de arcillas rojas y anaranjadas (FeOx?), arcillas blancas y zonas cloritizadas (clastos blancos presentan mayor alteración), éstas últimas se observan más cementadas. La matriz se observa argilizada. El porcentaje de matriz aumenta, tornándose una roca matriz soportada. Entre los 521 y 523 m se observan cristales de Bt en la matriz, y conjuntamente un mayor grado de cementación, las Bt, luego de este tramo tienen una menor frecuencia. Hacia los 540 m comienzan a aparecer pómez de hasta 6 cm ricas en Anf, y a la vez comienzan a aparecer Anf en la matriz (cristales de entre 1 y 2 mm), esto se observa principalmente hasta los 550 m. Los clastos se distribuyen granulométricamente de la siguiente manera: gravilla fina 10%, gravilla 30%, grava 50%, ripio 10%, entre los 556 y 558,5 destaca la predominancia del tamaño ripio, llegando a representar el 50% de los clastos. La secuencia es compacta y medianamente competente, con algunos tramos disgregados. Presenta vetilleo de Qtz.	DEC-04B-07

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE UNIDADES	MUESTRA
578,6	596,9	Brecha volcano-sedimentaria	Secuencia similar a la anterior pero muy alterada, aumenta la cantidad de ripio: gravilla fina 10%, gravilla 15%, grava 50% y ripio 25%. Se presenta en general disgregada, con alto porcentaje de arcilla y finos > 10%. La alteración en los primeros 2 metros es muy fuerte predominando las arcillas rojas (FeOx?) pero hacia la base va disminuyendo esta alteración paulatinamente mientras aumenta sutilmente la clorita. Presenta vetillas de Qtz	
596,9	644,2		Secuencia muy similar a la anterior, predomina la cloritización, en general es compacta, aunque disgregable, con algunos tramos disgregados. Aumenta la cantidad de clastos de lava rojo oscuro, algunos de los clastos (mayoritariamente las lavas gris claro) presentan sus bordes y fracturas alterados tomando una coloración anaranjada. Presencia de Qtz en vetillas y con frecuencia rodeando a clastos. Destaca una intercalación de 15 cm de brecha compuesta por clastos de la unidad ubicada inmediatamente más abajo (Ignimbrita). La matriz es similar a la vista en secuencias anteriores y representa aproximadamente el 10 % de la unidad, hasta los 630 m se distinguen en ella escasos clastos de Bt.	

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE UNIDADES	MUESTRA
644,2	678,75 (Fin de pozo)	Toba cristalina	Toba rosada, compacta, medianamente competente y algo disgregable. Presencia de fracturas rellenas con Qtz y arcillas de entre 0,5 y 1 cm, ente los 675 y 677 m la frecuencia de fracturas aumenta a tal nivel que la roca se ve brechizada. Hacia la base se observa epidota asociada a vetillas. Presenta zonas alteradas de coloración rojiza además de presencia de cloritización conviviendo (más fuerte en pómez) y algo de epidotización. La roca promedio posee textura piroclástica, está compuesta por un 20% de pómez tamaño lapilli fino, escasos a nulos líticos ígneos, cristales de Qtz y Bt de entre 1 y 2 mm, la matriz representa un 20% de la secuencia y está compuesta por ceniza. Es posible observar Bt pseudomorfos de Anf con distintos niveles de oxidación. Algunas de las pómez se encuentran aplanadas.	DEC-04B-08

## 2.2. Pozo DEC-05

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
200,8	206,2	Toba de lapilli	Roca altamente disgregada, compuesta por una matriz de ceniza (con cristales Bt, Plg, y K-Fd) y fragmentos tamaño lapilli (líticos y pómez). Se puede interpretar como una zona de falla.	
206,2	242,5		Toba de lapilli. Entre un 25 y 65 % (50 % en general) de sus componentes es tamaño lapilli, de ellos un 60 a 75% son pómez, 40 a 25 % son líticos polimícticos. La ceniza contiene cristales de Qtz (10%), K-Fd (5%), Plg (5%), Bt (15%), vidrio (60%), líticos (5%). Las pómez son fibrosas y presentan oquedades (estructuras de desgasificación), pudiéndose observar algunas fiammes, tienen mala esfericidad y son de subangulares a subredondeadas. Los líticos son principalmente lavas andesíticas gris verdosas y riolitas rosadas, estos clastos son angulares y de nula esfericidad. Zona de alteración a arcillas amarillas en los 207,95 m (F. 512-513).	DEC-05-1 DEC-05-2 DEC-05-3 DEC-05-4
242,5	247,4	Secuencia volcano-sedimentaria	Hasta los 244,85 m aparece una toba de ceniza cristalina, en tramos vítrea, con fragmentos de pómez. Depósito compuestos por ceniza (Bt, Qtz, K-Fd Plg, líticos y vidrio) además de algunos fragmentos tamaño lapilli, principalmente pómez con muy escasos líticos (<5%). Destaca un tramo de 35 cm aproximadamente de depósitos negruzcos (arena fina a limo), laminados con intercalaciones blanquecinas (520-521). Un poco más abajo se observa una zona de 15 cm donde encontramos pómez tamaño lapilli (0,7-1 cm, redondeados -> re-trabajo en ambiente lacustre) inmersos en una matriz de arena fina a limo, gris oscuro, laminados (1-8 mm) F.519. En general la secuencia se encuentra altamente fracturada y disgregada, pudiéndose observar estrías de fallas 514->518). En el inicio de la secuencia se distingue una fuerte alteración clorítica que hacia abajo se aprecia de forma incipiente.	DEC-05-5 DEC-05-6 DEC-05-7

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
247,4	247,5	Sucesión sedimentaria evaporítica	Secuencia de sulfatos (yeso?) laminada y levemente plegada.	DEC-05-8
247,5	247,5		Capa negra clástica con fragmentos de Bt, se observan fragmentos tabulares inmersos en las secuencia anterior.	DEC-05-8
247,5	247,7		Capa de sulfatos con algunos aportes clásticos oscuros, plegada.	
247,7	247,9		Toba de ceniza.	
247,9	250		Secuencia de sulfatos no estatificados intercalados con capas oscuras clásticas plegadas (arena fina polimíctica), las cuales en sus bordes frecuentemente presentan carbonatos en forma de vetilla, blanco amarillento. Se observan cristales euédricos de yeso de 2 mm a 3 cm.	DEC-05-9
250	251,9		Toba de lapilli. Sus cristales máficos se encuentran muy alterados, presencia de Fe-Ox y arcillas blancas. Los líticos (tamaño lapilli) no se presentan tan alterados.	
251,9	254,9		Secuencia de sulfatos masivos a estratificados (1-1,5 cm) presenta intercalaciones con un mayor aporte de depósitos clásticos que representan un 5% de la secuencia.	
254,9	255,2		Toba de ceniza, con cristales de Bt.	DEC-05-10
255,2	259,6		Secuencia de evaporitas (sulfatos) laminados (1-8mm), con zonas de mayor aporte clástico asociados a algunos carbonatos. Algunas zonas se encuentran muy plegadas y otras con sus láminas completamente fisibles.	DEC-05-11
259,6	261,3		Secuencia evaporítica (sulfatos) estatificada, sin presencia de carbonatos.	
261,3	265,8		Secuencia evaporítica masiva cristalina, con carbonatos sólo en fracturas. Láminas rugosas con mayor aporte de depósitos clásticos. Carbonatos sólo en fracturas.	

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
265,8	266,9	Sucesión sedimentaria evaporítica	Secuencia evaporítica (sulfatos) incipientemente estratificada (0,7-1,5 cm) con importante aportes clásticos tamaño arena fina, dispuestos en niveles oscuros. Escasos niveles muestran presencia de carbonatos. En la base se observan arena de muy fina a muy gruesa. Estratificación cruzada en arena.	
266,9	268,1		Secuencia sedimentaria con zonas de predominancia de sulfatos y otras donde predominan los aportes clásticos. Rugosa. Presenta algunas intercalaciones de carbonatos.	
268,1	268,4		Toba de ceniza vítrea.	
268,4	270,7		Secuencia laminada (5mm) plegada, con sulfatos y aportes clásticos.	
270,7	272,1		Secuencia sedimentaria, con sulfatos y depósitos clásticos, estratificada (1 cm).	
272,1	272,2		Secuencia sedimentaria laminar (2-4mm) fuertemente plegada y fracturada. Láminas fisibles.	
272,2	273,8		Secuencia de sulfatos masivos, y algunos (2) estratos de areniscas oscuras (de entre 3 y 4 cm), un espesor de 10 cm se encuentra finamente laminado.	
273,8	275,3		Arenisca gris incipientemente laminada, clastos tamaño arena fina a limo, con cristales de Bt y Qtz. Fácilmente disgregable, se observan clastos de sulfatos de hasta 5 cm inmersos en la matriz de arena.	
275,3	299,8		Secuencia laminada a estatificada, deformada, compuesta principalmente por depósitos evaporíticos y secuencias clásticas. Las láminas desde 1mm a estratos de 2 cm. Las zonas laminadas son muy fisibles. Hay capas alteradas, blancas arcillosas, con presencia de Rej-Or muy disgregables.	DEC-05-12

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
299,8	302,7	Sucesión sedimentaria evaporítica	Depósito de ceniza compuesto principalmente por vidrio (muy angular) y algunos cristales de Bt, no consolidado a poco consolidado, no cementado. Masivo hacia su base e intercalado con sulfatos hacia la parte superior.	
302,7	306,2		Secuencia estratificada (1-2 cm) a laminada (1 mm), presenta dos intercalaciones mayores de ceniza. Hacia abajo aumentan las intercalaciones finas de toba y sulfato, hay interacción entre estos dos tipos de depósitos, sulfatos cementan tobas.	
306,2	307,5		Toba de ceniza con cristales de Bt.	DEC-05-13
307,5	341,3		Secuencia evaporítica estratificada (2 cm) a laminada (1mm) deformada en algunas zonas. Fracturas con Rej-Or y yeso recristalizado. Hay estratos con alto aporte de ceniza. Presencia de carbonatos. Se observa epidota en vetillas y pervasiva. Vetillas de yeso-anhidrita. Hacia abajo se vuelve menos evaporítico y aparece más limo-arcilla blanca.	DEC-05-14 DEC-05-15
341,3	373,6		Secuencia estratificada (2-4 cm) a laminada (1-3 mm) similar a la anteriormente descrita, pero con presencia de vetillas de Qtz La secuencia está constituida por Sulfatos, aportes clásticos oscuros y zonas más arcillosas (de mayor fragilidad). Hay cristales de Bt en toda la secuencia. Hay láminas muy epidotizadas. Se observa recristalización de yeso anhidrita, y algunos tramos de mayor dureza (silicificados?). Hacia la base aumenta la cantidad de aportes clásticos. Destaca la presencia a los 361,95 de material disgregable gris (arcilla?) con cristales euhedrales amarillo-anaranjado.	DEC-05-16
373,6	375,6		Secuencia sedimentaria brechosa, oscura, matriz con alta presencia de Bt y clastos de la secuencia sedimentaria (tobas y sulfatos).	DEC-05-17
375,6	376,2		Zona altamente alterada, con presencia de mineral amarillo FeOx en fracturas.	

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
376,2	385,1	Sucesión sedimentaria evaporítica	Zona brechizada, matriz oscura (gris pardo) con presencia de Bt. Los clastos son angulosos, de hasta 5 cm, blancos (tobas- sulfatos). Presencia de rejalgar-oropimente. Epidota en pátinas.	
385,1	387,9		Secuencia sedimentaria (sulfatos), escasamente clástica con presencia de oquedades. Rejalgar y oropimente en pátinas.	
387,9	390,9		Secuencia clástica de matriz parda arcillosa.	
390,9	393		Secuencia estratificada, evaporítica - clástica, se torna brechosa hacia abajo.	
393	397		Secuencia finamente laminada, fisible en algunas zonas. Con vetillas de Qtz Presencia de Chl-Ep. Hay láminas arcillosas, y otras con un importante componente clástico y mayor granulometría (arena?? gruesa con algunos clastos de gravilla).	DEC-05-18
397	401,3		Secuencia evaporítica, muy cristalina (posiblemente con Qtz), laminada (2mm) a estratificada (1,5 cm). Hacia la base presenta tramos alterados, altamente disgregables, presencia de epidota.	DEC-05-19
401,3	406,1	Alteración	Secuencia altamente alterada, obliteración de la roca original, disgregable, con presencia de arcillas, rejalgar-oropimente y epidota pervasiva.	
406,1	407,7	Lava andesítica	Brechización de roca ígnea, vetilleo intenso de Qtz, alteración pervasiva, arcillas y epidota.	
407,7	414,8		Roca ígnea (Anf y Plg) alterada en tramos de 10 a 50 cm, fracturada y epidotizada.	DEC-05-20
414,8	415,6		Brecha con clastos de la unidad anterior en matriz arcillosa, (Fe-Ox). Los clastos son monomícticos de 1 a 20 cm. Están alterados diferencialmente, algunos se observan rojizos. Hacia la base aparece una secuencia de 30 cm sólo de matriz.	
415,6	416,6		Roca ígnea similar a la descrita anteriormente (407,65-414,75), pero menos epidotizada y sin fracturamiento.	



DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
416,6	417,4	Lava andesítica	Brecha similar a la encontrada anteriormente, pero con clastos de menor tamaño y mayor cantidad de matriz (matriz soportada). Alto contenido de arcillas.	
417,4	424,7	Sucesión sedimentaria evaporítica	Secuencia evaporítica laminada (1-2 mm), algo deformada y alto contenido de arcillas. Se observan láminas de minerales evaporíticos (sulfuros) y algunas láminas más oscuras con mayor aporte clástico. Aparecen minerales anaranjados (Fe-Ox o Rej -Or?).	DEC-05-21
424,7	428,6	Alteración	Capa totalmente alterada a arcillas blancas, éstas se encuentran endurecidas pero muy fracturadas, con algunas capas más oscuras y vetillas amarillas (Fe-Ox o Rej -Or?). Se observa cuarzo cristalino, posiblemente proveniente de vetillas.	DEC-05-22
428,6	429,7	Secuencia volcano-sedimentaria	Secuencia sedimentaria color gris pardo, con presencia de arena grano medio a limo, polimíctica, subangular, con cristales de Bt. En los primeros cm de la secuencia se observan vetillas de Qtz. Toba?	DEC-05-23
429,7	430,1		Secuencia sedimentaria con una matriz similar a la anterior pero algo más amarillenta, donde aumenta la ocurrencia de vetillas de Qtz. Aparecen clastos angulosos de hasta 5 cm, polimícticos (volcánicos). Hacia abajo aumenta el % de clastos, pasando de un 20% a un 60%. Se observan tramos de 15 a 30 cm de arenisca fina a limo, laminada sin clastos.	
430,1	446,4		Secuencia de areniscas polimícticas, finas, subangulares. Presenta laminación (0,5 - 1 cm) con alto vetilleo de Qtz. Presenta algunas capas de arcillolita. Destaca un tramo ubicado en medio de la secuencia, en el que se encuentran insertos en la matriz clastos polimícticos angulosos, de hasta 1 cm, y que llegan a conformar casi un 10 % de la roca. Se observa fuerte vetilleo de Qtz y subordinadamente de carbonato. Presencia de carbonatos en la matriz (efervesce).	DEC-05-24 DEC-05-25

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
446,4	447,4	Secuencia volcano-sedimentaria	Secuencia sedimentaria con matriz de arena fina y hasta un 30 % de clastos subangulares a subredondeados, polimícticos de hasta 7 cm. Presencia de vetillas de Qtz y carbonatos, carbonatos en matriz.	
447,4	452,9		Secuencia sedimentaria de areniscas finas polimícticas alteradas (blanquecinas). Vetilleo de Qtz y carbonatos, presencia de carbonatos en algunas zonas de la matriz.	
452,9	454,1		Secuencia sedimentaria de areniscas finas laminadas, con presencia de arcillas en la matriz. Vetillas de Qtz y carbonatos, carbonatos en matriz.	DEC-05-26
454,1	454,5		Secuencia sedimentaria de areniscas finas laminadas, con presencia de arcillas y un 35% de clastos polimícticos subangulares de hasta 5 cm.	
454,5	464,1		Areniscas muy finas a limolitas polimícticas, subredondeadas, laminadas (2-10 mm), donde se encuentra una capa de carbonatos. La matriz se presenta en general carbonatada y con algunas vetillas de Qtz.	
464,1	466,5		Areniscas grano medio, principalmente monomícticas, blancas, clastos subredondeados. Cristales de Bt.	DEC-05-27
466,5	495,1		Areniscas (grises) aumentan su granulometría: arena gruesa a fina, gris, polimíctica. Se encuentran capas arcillosas. Esta secuencia se presenta laminada con gruesas vetillas de Qtz. Se Incluyen también en esta secuencia tobas de ceniza muy fina con cristales de Bt Hacia abajo la secuencia se va tornando mas parda, con un mayor componente de arcillas en la arenisca. Entre los metros 492,25 y 493,00 destaca la alta presencia de Bt.	DEC-05-28 DEC-05-29 DEC-05-30

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
499,4	503,5	Secuencia volcano-sedimentaria	Secuencia compuesta por ceniza, arena y arcilla en distintas proporciones, formando dominios de entre 40 cm y 1 m, en general son masivas, con escasa laminación (de hasta 1 cm). Presencia de vetillas de Qtz. A los 500 m aparece una intercalación de 2 cm de arena gruesa, polimíctica, de clastos subredondeados y escasa esfericidad. Presencia de arcillas pardas.	DEC-05-31
503,5	505,4		Mayor desarrollo de la laminación, aparecen capas con un mayor componente clástico y capas más arcillosas. La matriz efervesce ligeramente. Las capas clásticas corresponden a arenas finas polimícticas de clastos subredondeados con cera de un 80 % de Qtz y el resto de líticos.	DEC-05-32
505,4	508		En la secuencia tenemos un mayor porcentaje de arcilla blanca (ceniza argilizada?). Aparecen algunas vetillas de Qtz. Zonas arcillosas efervescen.	
508	508,9		Ceniza con alta presencia de Bt. La ceniza se encuentra en pequeñas esferas de ~1 mm (probablemente producto de la interacción con el agua).	
508,9	514,4		Principalmente cenizas blancas muy finas, con un ~15% de aportes clásticos (arena 75% Qtz 25 % líticos). Hay laminación con un espesor de hasta 2 mm. Presencia de vetillas de Qtz. Zona fuertemente argilizada asociada al mayor vetilleo de Qtz. Zonas arcillosas efervescen.	DEC-05-33
514,4	516,1		Ceniza gris medio, con gran cantidad de Bt. Es masiva. Presenta un componente clástico compuesto por Qtz y líticos en iguales proporciones.	
516,1	519,6		Ceniza y arena laminadas en capas de hasta 1 cm. Aumenta el componente clástico, con respecto a lo visto en unidades superiores. El componente clástico se trata de arena muy fina, con sectores de mayor granulometría. La laminación se encuentra algo deformada.	

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
519,6	523,2	Secuencia volcano-sedimentaria	Secuencia masiva, de areniscas muy finas a muy gruesas, con algunos clastos tamaño gravilla fina (3-4 mm). Predomina la arena media. Los porcentajes de ceniza varían, incluso pudiendo predominar en algunos tramos. La consolidación es buena en general, con pequeños segmentos disgregables. La arena está compuesta por un 60 % de Qtz y un 40 % de líticos.	
523,2	523,3		Arcilla parda con un pequeño porcentaje de arena media polimíctica	
523,3	526,3		Ceniza (arcilla) y arena dispuestas en láminas de hasta 1 cm. Las arenas son de finas a gruesas. En las cenizas predominan las cenizas blancas las que presentan alteración de Chl y Ep. Existe un nivel de 10 cm con alta presencia de Bt (a los 524 m). Predomina la ceniza por sobre la arena (70-30 %). Presencia de vetillas de Qtz.	
526,3	528,3		Arena muy fina a gruesa (predomina la granulometría más fina). Es polimíctica, mal seleccionada, con clastos subredondeados y esfericidad media. Presencia de un 5% de arcilla.	
528,3	528,7	Brecha volcano-sedimentaria	Brecha matriz soportada, con clastos de 3 mm a 2 cm, polimícticos, subangulosos. Los clastos son volcánicos (lavas e ignimbritas) además de granitoides. La matriz es arena fina con algo de arcilla parda. Los clastos representan un 30 % de la secuencia. Los clastos	
528,7	529,7		Brecha similar a la anterior pero clasto soportada. Clastos tamaño gravilla fina a grava. Los clastos, que representan un 85 % de la secuencia se conforman por 40% gravilla fina, 40% gravilla, 20% grava. Los clastos están compuestos por lavas oscuras, algunas ignimbritas rojas y granitoides. La matriz se compone por un 85% de arena fina y 15% de arcilla. La arena se compone por un 65% de Qtz y el resto de líticos.	DEC-05-34

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
529,7	530,2	Brecha volcano-sedimentaria	Brecha de similares características a la vista anteriormente, pero con mayor porcentaje de gravilla fina (60%), la gravilla representa un 30% y la grava un 10%.	
530,2	532,1		Arenisca similar a la anterior, pero con una disminución de la ceniza. Presencia de laminaciones muy finas de arcillas pardas en la arena.	
532,1	533,5		Intercalación de areniscas medias y brechas clasto soportadas (gravilla fina). Los estratos son de entre 15 y 30 cm. También aparecen algunas láminas de hasta 1 cm de arcillas pardas.	
533,5	541,1		Brechas clasto soportadas. Gravilla fina 50 %, gravilla 35%, grava 15%. La matriz, que representa un 15% de la secuencia se compone de arena en su mayor parte y algo de arcilla.	
541,1	541,5		Arenisca fina, compuesta por un 85% de Qtz y el resto de líticos, presenta algunos clastos tamaño arena gruesa (10%). Hay presencia de arcilla parda (<5%).	
541,5	557		Brecha polimíctica, compuesta por un 5% de ripio, 15% de grava 25% gravilla y 55% gravilla fina, estos clastos son subangulares. El porcentaje de matriz varía entre un 5 y un 10 % y está compuesta por arena en su mayor parte (85% Qtz, 15% líticos), con una pequeña porción (<5%) de arcilla color pardo.	DEC-05-35
557	573,7		Secuencia similar a la anterior, pero se sufre un aumento en el grado de alteración. Se encuentran minerales verdes (Chl-Ep). Aumenta ligeramente el redondeamiento de los clastos, aunque se pueden encontrar algunos subangulares. Clastos de hasta 15 cm. El porcentaje de arcilla en la matriz aumenta, llegando a ser un 30% de ésta. Destacan clastos de arena gruesa de Qtz anguloso.	DEC-05-36

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
573,7	609,9	Brecha volcano-sedimentaria	Aumenta la cantidad de matriz, de modo que la roca se vuelve matriz-soportada. (Antes sólo registraba tramos de estas características). En la matriz de arena-arcilla aparece coloración verdosa. 30% arcilla, 70% arena fina. Hay pequeños tramos clasto-soportados de clastos subredondeados a subangulosos.	
609,9	623		Aumenta considerablemente el tamaño de los clastos de la brecha. Estos son en general subredondeados, y se componen de lavas andesíticas de distintas tonalidades, ignimbritas rojas y rosadas (las primeras con un mayor grado de soldamiento) y granitoides con un K-Fd aparentemente secundario. Gravilla fina 5%, gravilla 10%, grava 75% y ripio 10%. La matriz representa un 10% de la roca y se compone de arena fina a media, subredondeadas con 70% Qtz y 30% líticos. El 20% restante de matriz corresponde a arcilla.	
623	631,5		Unidad similar a la anterior pero con la matriz alterada a óxidos rojo-anaranjados arcillosos (FeOx?).	

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
631,5	720	Toba cristalina	<p>Toba soldada con vesículas "aplanadas" horizontalmente, posee cristales de: Bt (5%) de hasta 2 mm, subhedrales, oxidadas, dispuestas horizontalmente; Plg (10%) euhedrales de hasta 5 mm; "ojos" de Qtz (10-15%) de hasta 5 mm. Los líticos son volcánicos (lavas indiferenciadas) de hasta 2 mm y como juveniles, hay pómez de hasta 4 cm fibrosas con algunos cristales de Anf y Plg (5% c/u). La secuencia es muy homogénea y presenta fracturas rellenas con arcillas (óxidos rojo-anaranjados). Vesículas de hasta 3 cm representan el 10% de la roca hasta el metro 638,48 donde comienzan a disminuir en cantidad y en tamaño (&lt; 1 cm) hasta desaparecer por completo. Luego de dicha profundidad las fracturas son más escasas y no presentan óxidos, la roca se torna en general gris, aunque en el metro 643,15 retoma su color gris-rosado claro, presenta algunas fiammes que comienzan a aumentar desde el metro 645,75. Comienzan a aumentar las pómez de entre 1 y 3 cm que se presentan alargadas horizontalmente y alteradas, hasta el metro 671. La roca comienza a tornarse rojo oscuro hasta volverse marrón luego del metro 680. A los 659,80 comienza la aparición de vetillas de Qtz de entre 1 mm y 2 cm. Desde 671m aparece una mayor cantidad de pómez redondeadas de &lt;1 cm, desapareciendo, en general, las de mayor tamaño. A partir del metro 670 comienzan a desaparecer las fiammes (líneas rojizas alargadas). Hacia el fondo del pozo va disminuyendo la cantidad de matriz. Hasta el metro 659 esta alterado a arcillas blancas, lo que va otorgando un color más claro. Las Bt comienzan a aparecer menos oxidadas desde ese metraje.</p>	DEC-05-37 DEC-05-38

### 2.3. Pozo DEC-06

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
225	245,1	Secuencia volcano-sedimentaria	Secuencia compuesta por areniscas grises intercaladas con niveles blancos arcillosos (ceniza alterada?) Predomina la arena representando entre un 60 un 75% de la secuencia. Se pueden distinguir niveles de entre 0,1 y 1 m con distintas proporciones de los distintos componentes. En algunas zonas se observan laminaciones de arena y arcilla (ceniza), con láminas de entre 1 y 5 mm. En una de estas zonas se puede observar laminación cruzada entre los 239,50 y 239,66. La ceniza/arcilla es blanca con <5% de líticos volcánicos indiferenciados tamaño arena muy fina, presenta niveles endurecidos por Qtz y <1% de Bt de ~ 0,1 mm. La arena por su parte es muy fina a fina gris claro a medio (varía de acuerdo a la proporción de ceniza/arcilla). Está compuesta por un 60% de líticos volcánicos indiferenciados y un 40% de Qtz, son subangulosos a subredondeados, la esfericidad es media. La roca es competente, pero medianamente consolidada (consolidación aumenta con la cantidad de arcilla). Se encuentra muy fragmentada.	DEC-06-01
245,1	245,6		Transición a la siguiente unidad. La arenisca presenta clastos de hasta 0,5 cm de los cuales un 60% corresponde a pómez. La secuencia es grano decreciente y se observa un aumento general en la cantidad de finos.	



DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
245,6	262,1	Toba de lapilli	Roca piroclástica rosada medianamente consolidada, con abundantes tramos disgregados (75% de la secuencia), el tamaño de los fragmentos piroclásticos va aumentando hacia la base de la secuencia (siempre dentro del rango de lapilli fino), destaca entre los 250,65 y 251,45 un tramo con bastante gravilla, disgregado y con escasa matriz (fenómeno causado en el proceso de extracción?). Los piroclastos son pómez fibrosas con algunas Bt (<5%) que representan ente un 35 y un 40% de la roca, son subredondeados de entre 0,2 y 1,5 cm, también hay algunos líticos volcánicos entre los que se distinguen las andesíticas grises, son subredondeados (15%). Los cristales presentes corresponden a Bt de entre 1 y 2 mm subhedrales, algo oxidadas (representan un 5% de la roca). La matriz por su parte llega a ser un 40% de la roca y está compuesta por arena tamaño ceniza gruesa y ceniza fina rosada. Toba de lapilli.	
262,1	284,8		Roca similar a la anterior aunque sin tramos disgregados, paulatinamente va perdiendo su coloración rosada, hasta perderla completamente hacia el metro 270, donde se vuelve gris amarillento, aumenta el tamaño de los clastos, siendo la mitad de estos lapilli medio. Los líticos por su parte aumentan, llegando a representar un 35%.	DEC-06-02
284,8	290,8		Se observa una disminución en el porcentaje de líticos (<10%), manteniéndose abundantes las pómez (30-40%) el resto de la roca corresponde a matriz con algunos cristales de Bt.	
290,8	294		Secuencia similar a la anterior, con ausencia casi total de líticos de tamaño mayor a ceniza. 15 a 20 % de la secuencia corresponden a pómez de entre 0,2 y 1 cm, se observan algunos cristales de Bt. La matriz está compuesta por ceniza con arena. Toba de lapilli fino a toba de ceniza vítrea.	

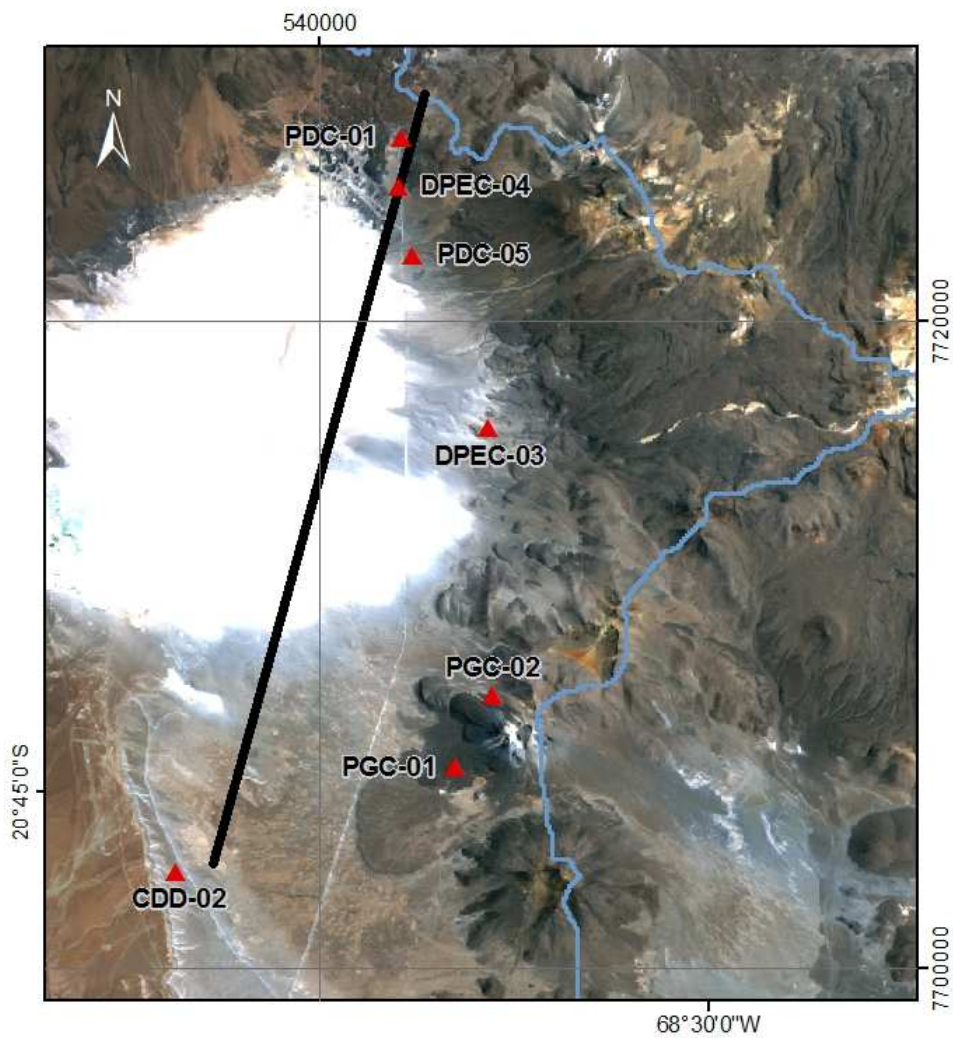
DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
294	300	Secuencia volcano-sedimentaria	Secuencia de cenizas blancas intercaladas y mezcladas con niveles con mayor componente clástico (arena fina a media polimíctica con algunos cristales de Bt). La ceniza no se observa argilizada. Se suelen observar cúmulos de ceniza en zonas clásticas, se presentan parcialmente agilizados. Hay zonas con importante cloritización. Aparecen algunas pómez de hasta 1,5 cm.	
300	306,9		Secuencia similar a la anterior pero con menor/nula alteración a clorita, además aumentan los cristales de Bt en la matriz (de ~1,5 mm), llegando a ser hasta un 5% de la matriz. Destaca la presencia de vidrio volcánico negro de hasta 1 cm.	
306,9	322,5		Secuencia donde se intercalan distintos aportes en tramos de 1 a 2 metros. Los aportes consisten en: cenizas blancas con cristales de Plg de hasta 2 mm y Bt de hasta 1,5 mm, cenizas grises con alta presencia de Bt y alta presencia de vidrio pardo. Cenizas grises con líticos tamaño arena y escasas Bt, cenizas grises con arcillas pardas y cenizas negras arcillosas. Esta secuencia se encuentra en un 50% disgregada, en general es compacta pero no cementada, por lo que es disgregable.	DEC-06-03
322,5	345,2		Secuencia similar a la anterior, menos disgregable pero con numerosas fracturas. Es posible observar laminaciones entre los distintos tipos de cenizas. Se observa mayor grado de argilización. Ocasionalmente aparecen líticos de hasta 0,5 cm. Aparecen numerosos fragmentos de vidrio volcánico negro a pardo semi translucido (obsidiana).	
345,2	351		Secuencia muy alterada a óxidos rojos con zonas ennegrecidas, se reconocen clastos de hasta 2 cm de lavas angulosas, la matriz es arcillosa y se distinguen cristales de Bt en ella. Presencia de un clasto > 10 cm de andesita gris.	

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
351	358,9	Secuencia volcano-sedimentaria	Ceniza blanca con presencia de pequeñas pómez (3-4 mm) y numerosos fragmentos de vidrio volcánico (0,1 - 2 cm), algunos niveles se observan más oscuros, por el mayor contenido de clastos. En dos tramos de <1 cm aparecen arcillas amarillas (limolita?).	
358,9	360,1		Secuencia de cenizas, compacta, muy fraccionada. Las cenizas son blancas (predominantes) a gris claro. Las cenizas blancas son bastante homogéneas con escasas Bt < 1 mm. Las cenizas grises tienen un importante contenido de arena (líticos y Qtz), además de Bt. La ceniza negra está compuesta sólo por ceniza arcillosa negra.	
360,1	370,4		Zona de transición. Hay una brecha compuesta por fragmentos volcánicos subangulares (lavas andesíticas) de entre 1 mm y 10 cm y algunos clastos de toba de ceniza inmersos en una matriz cinerítica argilizada.	
370,4	422	Brecha volcánica	Brecha volcánica compuesta por clastos monomícticos de baja a mediana porosidad, en general son subredondeados a redondeados, con pocos casos subangulares. Los clastos tienen tamaños que van desde 1 mm a 25 cm, siendo la mayoría de éstos de hasta 5 cm. La secuencia presenta gran cantidad de fracturas con clorita, además hay algo de cloritización pervasiva. La roca es competente en general, pero presenta tramos muy fragmentados, que representan el 20% de la unidad. La matriz está compuesta por arena media con algunos cristales de Qtz y arcilla, representa entre un 10 y un 50%, aumentando su porcentaje cuando hay ausencia de clastos mayores.	DEC-06-04
422	423,2		La secuencia anterior comienza a presentar nuevas litologías: rocas volcánicas gris claro y rojas.	

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
423	442,6	Brecha volcano sedimentaria	Brecha polimíctica de clastos redondeados a subangulares, la matriz es arcillosa parda con arena gruesa polimíctica, con cristales de Qtz, algunos cristales de Plg y escasa Bt. La secuencia es en general matriz soportada, y se presenta bastante fracturada y disgregable. Los clastos corresponden a tobas de ceniza y lavas andesíticas.	
442,6	450		Roca similar a la anterior pero más compacta, bastante fracturada. Con un tramo (445-447) altamente cloritizado, hacia la base la cloritización comienza a alternarse con oxidación. Disminuye la cantidad de arcilla. Se observan escasos fragmentos de toba de ceniza.	
450	456,7		Comienzan a aparecer en la roca clastos de hasta 15 cm de tobas soldadas rojas a rosadas (presencia de Plg, Qtz, Bt). Hay tramos de la roca altamente fraccionados. La consolidación disminuye y la matriz se vuelve bastante arcillosa. Tramos de hasta 80 cm donde sólo aparecen clastos, sin matriz.	
456,7	482		Secuencia de clastos de hasta 6 cm de lavas y tobas soldadas rojas, se encuentran sin matriz, se intercalan en tramos de hasta 1 m con arena gruesa polimíctica ( con <10% de gravilla y gravilla fina). Hay dos tramos de < 10 cm con presencia de matriz de arena arcillosa.	DEC-06B-01
482	530,7		Brecha similar a la vista anteriormente, con matriz de arenisca media, alto contenido de arcilla (~20%). Clasto soportada, de clastos subangulosos, que aumentan su proporción respecto a la matriz hacia la base. La matriz es gris a parda ( se va tornando parda anaranjada hacia abajo). Aparecen tobas rosadas soldadas propias de la secuencia ubicada más abajo, llegan a ser el 30% de los clastos pero comienzan a desaparecer a los 520 m. Además aparecen nuevas litologías (pórfidos). Los clastos son en general subredondeados a subangulares. Un 15% de tamaño arcilla, 70% grava, 10% gravilla, 5% gravilla fina y el 10% restante corresponde a la matriz de arena y arcilla.	

DESDE	HASTA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRA
530,7	557	Toba cristalina	Toba rosada soldada. La secuencia se presenta muy compacta y consolidada, con abundantes fracturas rellenas de óxidos rojos a anaranjados, a partir de los 548 m aparecen fiammes. Los piroclastos presentes en la roca consisten en un 30% de pómez de entre 3 mm y 5 cm, las de mayor tamaños se encuentran aplastadas mientras que las pequeñas se observan con mejor esfericidad. Los líticos son escasos, no representan más de un 1% de la roca y corresponden a lavas indiferenciadas de hasta 2 cm. Los cristales corresponden a Qtz anhedral, de hasta 3 mm, Plg euhedral de hasta 2 mm y Bt euhedral, algo oxidada de hasta 2 mm.	DEC-06B-02
557	612,4		Dejan de observarse fiammes y la roca se va tornando más roja. Las pómez grandes desaparecen a los 574,15 m. Entre los 564 y 600 m aparecen nuevos minerales de alteración en las vetillas: arcillas verdes y blancas (además del rojo y anaranjado antes descrito). Algunas de las fracturas están rellenas con Qtz. Destaca una zona intensamente alterada y argilizada entre los 604,3 y 605,7 m.	DEC-06B-03

### 3. Pozos auxiliares



Ubicación de los pozos auxiliares utilizados para entender la extensión y correlación de las unidades encontradas: PDC-01, DPEC-04, PDC-05, DPEC-03, PGC-02, PGC-01 y CDD-02. En la figura además aparece indicada con una línea negra la traza del perfil principal de este trabajo (con la información de los pozos DEC-04, DEC-05 y DEC-06).

A continuación se detalla la estratigrafía de los pozos auxiliares utilizados para el desarrollo de este trabajo, se indica el intervalo en metros y luego la litología.

<b>PDC-01</b>		
0,00	0,00	Arena grano medio
0,00	7,00	Arena grano medio
7,00	9,00	Arena gravosa
9,00	12,00	Andesita porfírica

<b>DPEC-04</b>		
30,00	35,50	Gravas
35,50	52,00	Lava andesítica
52,00	68,60	Toba lítica semiconsolidada
68,60	76,40	Toba lítica, color negro, bien consolidada con intercalaciones de lava andesítica
76,40	85,00	Arena bien consolidada
85,00	97,50	Lava andesítica, color negro, bien densa, nódulos de sílice
97,50	135,50	Arena semiconsolidada
135,50	138,00	Toba vítrea, semiconsolidada, > 70% ceniza
138,00	140,00	Arena semiconsolidada
140,00	145,00	Toba vítrea, semiconsolidada, > 70% ceniza
145,00	158,00	Arena semiconsolidada
158,00	161,00	Toba vítrea, semiconsolidada, > 70% ceniza
161,00	186,00	Toba vítrea, consolidada, > 50% ceniza, 10-20% líticos, 20% cxs Bt
186,00	198,20	Toba vitro cristalina consolidada, color rosada, porosa, 20% líticos, 20% cxs Bt
210,00	218,00	Arena media-gruesa, color gris, no consolidada
218,00	223,00	Evaporita, textura masiva
258,00	269,00	Evaporita, textura masiva
316,50	318,00	Limo blanco, escaso cxs, (ceniza retrabajada)
318,00	323,50	Intercalaciones de arena y evaporita textura masiva
323,50	325,00	Intercalaciones de arena y ceniza
325,00	326,00	Evaporita, textura masiva
326,00	328,00	Arena y ceniza retrabajada, 20% cxs Bt
328,00	332,00	Limo blanco, escaso cxs, (ceniza retrabajada)
332,00	358,50	Toba vítrea, color blanco, semi consolidada >60% ceniza
358,50	363,00	Limo blanco, escaso cxs, (ceniza retrabajada)
363,00	374,00	Toba vítrea, color blanco, semi consolidada >60% ceniza

<b>PDC-05</b>		
0,00	12,00	Arena media -gruesa
12,00	16,00	Arena gravosa
16,00	40,00	Arena gravosa
40,00	52,00	Arena gravosa

<b>DPEC-03</b>		
0,00	137,30	Dacita Cristalina
137,30	137,40	contacto (falla)
137,40	204,00	Brecha volcano-sedimentaria
204,00	229,00	Andesita
229,00	233,70	Toba Cristalina
233,70	249,50	Andesita
249,50	250,50	Brecha lítico-cristalina
250,50	265,30	Andesita
265,30	267,00	Brecha lítico-cristalina
267,00	277,70	Andesita
277,70	281,30	Brecha lítico-cristalina
281,30	322,50	Andesita

<b>PGC-02</b>		
77,00	99,10	Lava dacítica
99,10	173,30	Brecha piroclástica
173,30	296,45	Lava dacítica
296,45	457,35	Lava dacítica
457,35	465,90	Toba de cenizas y cristales con algo de líticos
465,90	492,10	Brecha piroclástica gruesa
492,10	493,85	Sin recuperación
493,85	527,70	Brecha piroclástica grano medio
527,70	539,60	Lava dacítica
539,60	549,10	Brecha piroclástica
549,10	577,75	Toba de ceniza no soldada
577,75	635,60	Daciandesita de grano medio
635,60	659,10	Brecha piroclástica
659,10	708,85	Daciandesita de grano medio
708,85	735,00	Toba dacítica líticocristalina polimíctica
735,00	761,15	Lava andesítica
761,15	773,10	Toba lítica no soldada
773,10	856,10	Brecha piroclástica tobácea
856,10	940,00	Daciandesita de anfíbola
940,00	944,15	Toba de cenizas laminada, levemente soldada



<b>PGC-02</b>		
944,15	954,15	Toba lítico-pumícea levemente soldada
954,15	1026,10	Toba lítica soldada
1026,10	1055,70	Brecha volcanoclástica media
1055,70	1086,00	Brecha piroclástica tobácea de grano grueso a medio
1086,00	1125,10	Daciendesita de piroxeno y anfíbolas oxidadas
1125,10	1154,00	Brecha piroclástica tobácea grano medio a grueso
1154,00	1169,20	Lava andesítica
1169,20	1182,10	Toba lítica de grano grueso a medio
1182,10	1193,10	Lava andesítica?
1193,10	1219,70	Toba lítica polimíctica
1219,70	1230,00	Lava andesítica
1230,00	1243,23	Toba lítica polimíctica
1243,23	1263,30	Lava andesítica
1263,30	1300,40	Brecha volcanoclástica
1300,40	1332,60	Lava andesítica
1332,60	1351,82	Lava daciandesítica de anfíbola oxidada
1351,82	1416,40	Brecha conglomerádica polimíctica
1416,40	1430,60	Toba cinerítica fina de caída, con abundante biotita y astillitas de cuarzo

<b>PGC-01</b>		
56,18	131,00	Toba cristalina
131,00	189,50	Toba cristalina soldada
189,50	393,65	Toba de Lapilli Lítico-cristalina
393,65	420,00	Toba lítica
420,00	580,65	Toba lítica daciandesítica soldada
580,65	691,00	Toba lítica daciandesítica con pómez alteradas a esmectitas y carbonatos
691,00	730,10	Daciandesita de piroxeno y anfíbola microporosa
730,10	767,40	Toba dacítica lítico pumícea con Hb oxidada y porosidades con carbonatos
767,40	794,75	Toba lítica

<b>CDD-02</b>		
28,50	82,00	Toba de ceniza
82,00	101,00	Depósitos aluvionales
101,00	115,00	Brecha pumícea
115,00	126,00	Toba de lapilli gris
126,00	134,00	Ceniza gris
134,00	143,00	Arena fina gris
143,00	152,00	Ceniza

<b>CDD-02</b>		
152,00	156,00	Arena
156,00	162,00	Limo blanco
162,00	181,00	Alternancia de limo y arena fina
181,00	186,50	Brecha gris
186,50	208,00	Toba de ceniza cristalina
208,00	225,00	Brecha

