

**CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES**

**PROVINCIA DE LA PAMPA**

Evaluación de Li (Mg y K)  
en las Salinas del "corredor magmático" NO-SE  
de la Provincia de la Pampa

Informe Final

Julio 2017

Lic. Mónica A. Pires

# Índice

|  | Pág.       |
|--|------------|
| <b>AGRADECIMIENTOS</b>   | <b>4</b>   |
| <b>RESUMEN</b>   | <b>5</b>   |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>  | <b>7</b>   |
| a. Antecedentes  | <b>8</b>   |
| b. Justificación del presente trabajo                                      | <b>10</b>  |
| c. Objetivo  | <b>11</b>  |
| d. Alcances  | <b>11</b>  |
| <b>TRABAJOS REALIZADOS</b>   | <b>13</b>  |
| a. Trabajos de Campo   | <b>16</b>  |
| a.1 Generalidades  | <b>16</b>  |
| a.2 Desarrollo   | <b>18</b>  |
| a.3 Descripción y metodología  | <b>18</b>  |
| b. Trabajos de gabinete  |            |
| b.1 Descripción y metodología  | <b>19</b>  |
| c. Trabajos de laboratorio   |            |
| c.1 Descripción y metodología  | <b>22</b>  |
| <b>RESULTADOS</b>  | <b>25</b>  |
| a. Descripción de la información obtenida en campo, gabinete y laboratorio | <b>26</b>  |
| Sector 1   | <b>27</b>  |
| Área Puesto Jagüel de la perra   | <b>30</b>  |
| Área Aguada Chos Malal   | <b>39</b>  |
| Área Puesto El Ñire  | <b>47</b>  |
| Análisis de los datos químicos obtenidos en el Sector 1                    | <b>57</b>  |
| Sector 2   | <b>60</b>  |
| Salitral La Salinilla (o La Salina)  | <b>62</b>  |
| Salitral de La Perra   | <b>81</b>  |
| Salina Grande (o Gran Salitral)  | <b>93</b>  |
| Salina Huentenao (o Salinas Chicas)  | <b>115</b> |
| Análisis de los datos químicos obtenidos en el Sector 2                    | <b>128</b> |
| Sector 3   | <b>133</b> |
| Salina La Amarga   | <b>135</b> |
| Salina San Máximo  | <b>158</b> |
| Salina Gestau  | <b>177</b> |
| Análisis de los datos químicos obtenidos en el Sector 3                    | <b>191</b> |
| Sector 4   | <b>196</b> |
| Salina Pichi Sur   | <b>198</b> |

|   |            |
|---|------------|
| Salitrales encadenados, A y B                           | <b>209</b> |
| Salina Pichi Norte                                      | <b>222</b> |
| Análisis de los datos químicos obtenidos en el Sector 4 | <b>229</b> |
| Sector 5  | <b>233</b> |
| Salina Salitral Negro                                   | <b>235</b> |
| Salina El Chancho                                       | <b>252</b> |
| Salina Anzoátegui                                       | <b>269</b> |
| Análisis de los datos químicos obtenidos en el Sector 5 | <b>285</b> |
| <b>CONCLUSIONES</b>                                     | <b>289</b> |
| <b>RECOMENDACIONES</b>                                  | <b>297</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                                     | <b>298</b> |
| <b>ANEXOS</b>   |            |
| 1. Geo-referencias                                      | <b>303</b> |
| 2. Mapas  | <b>305</b> |
| 3. Cuadros  | <b>306</b> |
| 4. Figuras  | <b>309</b> |

## AGRADECIMIENTOS

*Al Subsecretario de Hidrocarburos y Minería, Abogado Matías Toso y a la Directora de Minería Abogada María de los Ángeles Roveda, quienes confiaron en mí para llevar a cabo este trabajo.*

*Al Consejo Federal de Inversiones que financió en su totalidad este proyecto.*

*Al Lic. Claudio Trinca, que con sus sugerencias y coordinación constante me permitió trabajar en forma armónica.*

*A la Universidad de La Pampa, que me brindó día a día sus instalaciones y apoyo logístico.*

*A la Dra. Graciela Visconti, al Dr. Eduardo Mariño y al Dr. Emilio Bedatur*

*A las familias Hurtado, Ainó, Yantel, Maya, Martínez, Romero, Larrazabal, Molina, Cerda, Tribolo, Román, Fernandez, Sparsa y Beltran.*

*A las empresas:*

*Fortunato Anzoátegui SA industria salinera (Sr. Santiago Bunge y Sra. Paula Zimmermann)*

*Proinsal SAI y C (Sr. Dario Gonzalez)*

*Compañía Industrial del Sur (Sr. Damián Zárate)*

*Salinera Plaza, Puelches*

*Aguas del Colorado*

*a todas ellas por permitirnos el acceso a sus terrenos y a sus empresas.*

*Un especial agradecimiento merecen mis compañeros de trabajo.*

*Al Dr. Alexis Ponce y al Dr. Mauro Bernardi, quienes no sólo me acompañaron desde lo académico, sino que con fortaleza física y espiritual me ayudaron a sobrellevar las difíciles condiciones de trabajo,... sin duda no hubiera podido hacerlo sin ellos...*

*Al Dr. Walter Bertotto, cuyos constantes comentarios, sugerencias y correcciones han sido un aporte invaluable en el desarrollo de todas las tareas.*

*Y por último quiero agradecer el apoyo incondicional de mi esposo que comparte y colabora conmigo en todo momento.*

*Julio de 2017*

*Lic. Mónica Pires*

# RESUMEN

El litio se ha convertido en un mineral de enorme interés a nivel mundial.

En la Argentina las reservas más importantes se concentran en los salares de Catamarca, Salta y Jujuy. Esta zona integra junto al sur de Bolivia y el norte de Chile lo que se denomina "el triángulo del litio", región en la que se concentra la mayor parte de los recursos mundiales de este elemento.

Previendo un incremento futuro de la demanda, las políticas públicas han adquirido un rol activo en la exploración y desarrollo de la minería de litio en nuestro país. La provincia de La Pampa, en su rol tradicional de productora de sal, no podía estar ausente. En este sentido, la actualización de la información geológica y geoquímica de los cuerpos salinos de la provincia, se planteó como requisito básico para que el Estado pudiera tomar decisiones con respecto al desarrollo futuro de la minería del litio.

Con estos conceptos, se ha llevado a cabo el presente trabajo que evaluó la presencia de litio en 22 cuerpos (12 salitrales y 10 salinas) del "corredor magmático" NO-SE de la provincia de La Pampa.

Las tareas de campo y laboratorio realizadas, constataron la presencia de litio, sólo en las salmueras de la salina La Amarga y la salina San Máximo, con valores entre 37 y 18 ppm, Ambos cuerpos están cercanos a la localidad de Puelches al sur de la provincia.

Asimismo, dada la oportunidad, se obtuvieron datos químicos para analizar la presencia de  $Mg^{2+}$  y  $K^+$  en la región.

Se halló  $Mg^+$  con concentraciones entre 7 y 35 g/l, y  $K^+$  entre 1 y 10 g/l en las salmueras de los salitrales y salinas de los Sectores 2, 3, 4 y 5.

Con esta información y otros parámetros asociados, se evaluó la capacidad productiva de aquellos cuerpos que aún permanecen sin explotación, resultando la salinas La Amarga y Grande, buenos prospectos para sales de sodio y magnesio, dados los valores promedios hallados ( $Na^+$  de 105 g/l,  $Cl^-$  de 180 g/l y de  $Mg^{2+}$  14 g/l.) y sus tamaños. También el salitral La Salinilla y La Perra por su contenido en  $Mg^{2+}$  (entre 13 y 21 g/l).

Sobre la presencia de  $K^+$  con valores de 10 g/l en las salmueras de La Salinilla y La Perra, se consideró recomendar estudios más detallados sobre los cuerpos y sus alrededores ya que estos valores son anómalos en la región.

Finalmente, se compiló información geológica de utilidad práctica en los estudios de base, de una parte importante de los cuerpos evaporíticos de la Provincia.

# **INTRODUCCIÓN**

La ejecución del presente estudio, fue propuesta por la Subsecretaría de Hidrocarburos y Minería de la Provincia de La Pampa, con el fin de obtener información relacionada a la presencia de litio en salinas y salitrales de la provincia de La Pampa y evaluar su posibilidad de explotación. Asimismo se analizaron otros elementos químicos en las salmueras, como ser K y Mg, dada la importancia económica que pueden brindar ambos recursos desde esta fuente. Por último, se proveyó de información actualizada sobre las condiciones generales de los cuerpos, parámetros químicos y minerales, como base de futuros estudios.

## **Antecedentes**

La Pampa ha sido, desde el inicio de la industria salinera, la mayor productora de sal del país. Esa condición se ha mantenido por casi toda su historia.

Como lo relata Stauffacher (1964) desde la época de los virreyes se organizaron caravanas y romerías hacia sus tierras (en particular a las Salinas Grandes), para proveer de sal a la población de Buenos Aires.

En 1918, Don Fortunato Anzoátegui inició la explotación de las Salinas Grandes y de la Salina El Chancho, sobre la Estación Anzoátegui. Entre 1931 y 1932, Pablo Ferro comenzó a explotar sal en la Salina La Colorada Grande, en General San Martín y un poco más adelante, comenzó la explotación en la salina La Colorada Chica, en Jacinto Arauz. Durante algunos años, se explotaron las salinas San Pedro o La Isla, cerca de Bernasconi, pero fueron abandonadas por falta de rendimiento.

Hacia 1962 había en La Pampa 3 explotaciones salineras grandes, 1 mediana y 28 chicas con una producción de aproximadamente 278.011 toneladas (t) que representaban el 50% de la producción de sal argentina, ubicándose la provincia, en primer lugar, siguiéndole Buenos Aires con el 20%, San Luis con el 10%, Córdoba 9%, Salta 5%, Mendoza 3% y otras con el 1% (Cordini, 1962-a; Stauffacher, 1964).

En el año 2009 los yacimientos evaporíticos del territorio entregaron al mercado más de 476.000 t de cloruro de sodio o sal común, destinada a

diversas industrias. Esta producción permaneció aproximadamente constante hasta el año 2012, lo que depende en gran medida del factor climático.

Otra producción de importancia es el sulfato de sodio, un mineral estratégico que concentra su producción en las sulfateras del sureste pampeano.

Durante los años 2001 a 2005 se promedió una producción de 11.500 t; luego se duplicó e inclusive triplicó esta cifra en los años 2006, 2007 y 2008, produciéndose a partir de allí, un marcado descenso como consecuencia de los aumentos y fechas de las precipitaciones (información obtenida de la página web de la Dirección de Minería de la Provincia).

Las principales salinas y sulfateras de La Pampa en cuanto a sus reservas y producción son: **Salinas Grandes de Hidalgo** (Cordini 1958-a y b; Schalamuck *et al.*, 1999), **Salina de Anzoátegui** (Cordini, 1962-c; Canglioli, 1971; Consejo Federal de Inversiones, 1981; Schalamuck *et al.*, 1999), **Salina Colorada Grande** (Cordini, 1947, 1950, 1967, Schalamuck *et al.*, 1999), **Salitral Negro** (Canglioli, 1971; Cordini, 1962-d; Tulio, 1971; Schalamuck *et al.*, 1999), **Salina Colorada Chica o Laguna Larga** (Cordini, 1958-a y b, 1967), **Salina de Callaqueo** (Cordini, 1958-a y b), **El Progreso o Sulfatera de Villa Alba** (Cordini, 1967), **Bizel o Sulfatera de colonia La María** (Cordini, 1967), **Laguna de Guatraché** (Schalamuck *et al.*, 1999), **Salina el Chancho** (Cordini, 1967) y en el suroeste de la Provincia, **Sulfatera Cholino** ([www.mineracholino.com.ar](http://www.mineracholino.com.ar)) y **Salina San Máximo** (Tullio, 1968).

Se han realizado en estos cuerpos lacustres, análisis de salmueras, fango y limos así como también de las costras salinas determinando cationes como: sodio, magnesio y calcio y aniones tales como: cloruro, sulfato, carbonato y bicarbonato. Todas pertenecen al tipo salina de cosecha con reserva. El principal catión que la salinización deposita es el  $\text{Na}^+$  y los aniones más comunes son  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^-$ . Las principales sales naturales de sodio que se producen son: Halita ( $\text{ClNa}$ ) muy abundante; Mirabilita ( $\text{SO}_4\text{Na}_2 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ) muy abundante; Glauberita ( $\text{SO}_4\text{Na}_2 \cdot \text{SO}_4\text{Ca}$ ), bastante común en la base de la costra permanente; Astracanita ( $\text{SO}_4\text{Na}_2 \cdot \text{SO}_4\text{Mg} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), en cantidades moderadas dentro de la "sal madre". También se puede encontrar, cloruro de calcio y magnesio y bicarbonato de magnesio y de calcio (Cordini, 1967).

Otros cuerpos cuentan con reservas pero no están explotados, entre ellos: **La Ernestina** (Cordini, 1950, 1962-d, 1963, 1967); **Sulfatera de Choique** (Cordini, 1967); **Salinas Grandes de Puelén** (Cordini, 1962-b); **La Amarga de Puelches** (Slatar Ale, 1977; Bioconsult Latinoamericana, 1978; Industrias del Salitre, 1974) **La Salinilla** (Cordini, 1967), el **Salitral de la Perra** (Casparri y Malán, 2011) y **Salina Gestau** (Consejo Federal de Inversiones, 1981).

Existen asimismo, otro grupo de salares, salitrales y sulfateras que no han sido estudiados o que habiéndolo hecho, se consideran sin importancia económica para los cationes (Na y Ca) y aniones ya mencionados.

## Justificación del presente estudio

El desarrollo reciente de la demanda de litio y las perspectivas futuras de su uso alentaron la búsqueda intensiva de este metal en los últimos años.

Si bien las fuentes de litio pueden ser diversas, en la actualidad solo dos procesos de obtención son económicamente factibles: mediante minerales o a partir de salmueras, siendo este último el de más bajo costo.

Las salmueras con litio son de diversos orígenes y se presentan en lagos salinos formados en cuencas estructurales continentales, asociadas a sedimentos continentales. Aparecen, en la mayoría de los casos, en cinturones volcánicos terciarios o recientes.

La calidad del depósito dependerá de los niveles de concentración de los diversos elementos (potasio, sodio, calcio, magnesio, boro, bromo, etc.) variando la concentración de litio entre 0,02 y 0,2%.

Las salmueras más importantes, en términos de calidad y volumen, se encuentran en Chile (Salar de Atacama), Bolivia (Salar de Uyuni), Argentina (Salar del Hombre Muerto), en diversos lagos salinos de los EEUU, en China (provincia de Qinghai), en el Tibet y Rusia.

En general, predominan los depósitos evaporíticos salinos, interestratificados con arcillas y arenas y es, en los espacios porosos de las costras salinas, donde se encuentran las salmueras cargadas con litio.

También puede aparecer concentrado en determinadas formaciones arcillosas con contenidos de 0,2 a 0,4% de  $\text{Li}_2\text{O}$ , por ejemplo, en arcillas de tipo

montmorillonítico, pero en este caso no se ha encontrado aún la vía de recuperación, permaneciendo el recurso como potencial.

La provincia de La Pampa tiene una gran cantidad de salinas y cuerpos salobres, diseminados en distintos ambientes geológicos. El magmatismo permo-triásico pudo haber aportado una mineralización diferente al re-movilizar algunos elementos como Li, K, Rb, Cs (CFI, 1981), lo cual insta a realizar estudios relacionados a la presencia de Li en salmueras, potencial recurso que aún no ha sido buscado en forma sistemática.

También se señala que el potasio ha sido prospectado en nuestro país. Un resultado de ello son las reservas medidas en la provincia de Mendoza. Proyecto que introdujo para la región andina un nuevo conocimiento que sumado a aspectos económico sociales podrá convertirse en un área de producción nueva en Argentina.

El magnesio es otro elemento a considerar, el cual puede brindar también un nuevo desarrollo regional. En sitios (salmueras-salinas) en donde la relación magnesio/litio es elevada, no hay una tecnología disponible en la actualidad para recuperar adecuadamente este segundo elemento. No obstante, el Mg se puede convertir en estos casos en una reserva económica a investigar y desarrollar, tal como sucede en Cuba donde se extrae de salmueras y se aplica en la industria, por ejemplo como desodorante.

## **Objetivo**

El objetivo del presente estudio es el establecer la presencia de salmueras portadoras de litio (Li), potasio (K) y magnesio (Mg) en las salinas ubicadas en el "corredor magmático" noroeste-sureste de la provincia de La Pampa (mapa 1).

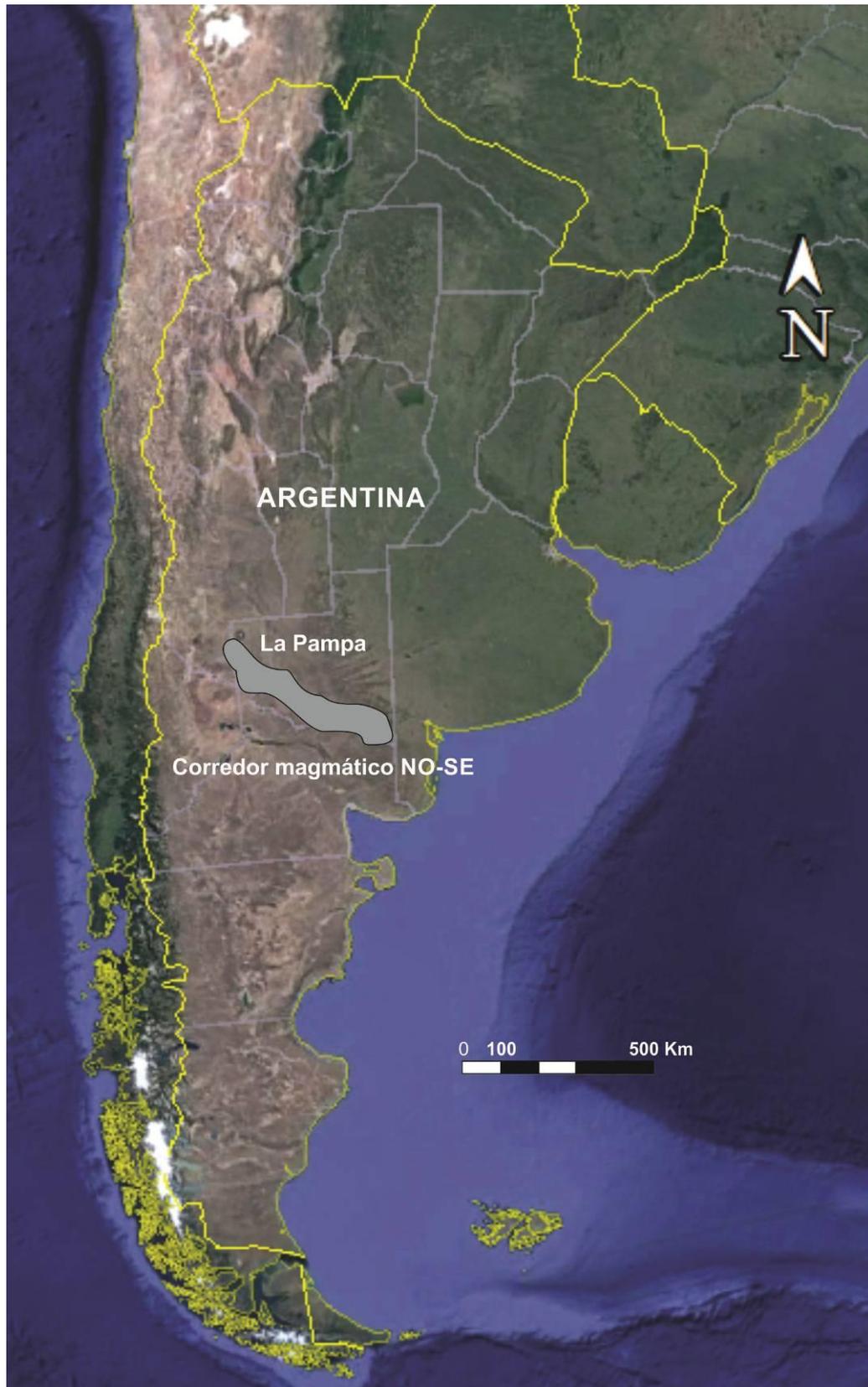
## **Alcances**

La metodología de trabajo empleada, tuvo como objetivo evaluar principalmente anomalías químicas de litio, pero también de potasio y magnesio, ya que, además de tener una relación estrecha con el litio en los

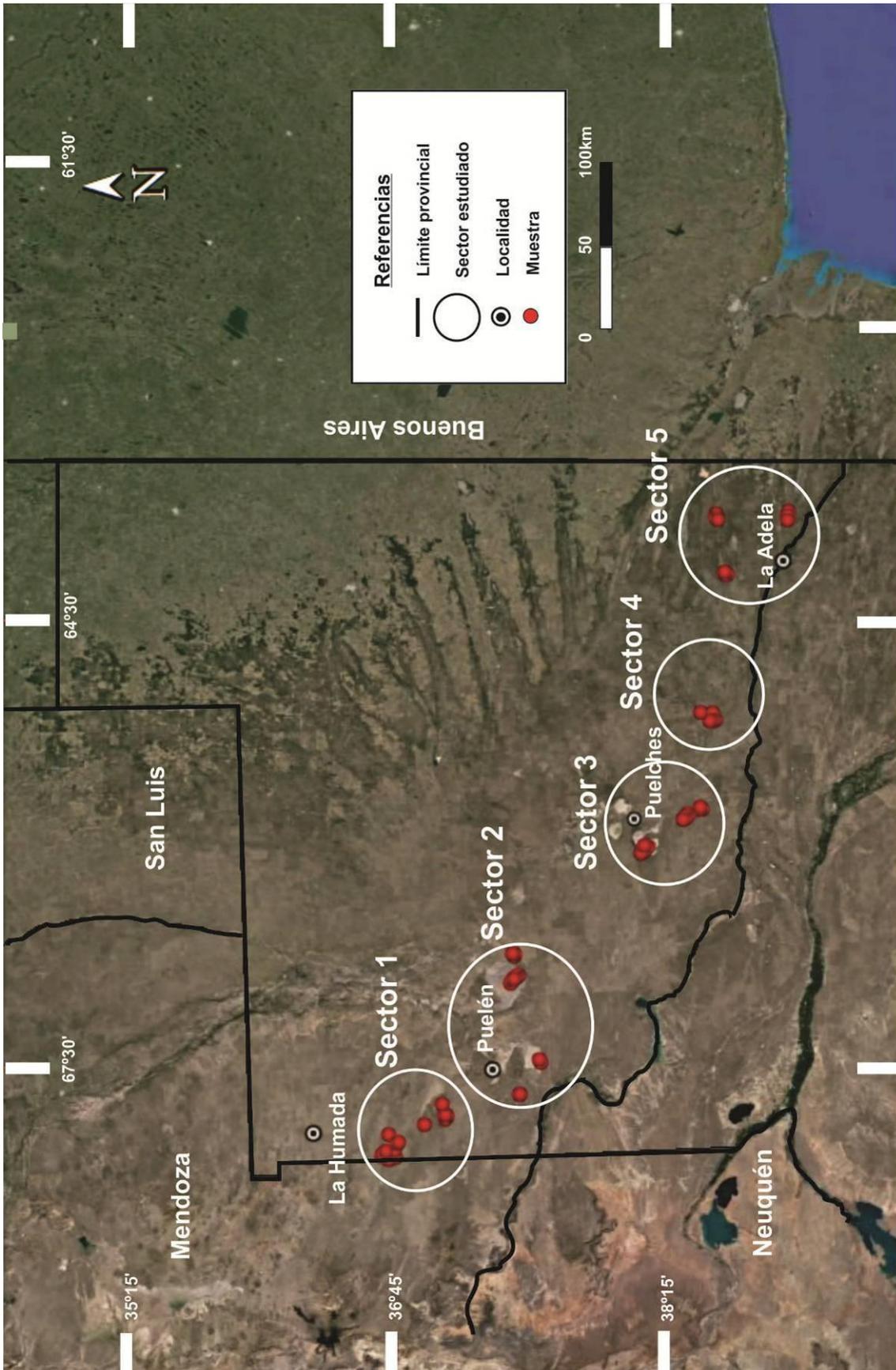
depósitos, poseen interés económico en el mercado actual. Con respecto al Li, se señala que valores superiores a 50 ppm (= 50 mg/l) corresponden a anomalías positivas de interés prospectivo, aunque algunos autores definen concentraciones superiores a 80 ppm para tal fin. En particular valores entre 200 y 2.000 ppm son recomendables para avalar yacimientos de litio en salmueras.

Así mismo, se ha seleccionado un paquete de elementos: B, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na y Sr para establecer correlaciones, y así generar una guía de trazadores para la prospección de litio en la comarca.

## **TRABAJOS REALIZADOS**



Mapa 1. Ubicación del "corredor magmático" NO-SE de la provincia de La Pampa.



Mapa 2. Sectores de estudio, delimitación de zonas de estudio.

## Trabajos de campo

### Generalidades

Las evaporitas originadas en La Pampa son de origen continental, cristalizadas a partir de aguas principalmente subterráneas en regiones poco lluviosas y áridas (Cordini, 1967)

Podemos distinguir entre ellas, **salinas o saladares** cuando se refiere a una cuenca, en la que se ha acumulado cloruro de sodio en cantidades económicamente explotables, pudiéndose extraer la sal por medio de labores a cielo abierto. Es necesario que dentro del sistema haya preponderancia absoluta de la fase cloruro de sodio. Las impurezas más comunes están constituidas por sulfatos de sodio, magnesio y calcio y material insoluble (sílice, silicatos, materia orgánica).

Estas salinas pueden además clasificarse como "**salinas de cosecha**", expresión utilizada para designar una salina que, debido al régimen climático de la zona en que se encuentra ubicada, presenta dos aspectos principales durante el año. En la época lluviosa la cuenca se inunda transformándose en un cuerpo de agua temporario, poco profundo en el cual se re-disuelve el cloruro de sodio que rellena parte del piso de dicha cuenca. Durante la estación seca las aguas se evaporan, depositándose sal muy pura en forma de costra superficial.

De las salinas de cosecha podemos agregar "**con reserva**" en el caso de cuerpos que reciben aportes de aguas subterráneas profundas.

Las salinas de La Pampa, deben su origen a fenómenos tectónicos (Cordini, 1967) o a procesos fluvio-eólicos que modelaron el terreno creando las depresiones (Schalamuck *et al.*, 1999); (Silva Nieto *et al.*, 2008).

Estas concentraciones salinas se encuentran ubicadas en el centro de depresiones de drenaje endorreico con cursos superficiales temporarios de muy poco desarrollo. La ausencia de una red de drenaje integrada, sumada a condiciones climáticas del área, ha determinado la formación de estos cuerpos evaporíticos, con un balance hídrico negativo. La conjunción de factores climáticos, geológicos y geomorfológicos ha determinado que algunos cuerpos

evolucioneen como salinas, otros como salitrales, sulfateras o lagunas saladas (Schalamuck *et al.*, 1999).

Según Cordini (1967), la sucesión de materiales que se espera encontrar de la superficie hacia abajo, es la siguiente:

*Salmuera*: Agua fuertemente mineralizada sobre o entre las capas de costra temporaria.

*Costra temporaria*: es la capa superficial de la salina resultante de la cristalización última; puede tener de varios milímetros a algunos centímetros de espesor (hasta 6-8 cm). El espesor es proporcional a las precipitaciones anuales y al régimen de evaporación. Se forma por la re-disolución y precipitación sucesiva de sal a expensas de la costra permanente subyacente. Esta capa es objeto de cosecha.

*Costra permanente*: por debajo de la anterior aparece un potente horizonte salino, constituido por una sucesión de capas de sal que alternan con delgadas capas de limo y/o fango. En la parte superior de esta capa, los espesores de los bancos son menores a (4-5 cm) que los de la parte inferior (5-40 cm); hay mantos delgados de yeso y caliza que son el resultado de la primera precipitación registrada en cada capa anual. Generalmente es menor a 1,5 m.

*Fangos salobres en descomposición pútrida*: constituye la parte más impura e inferior del cuerpo salino. El pasaje entre la costra permanente y el fango no siempre está bien definido. Normalmente hay en la zona de fango una mayor frecuencia de formaciones arcillosas y arenosas que se intercalan con abundancia de yeso/anhidrita los cuales marcan ya la zona de transición. Este fango es poroso en un 20% de su masa, siendo impregnado por el agua madre rica en sales de magnesio, bromo y otros compuestos más solubles que son típicos de las salmueras amargas.

Por otro lado, existen **salitrales**, que son cuencas cuyo relleno está impregnado por un porcentaje bajo de sales solubles. En el sistema sedimento-agua-sales predomina la primera de las fases. Se los puede explotar con ventajas económicas, por re-disolución de las sales aprovechando las aguas de la capa freática.

Tomando en cuenta la sal producida, las evaporitas de La Pampa clasifican como salinas (saladares) y sulfateras, por la presencia de cloruros y sulfatos de sodio como producción principal.

## Desarrollo

Para realizar las tareas de campo se tomó en cuenta: la distribución de los cuerpos y sus características, su accesibilidad y muestreos realizados anteriormente.

Se los dividió en 5 grupos denominados Sector 1, Sector 2, Sector 3, Sector 4 y Sector 5, que surgieron del análisis efectuado sobre las imágenes de Google Earth, a partir de las cuales, se observó la asociación de salitrales y salinas en cada área, por condiciones geomorfológicas, aportes, escurrimientos y geología (mapa 2).

## Descripción de los trabajos de campo y metodología utilizada.

Las tareas de campo demandaron 26 días, entre el 12 de diciembre de 2016 y el 26 de marzo de 2017.

En cada punto de muestreo, se realizó un pozo a pico y pala hasta donde los materiales lo permitieron, 50-80 cm, luego se completó la toma de material con barreno hasta 1 m; en el pozo labrado, se describieron los estratos observados y sus estructuras.

En los salitrales sin costra salina, se tomaron muestras de agua en la parte superior del nivel freático, en los salitrales y salinas con costra superficial, se recolectó salmuera intraporal de ésta y debajo de la costra superficial, para conocer la química que da lugar a las cosechas de sal gema, así como muestras de agua de pozos cercanos, para ser usadas como referencia. El material fue envasado en botellas plásticas sin ningún aditivo, y sin dejar aire, según requerimiento del laboratorio de análisis químico. A todas las muestras

de agua luego de su obtención y etiquetado se le realizó una descripción cualitativa de los aspectos principales que se observaron en el campo. Se midió in situ el pH con cintas testigo y se adicionó a esta información, datos referentes a color, olor y aspecto general del líquido.

Para complementar la descripción, se obtuvieron muestras de costra temporaria y permanente, fangos salinos, sedimentos y rocas, dependiendo del material presente en cada caso, lo que permitió conocer el contenido de Li total en los cuerpos estudiados o en sus alrededores y tener una mejor comprensión de la disponibilidad potencial de este elemento.

Los sitios muestreados se posicionaron mediante un GPS Garmin Etrex Hcx y la información se volcó a la plataforma Google Earth.

## **Trabajos de gabinete y metodologías utilizadas.**

El trabajo de gabinete incluyó varios aspectos.

En principio, se recopilaron los antecedentes de estudios ya realizados en los cuerpos lacustres elegidos, con el fin de contar con información geológica, estructural y sobre la dinámica de las estructuras salinas de esos cuerpos. Se analizaron imágenes Landsat, disponibles a través de Google Earth para delimitar las áreas de estudio, seleccionar y geo-referenciar los cuerpos a estudiar.

Otro aspecto del trabajo de gabinete estuvo relacionado con la preparación y envío a los distintos laboratorios, de las muestras obtenidas en cada salida de campo.

Sesenta y nueve (69) muestras de salmuera fueron llevadas, (inmediatamente a su recolección), al laboratorio Alex Stewart Argentina S.A. en la provincia de Mendoza.

Con respecto a las muestras sólidas (80 muestras de fangos salinos y costras), fueron secadas al aire y luego disgregadas. Con este procedimiento se logró discriminar la conformación litológica y salina de los materiales, así como describir sus texturas (color, forma y selección), a través de la observación a la lupa binocular o al microscopio petrográfico, con la técnica de grano suelto.

Para la descripción de las texturas de halita, se tuvo en cuenta la morfología que desarrollan los cristales de halita de crecimiento libre indicadas en Yubero de Mateo (2008) (figura 1).

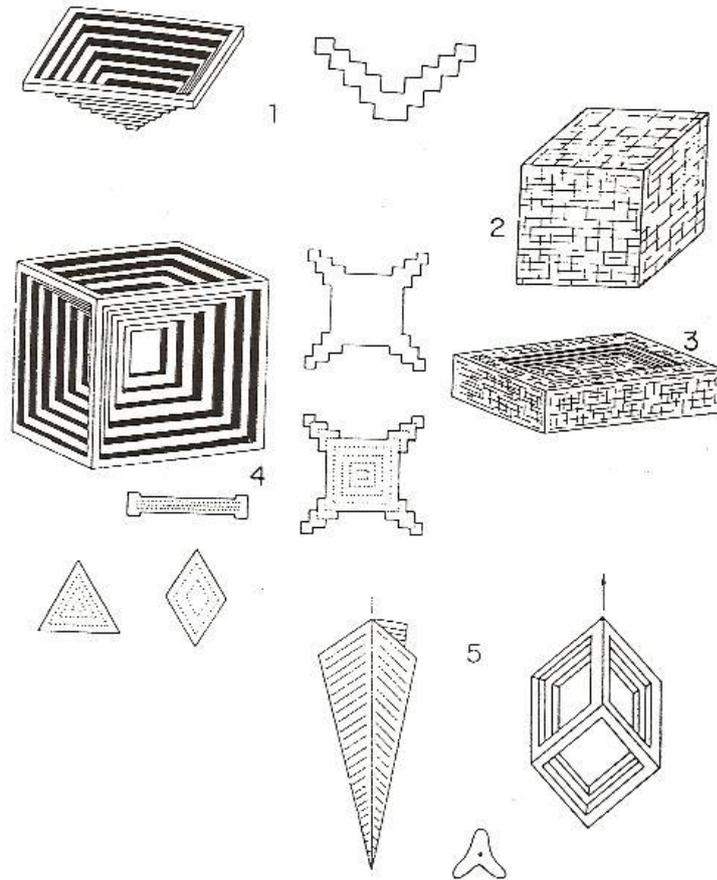


Figura 1. Morfología de cristales de halita de crecimiento libre. 1) Tolva (pirámide *hopper*) y sección, 2) cubo (macizo) 3) Tabular (tabular *hopper*) 4) Tolva cúbica y secciones. 5) Tolva cúbica sobrecrecida (pirámide trihedral, cristal chevron).

Trabajando con lupa binocular y pinza, se separaron de las costras, fangos y sedimentos, varios individuos de cada tipo de mineral encontrado, con el fin de observar texturas y realizar estudios de microscopía electrónica con microanálisis. Este material fue enviado posteriormente, a las dependencias del

Servicios Geológico Minero de Argentina (Segemar) en Buenos Aires, para realizar los mencionados estudios.

Se realizaron fotografías tanto de la observación a ojo desnudo como a la lupa binocular y al microscopio petrográfico, para dejar evidencia gráfica de lo hallado.

Del material sólido total, se enviaron al laboratorio Alex Stewart, 24 muestras de costras salinas superficiales y sub-ácueas; al laboratorio de Actlab, Canadá, 24 muestras de fangos, sedimentos y rocas y al Laboratorio CEMIT La Plata (dependiente de CONICET y UNLP), 17 muestras de sedimentos y fangos salinos para estudios por difracción de Rayos X.

Previo al envío del material al laboratorio, éste fue seleccionado, mezclado, homogeneizado y fraccionado para originar muestras mixtas.

Teniendo en cuenta que el objetivo particular de este proyecto fue detectar la presencia de Li (K y Mg), las muestras enviadas de cada cuerpo, surgieron de la mezcla de varias que se agruparon según: a) los distintos niveles de costras salinas superficiales, b) sales y costras salinas sub-ácueas, c) los distintos niveles de fangos salinos y sedimentos y d) rocas.

Un último aspecto es el relacionado a la presentación de los informes de avance y final.

En tal sentido, se prepararon 24 mapas (anexo 1), a partir de la captura de imágenes Landsat disponible en la plataforma Google Earth, incluyendo los puntos y lugares de muestreo geo-referenciados en ellos.

Dichas imágenes se completaron con el programa Corel DrawX6, agregando escala, título, leyenda, coordenadas geográficas, rutas y lugares de referencia.

Se armaron 16 perfiles litológicos, compaginando fotos tomadas sobre cada material a ojo desnudo y a la lupa binocular, de tal modo que se reflejen, en lo posible, las condiciones reales de ese material, agregando además, las descripciones de las características particulares. Esto último fue motivado por la necesidad de hacer más fácil la lectura y observación del material fotografiado frente a la diversidad de lugares estudiados.

Para la definición de los colores de los materiales, se utilizó la tabla de colores de Munsell, en su versión del Geological Society of America, pero los colores se tradujeron para una rápida interpretación.

También se trabajaron con el programa Corel Draw las fotos de los pozos representativos de cada lugar, sobre las que se señalaron los distintos estratos; las fotos de los minerales a la lupa y al microscopio petrográfico; la información obtenida del microscopio electrónico y los difractogramas obtenidos con Rayos X.

Se realizaron 105 cuadros y 80 gráficos con el programa Excel de tal modo que los datos y resultados sean fácilmente visualizables.

Se armaron 4 anexos, correspondientes a geo-referencias, mapas, cuadros y figuras con número, locación y descripción. En el caso del "anexo figuras" se estructuró con un código de color para diferenciar difractogramas de RX, perfiles litológicos, gráficos estadísticos, imágenes al microscopio electrónico y fotos.

De esta manera se espera que la búsqueda de imágenes y datos sea sencilla.

## Trabajos de laboratorio y técnicas utilizadas

Se aplicaron distintas técnicas según los materiales estudiados.

Las 69 muestras de salmueras recolectadas fueron enviadas al laboratorio Alex Stewart con el fin de obtener las concentraciones de B, Ba, Ca, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na y Sr por medio de la técnica ICP-OES (o plasma de acoplamiento inductivo, con un espectrofotómetro de emisión óptico (OES). Esta técnica trabaja con los límites de detección inferior indicados en el cuadro 1.

| Elemento | B    | Ba   | Ca   | Fe   | K    | Li   | Mg   | Mn   | Na   | Sr   |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Unidad   | mg/L |
| L detec. | 1    | 0,01 | 2    | 0,3  | 2    | 1    | 1    | 0,01 | 2    | 0,5  |

Cuadro 1. Límites de detección de cationes en salmueras.

También se determinó el contenido de cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) por argentimetría, con límite de detección de 5 miligramos por litro (mg/L) y de sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) por método gravimétrico con combustión de residuos, con límite de detección de 10 mg/l. Los carbonatos y otras mediciones relacionadas no se efectuaron, porque las muestras no se podían mantener refrigeradas ocasionando variaciones muy importantes en los valores originales. De todas maneras, en trabajos previos además de los iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  se detectó la presencia del ión  $\text{HCO}_3^-$  en pocas salinas y con valores muy bajos (máximo 1000 mg/l en un solo caso).

A las costras salinas y sales también enviadas al laboratorio Alex Stewart, se les analizaron los mismos cationes que a las salmueras con igual técnica, pero previamente, fueron sometidas a disolución en agua caliente (aproximadamente a 60-70°C), filtrado, determinación del contenido de material insoluble (sílice y sulfatos insolubles de Ba y Ca) y dilución repetitiva, hasta lograr la conductividad necesaria para los rangos de trabajo del análisis. En este caso los límites de detección surgen multiplicando los valores leídos, por el factor de dilución que se haya aplicado (cuadro 2).

| Elemento            | <b>B</b> | <b>Ba</b> | <b>Ca</b> | <b>Fe</b> | <b>K</b> | <b>Li</b> | <b>Mg</b> | <b>Mn</b> | <b>Na</b> | <b>Sr</b> |
|---------------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Unidad              | mg/L     | mg/L      | mg/L      | mg/L      | mg/L     | mg/L      | mg/L      | mg/L      | mg/L      | mg/L      |
| Límite de detección | 50       | 0,5       | 2         | 15        | 2        | 50        | 1         | 0,01      | 2         | 25        |

Cuadro 2. Límites de detección de cationes en costras salinas, ajustados según la dilución de la muestra.

Los fangos, sedimentos y rocas enviados al laboratorio Actlabs, fueron tratados analíticamente para Li, K, Mg, Ba, Ca, Fe, Mn, Na y Sr y otros, con la técnica combinada de Análisis de Activación Neutrónica (INAA, Instrumental Neutron Activation Analysis) más Digestión total-Plasma de acoplamiento inductivo, con un espectrofotómetro de emisión óptico (TD-ICP, Total Digestion Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry).

La técnica de "digestión total" es el ataque ácido o digestión más fuerte empleado en geoquímica. Utiliza ácidos clorhídrico, nítrico, perclórico y

fluorhídrico con el fin de efectuar la mejor disolución posible. Previo a estos análisis las muestras fueron lavadas, para quitar todo material soluble (sales), trituradas y pulverizadas.

Los límites de detección se describen en el cuadro 3.

| Elemento            | Na   | Mg     | Ca     | K      | Fe   | Sr     | Mn     | Ba   | Li     |
|---------------------|------|--------|--------|--------|------|--------|--------|------|--------|
| Unidad              | %    | %      | %      | %      | %    | ppm    | ppm    | ppm  | ppm    |
| Límite de detección | 0.01 | 0.01   | 0.01   | 0.01   | 0.01 | 1      | 1      | 50   | 1      |
| Procedimiento       | INAA | TD-ICP | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP |

Cuadro 3. Límites de detección de cationes en sedimentos y rocas.

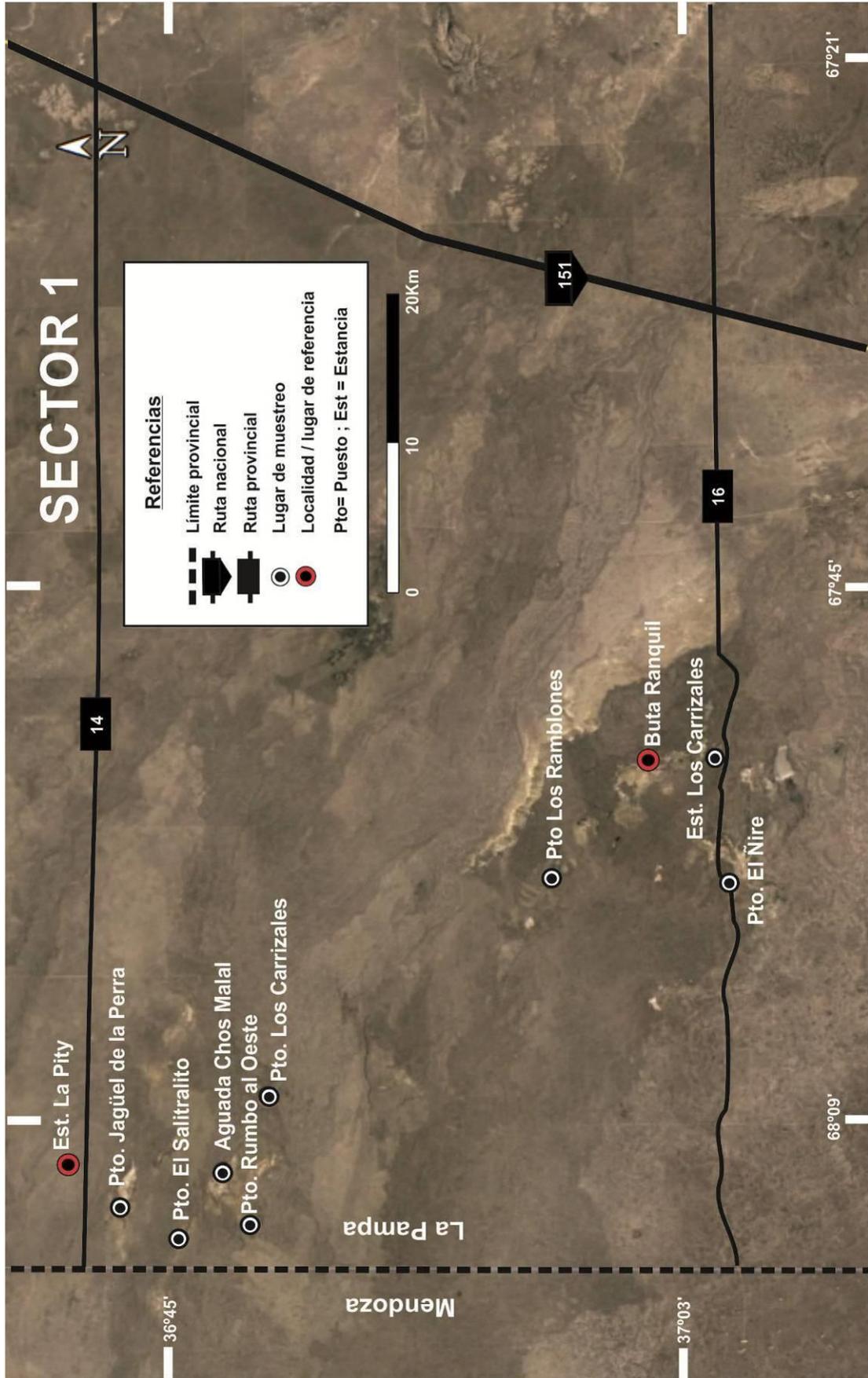
INAA: activación neutrónica, TD-ICP: digestión total-plasma acoplado por inducción.

Con la técnica de Difracción de Rayos X (DRX) y el método Rietveld, se identificaron y cuantificaron las fases minerales en roca total y en la fracción arcilla de los sedimentos y fangos salinos. Los difractogramas de rayos X se obtuvieron en un difractómetro Philips 3020 utilizando radiación CuK $\alpha$  filtro de Ni (a 35 kV, 40 mA). El barrido se realizó entre 3° y 70° 2 $\theta$ , con un paso de 0,04° y un tiempo de conteo de 2 seg/paso. Las aberturas de las ranuras de divergencia, recepción y dispersión fueron de 1, 0, 2 y 1° respectivamente y no se utilizó monocromador. La identificación de las fases minerales en roca total se realizó con la ayuda del programa X'Pert High Score. Para la identificación y cuantificación de los minerales de arcilla se siguieron los procedimientos normales descritos en la literatura y sintetizados por Moore y Reynolds, 1997. La cuantificación se basa en el trabajo de Biscayne (1965).

Los estudios de microscopía electrónica de barrido, se realizaron sobre los minerales seleccionados bajo lupa sin metalizar, con un equipo XL30 ESEM perteneciente al SEGEMAR. Las condiciones de trabajo fueron: voltaje de 20Kv, corriente de 30 micro-amper y detector dispersivo en energía EDAX con patrones internos del software propio del equipo para los microanálisis.

# **RESULTADOS**

Descripción de la  
información obtenida en  
campo, gabinete y  
laboratorio.



Mapa 3. **Sector 1.** Ubicación general de los sitios de muestreo.

## **SECTOR 1**

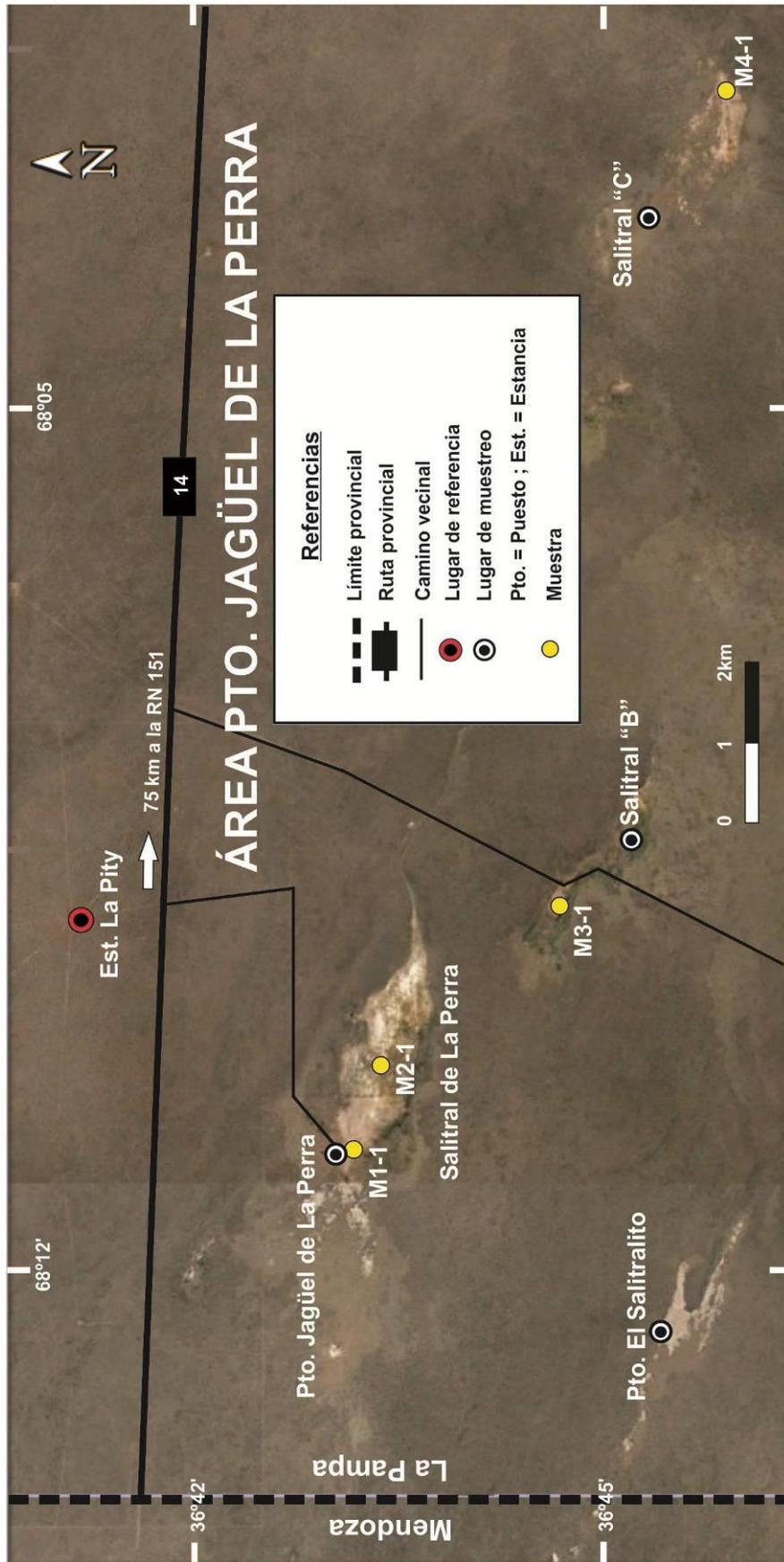
El área de estudio comprendida en el "Sector 1", se ubica en el ámbito del Departamento Chicalcó, al NO de la provincia de La Pampa, desde las coordenadas 36°42'S - 68°15'O hasta las coordenadas 37°06'S - 67°45'O. Se puede acceder desde la localidad de Santa Isabel hacia el sur por la Ruta Nacional 151 hasta la Ruta Provincial 14. Ingresando hacia el Oeste, se recorren aproximadamente 80 km, hasta la entrada de la Estancia La Pity. Del lado opuesto al acceso a la Estancia, hay una huella hacia el puesto Jagüel de la perra (mapa 3). De allí se debe continuar hacia el sur-sureste por caminos vecinales, para llegar a la Ruta Provincial 16 y al Salitral el Ñire.

El sector tiene un conjunto de salitrales que se disponen en grupos encadenados con orientación NO-SE. Esta disposición parece estar controlada por la presencia de las coladas de basalto El Puesto y Llano del Tapa del Pleistoceno (aprox. 0,2 Ma) pertenecientes a la Época eruptiva Puentelitense (Bernardi, 2016). En el área del salitral de Chos Malal (aflorante) hasta el puesto Los Ramblones (en subsuelo), el control estaría ejercido por la presencia de granitoides del Grupo El Portillo de edad permo-triásica (Narciso, *et al.*, 2007).

Se muestrearon los salitrales en pozos realizados con pala, hasta una profundidad promedio de 70 cm, en ubicaciones cercanas a los puestos Jagüel de La Perra (Sr. Ricardo Hurtado), Rumbo al Oeste (Sr. Pedro Yantel), El Salitralito (Sra. Carmen Maya), y El Ñire (Sr. Silverio Martinez). En el salitral de Chos Malal, cercano a la localidad, no se halló agua hasta el metro de profundidad, por lo cual se tomó una muestra de un pozo calzado (agua a 1,20 m) que se encuentra en las proximidades. En el puesto Los Ramblones (Flía Romero), afloran rocas carbonáticas (tosca) y basalto (del Pleistoceno, Bernardi 2016), por lo cual se prefirió muestrear el agua del molino de un pozo a 4 m de profundidad, que traspasa a estas rocas. En la Aguada Los Carrizales (Sr. Ainó) y en la Estancia Los Carrizales (encargado Sr. Abel Romero), se muestreó agua de manantial.

Los muestreos se realizaron entre el 12-13 de diciembre de 2016 y el 11-12 de febrero de 2017, obteniéndose muestras de agua y sedimentos de los pozos a pala.

Los salitrales se encontraron cubiertos de pasto fresco de 10 a 15 cm de altura y eflorescencias salinas superficiales o anegados (figuras 2, 9 y 16).



Mapa 4. **Sector 1**, Área Puesto Jagüel de la perra. Ubicación de las muestras.

## Área Puesto Jagüel de La Perra

El primer grupo del Sector 1, está conformado por 3 salitrales encadenados: el salitral de la perra donde se encuentra el Puesto Jagüel de La Perra (figura 2), el denominado salitral "B" y el denominado salitral "C" (mapa 4).

Se muestrearon cinco (5) puntos, cuyas geo-referencias se detallan en el cuadro 4.

| Fecha      | Denominación específica del lugar | Origen del material | Tipo de material recolectado | Nombre de la Muestra | Latitud       | Longitud      |
|------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| 12/12/2016 | salitral de La Perra              | pozo cavado         | agua/sedimentos              | M1-1                 | 36°43'21.35"S | 68°11'35.94"O |
| 12/02/2017 | salitral de La Perra              | pozo cavado         | agua                         | M1-1bis              | 36°43'21.35"S | 68°11'35.94"O |
| 12/02/2017 | salitral de La Perra              | pozo cavado         | sedimentos                   | M2-1                 | 36°43'32.44"S | 68°10'53.29"O |
| 12/02/2017 | salitral "B"                      | pozo cavado         | agua/sedimentos              | M3-1                 | 36°44'43.58"S | 68°09'34.12"O |
| 12/12/2016 | salitral "C"                      | pozo cavado         | agua/sedimentos              | M4-1                 | 36°45'50.06"S | 68°02'44.12"O |

Cuadro 4. Puesto Jagüel de La Perra, geo-referencias de las muestras.



Figura 2. Área Puesto Jagüel de La Perra, vista del aspecto general del salitral de La Perra el 12-02-2017.

Son salitrales con forma oblonga, en dirección NO-SE, que llegan a medir 5 x 1 km.

En los diferentes pozos cavados hasta una profundidad máxima de 1 m (figura 3), se hallaron arenas muy finas a finas, arcillosas, de color pardo amarillento pálido, en los primeros 40-50 cm, variando transicionalmente hasta el pardo amarillento oscuro, al metro del perfil. La variación de color se atribuye a la menor cantidad de arcilla que envuelve y rodea a los granos a medida que se profundiza, así como el aumento de tamaño de la fracción arena.

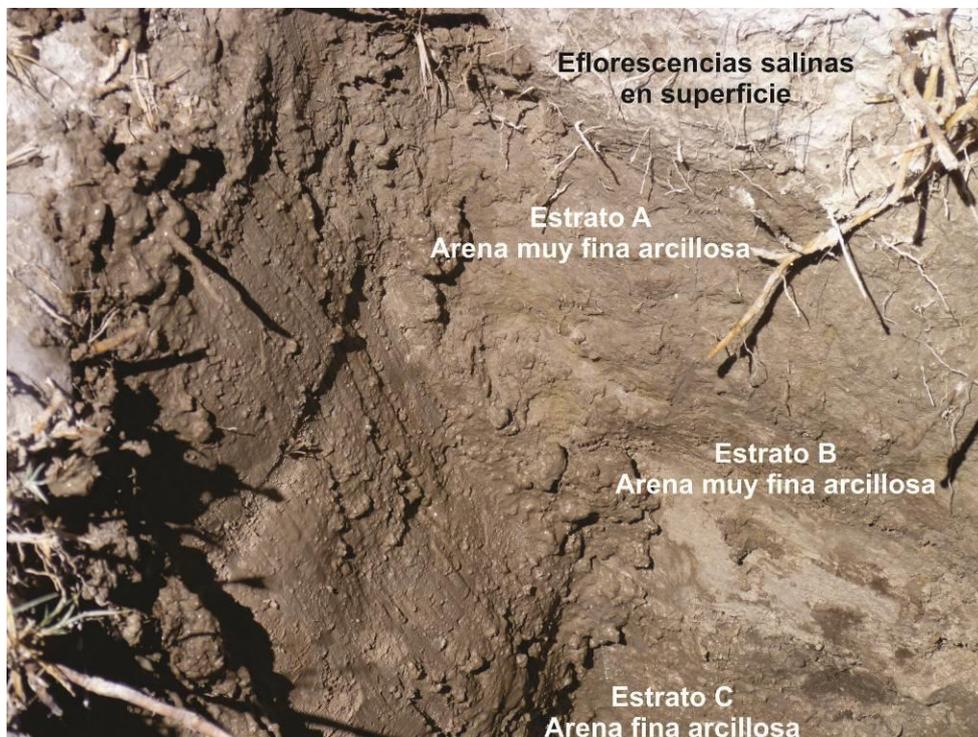


Figura 3. Área Puesto Jagüel de La Perra,  
foto del pozo cavado representativo de la zona estudiada,  
(muestra M1-1 en el mapa 4).

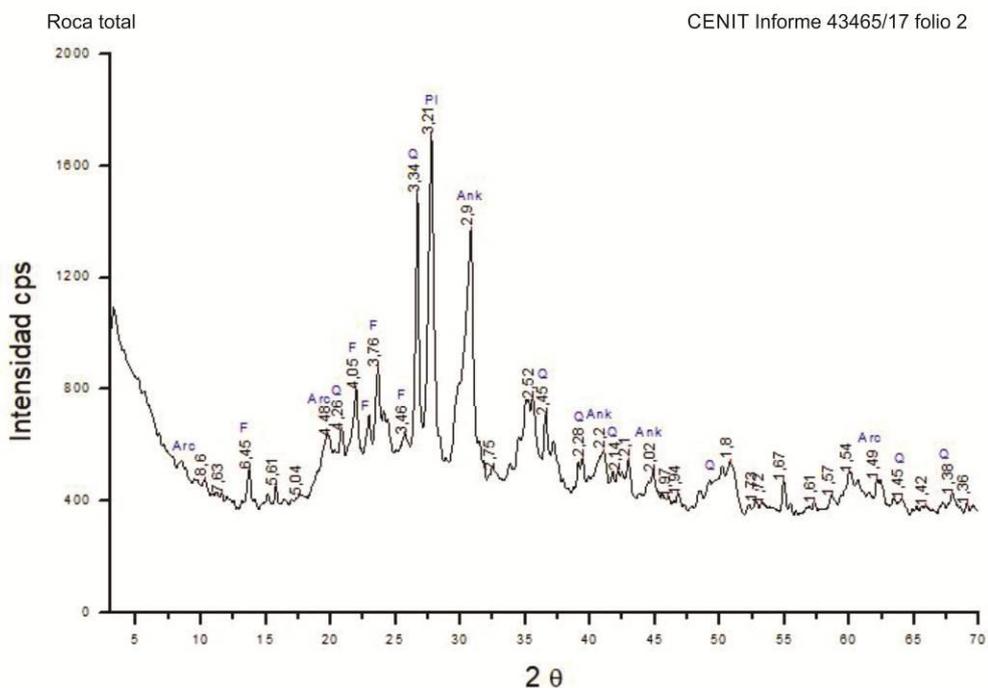
Durante la recolección del agua de los pozos se realizó in situ, una descripción de su aspecto general. En el cuadro 5, se detallan las observaciones.

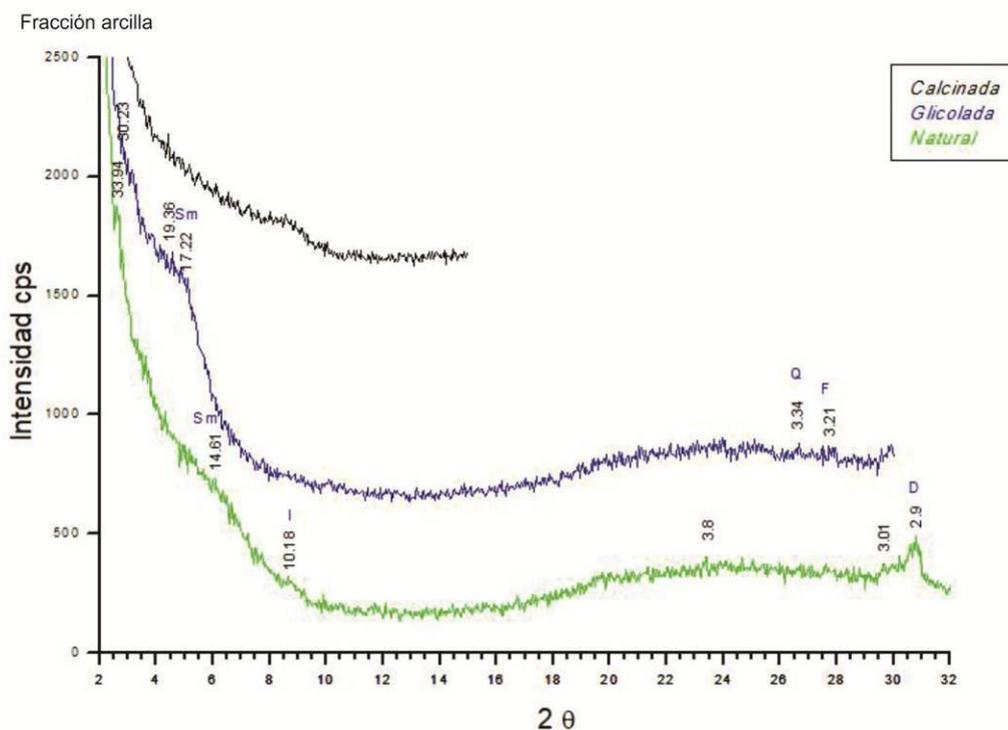
\*El color corresponde a la salmuera luego del precipitado natural de los sedimentos.

| Número  | Muestra | Extraída de | Color        | Olor    | Aspecto     | pH campo      |
|---------|---------|-------------|--------------|---------|-------------|---------------|
| M1-1    | agua    | pozo cavado | beige pálido | inodoro | translúcido | 7             |
| M1-1bis | agua    | pozo cavado | beige pálido |         | translúcido | Temp ambiente |
| M3-1    | agua    | pozo cavado | beige pálido |         | translúcido |               |
| M4-1    | agua    | pozo cavado | beige pálido |         | translúcido | 30°           |

Cuadro 5. Área Jagüel de La Perra, observaciones en campo de las aguas muestreadas.

Los sedimentos extraídos del perfil, se observaron con lupa binocular y con microscopio (técnica de grano suelto), posteriormente se confirmó y cuantificó la información con la técnica de Difractometría de Rayos X (DRX). Se determinó que los mismos están compuestos por plagioclasa, carbonatos (dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ /ankerita  $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$ ), cuarzo y arcillas (figuras 4 y 5).





Figuras 4 y 5. Área Puesto Jagüel de La Perra, difractogramas de Rayos X de los sedimentos de los pozos cavados.

En la observación a la lupa binocular y con la técnica de grano suelto, se hallaron fragmentos líticos formados mayormente por cristales de plagioclasa y vidrio, también individuos de circón, hipersteno y horblenda basáltica.

Durante la preparación para DRX, las muestras se pulverizan, por tanto el porcentaje de las plagioclasas identificadas mediante DRX, corresponde a la suma de los cristales sueltos en el sedimento más los liberados de los líticos pulverizados. Asimismo, el vidrio fresco se corresponde con el aumento del fondo en los difractogramas y el vidrio alterado de los líticos se corresponde con las esmectitas identificadas. El resto de los minerales observados en el microscopio, tales como circón, hipersteno y horblenda basáltica, por estar en proporciones muy pequeñas pudieron no haber sido incluidos en la muestra del DRX.

Se expone a continuación el perfil litológico generalizado obtenido en la zona, en el que se describen las estructuras, los componentes y las texturas de los materiales observados (figura 6).

### Área Puesto Jagüel de La Perra: perfil litológico

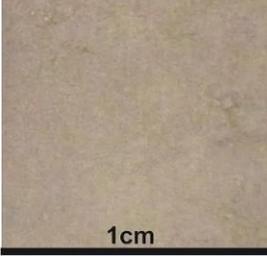
|  | Material suelto-seco<br>a ojo desnudo  | Observación<br>con lupa binocular  | Espesor<br>Profundidad  | Descripción: con lupa,<br>a grano suelto y DRX   |
|--|--|--|-------------------------|--|
| Estrato A<br>Arena muy fina<br>arcillosa |   |   | 20 cm                   | <u>Corresponde a los 3 estratos</u><br>De arriba hacia abajo: estructura laminar paralela a masiva, con compacidad baja a media y medianamente plástica.   |
| Estrato B<br>Arena muy fina<br>arcillosa |   |   | 30 cm                   | 4% Fracción arcilla: color blanco a pardo amarillento pálido. Esmectita e illita con escasas impurezas de cuarzo, feldespato y dolomita.   |
| Estrato C<br>Arena fina<br>arcillosa     |  |  | 10 cm (mínimo)<br>60 cm | -Composición:<br>64% de plagioclasa, 19% de carbonatos (dolomita/ankerita) y 13% de cuarzo.<br>(Además, vidrio blanco, vidrio marrón, fragmentos líticos de basalto, circón, hipersteno, horblenda basáltica). |

Figura 6. Área Puesto Jagüel de La Perra, perfil litológico generalizado.

Nota: El valor en cm, en la parte inferior de cada foto, corresponde a la base de la misma.

Se ejemplifica con algunas imágenes, la observación de los materiales a grano suelto (figuras 7 y 8).

Referencias para la interpretación de las figuras:

**Np**: Nicoles paralelos; **Nx**: Nicoles cruzados

**Pl**: plagioclasa; **Px**: piroxeno; **V**: vidrio; **Pv**: pasta volcánica; **C**: circón; **L**: fragmento lítico

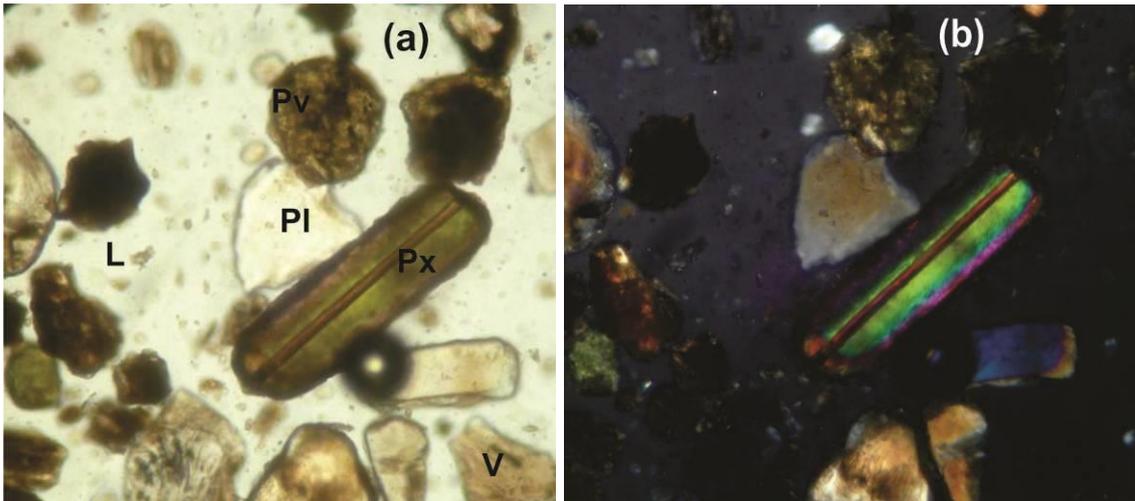


Figura 7. Área Puesto Jagüel de La Perra, fotos de grano suelto al microscopio, (a) Np, (b) Nx (base de cada imagen 0,18 cm).

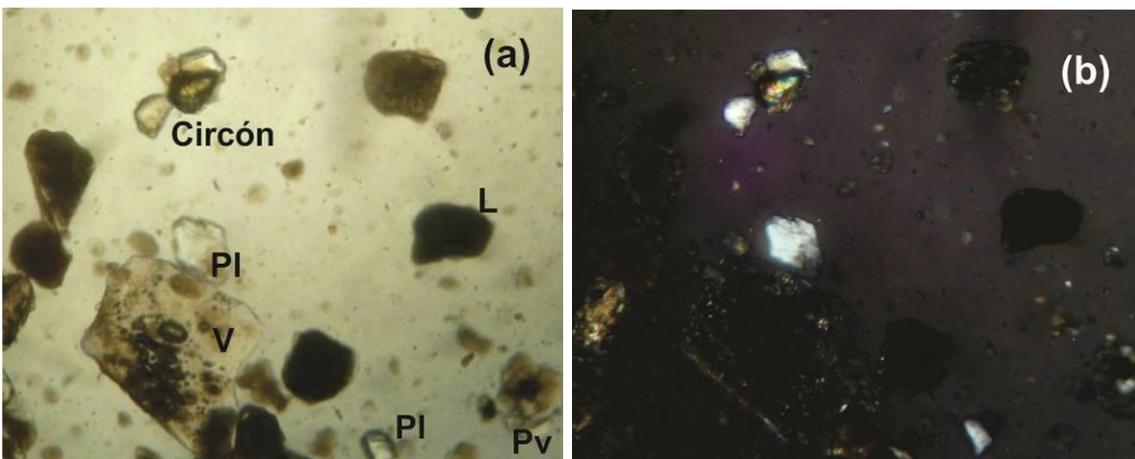


Figura 8. Área Puesto Jagüel de La Perra, fotos de grano suelto al microscopio, (a) Np, (b) Nx (base de cada imagen 0,15 cm).

### Análisis químicos y caracterización de aguas y sedimentos

Los análisis geoquímicos provistos por el laboratorio Alex Stewart S.A., de las aguas obtenidas en los pozos cavados, muestran en línea general un bajo contenido en todos los cationes (+) (hasta 0,3 g/l) con un leve enriquecimiento en  $\text{Na}^+$  (hasta 2 g/l). En el caso particular del  $\text{Li}^+$ , no se registró en ninguna muestra (cuadro 6).

El contenido de aniones, es moderado (hasta 2 g/l) tanto si se observa el ión cloruro  $\text{Cl}^-$  o el ión  $\text{SO}_4^{2-}$  (cuadro 7)

| Tipo de muestra | número / ubicación | Elemento            | B       | Ba         | Ca          | Fe      | K          | Li      | Mg         | Mn         | Na            | Sr      |
|-----------------|--------------------|---------------------|---------|------------|-------------|---------|------------|---------|------------|------------|---------------|---------|
|                 |                    | Unidad              | mg/L    | mg/L       | mg/L        | mg/L    | mg/L       | mg/L    | mg/L       | mg/L       | mg/L          | mg/L    |
|                 |                    | Técnica             | ICP-OES | ICP-OES    | ICP-OES     | ICP-OES | ICP-OES    | ICP-OES | ICP-OES    | ICP-OES    | ICP-OES       | ICP-OES |
|                 |                    | Límite de detección | 1       | 0,01       | 2           | 0,3     | 2          | 1       | 1          | 0,01       | 2             | 0,5     |
| Agua            | M1-1               |                     | <10     | <0,1       | 79          | <3      | 89         | <10     | 266        | <0,10      | 1514          | <5      |
| Agua            | M1-1bis            |                     | <10     | <0,10      | 44          | <3      | 127        | <10     | 238        | <0,10      | 1521          | <5      |
| Agua            | M3-1               |                     | <10     | <0,1       | 64          | <3      | 148        | <10     | 360        | 0,15       | 1787          | <5      |
| Agua            | M4-1               |                     | <10     | 0,19       | 36          | <3      | 187        | <10     | 103        | 0,20       | 2029          | <5      |
| <b>Promedio</b> |                    |                     | --      | <b>0,2</b> | <b>55,8</b> | --      | <b>138</b> | --      | <b>242</b> | <b>0,2</b> | <b>1712,8</b> | --      |

Cuadro 6. Área Puesto Jagüel de La Perra, resultados analíticos de cationes de las aguas, expresados en miligramos/litro. Ubicación de sitios de muestreo en el mapa 4.

| Tipo de Muestra | número / ubicación | Det. | Sulfatos $\text{SO}_4^{2-}$ | Cloruros $\text{Cl}^-$ | pH    | Conduct.         | Sólidos disueltos totales (secados a 180°) | Sólidos totales (secados a 103°) |
|-----------------|--------------------|------|-----------------------------|------------------------|-------|------------------|--|----------------------------------|
|                 |                    | U    | mg/l                        | mg/L                   | de pH | $\mu\text{S/cm}$ | mg/L                                       | mg/L                             |
|                 |                    | T    | Volum                       | Volum                  | ISE   | Instrum          | Grav.                                      | Grav.                            |
|                 |                    | LD   | 5                           | 5                      | 0,1   | 5                | 10   | 10                               |
| Agua            | M1-1               |      | 1635                        | 1632                   | 7,9   | 8700             | 6056                                       | 6647                             |
| Agua            | M1-1bis            |      | 1581                        | 1469                   | 8,1   | 8320             | 5608                                       | 8484                             |
| Agua            | M3-1               |      | 1350                        | 1845                   | 7,8   | 9250             | 6040                                       | 13084                            |
| Agua            | M4-1               |      | 1339                        | 2030                   | 8,5   | 9810             | 6344                                       | 7433                             |
| <b>Promedio</b> |                    |      | <b>1476</b>                 | <b>1744</b>            |       |                  | <b>6012</b>                                |                                  |

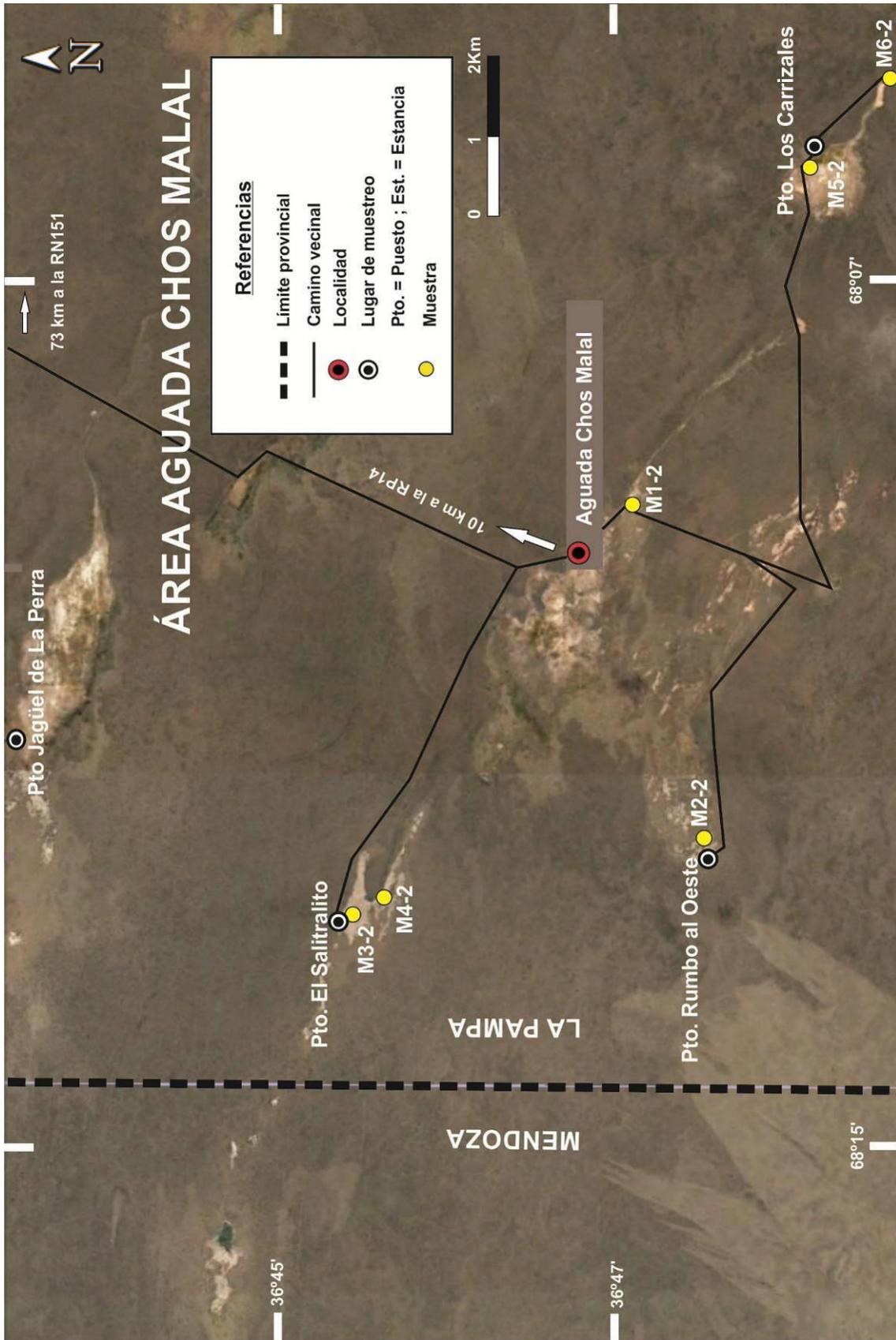
Cuadro 7. Área Puesto Jagüel de La Perra, resultados analíticos de aniones de las aguas, expresados en miligramos/litro, (U= unidades; T= técnica; LD= límite de detección inferior).

Los análisis químicos efectuados por el laboratorio Actlabs, corresponden a las muestras de sedimentos extraídos en los perfiles de los pozos cavados,

hasta una profundidad de 1 m. En el cuadro 8 se resume la información, seleccionando los cationes de mayor interés.

|                   | <b>Elemento</b>            | <b>Na</b> | <b>Mg</b> | <b>Ca</b> | <b>K</b> | <b>Fe</b> | <b>Sr</b> | <b>Mn</b> | <b>Ba</b> | <b>Li</b> |
|-------------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                   | <b>Unidad</b>              | %         | %         | %         | %        | %         | ppm       | ppm       | ppm       | ppm       |
|                   | <b>Límite de detección</b> | 0,01      | 0,01      | 0,01      | 0,01     | 0,01      | 1         | 1         | 50        | 1         |
|                   | <b>Técnica</b>             | INAA      | TD-ICP    | TD-ICP    | TD-ICP   | INAA      | TD-ICP    | TD-ICP    | INAA      | TD-ICP    |
| <b>Sedimentos</b> |                            | 2,37      | 4,86      | 4,22      | 1,70     | 2,33      | 623       | 737       | 230       | 35        |

Cuadro 8. Área Puesto Jagüel de La Perra, resultados analíticos de cationes de los sedimentos del salitral, expresados en porcentaje o partes por millón. INAA: activación neutrónica, TD-ICP: digestión total-plasma acoplado por inducción.



Mapa 5. Sector 1, Área Aguada Chos Malal, ubicación de las muestras.

## Área Aguada Chos Malal

Un segundo grupo de salitrales encadenados, se encuentra en la zona de Aguada Chos Malal (mapa 5). Los lugares de muestreo fueron: puesto El Salitralito (figura 9), puesto Rumbo al Oeste, pozo calzado cercano a la cantera, en el paraje Aguada Chos Malal y puesto Los Carrizales, con un total de seis (6) muestras, cuyas geo-referencias se detallan en el cuadro 9.

| Fecha      | Denominación específica del lugar | Origen del material | Tipo de material recolectado | Nombre de la Muestra | Latitud       | Longitud      |
|------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| 11/02/2017 | Aguada Chos Malal                 | pozo calzado        | agua                         | M1-2                 | 36°47'20.30"S | 68°09'38.62"O |
| 11/02/2017 | Pto Rumbo al Oeste                | pozo cavado         | agua/sedimentos              | M2-2                 | 36°47'47.82"S | 68°12'26.18"O |
| 11/02/2017 | Pto El Salitralito                | pozo cavado         | agua/sedimentos              | M3-2                 | 36°45'28.32"S | 68°13'04.61"O |
| 11/02/2017 | Pto El Salitralito                | pozo cavado         | agua/sedimentos              | M4-2                 | 36°45'41.56"S | 68°12'56.26"O |
| 13/12/2016 | Pto Los Carrizales                | pozo cavado         | sedimentos                   | M5-2                 | 36°48'30.22"S | 68°06'46.24"O |
| 13/12/2016 | Aguada Los Carrizales             | manantial           | agua                         | M6-2                 | 36°49'01.67"S | 68°06'02.19"O |

Cuadro 9. Área Aguada Chos Malal, geo-referencias de las muestras.



Figura 9. Área Aguada Chos Malal, vista del aspecto general del área en el Puesto El Salitralito, el 12-02-2017.

En los diferentes pozos cavados, hasta una profundidad máxima de 1 m (figura 10), se hallaron arena fina arcillosa y arena media, en contacto con roca granítica de grano medio correspondiente al Grupo El Portillo de edad permotriásica inferior.



Figura 10. Área Aguada Chos Malal, pozo cavado representativo de la zona estudiada, (muestra M5-2 en el mapa 5).

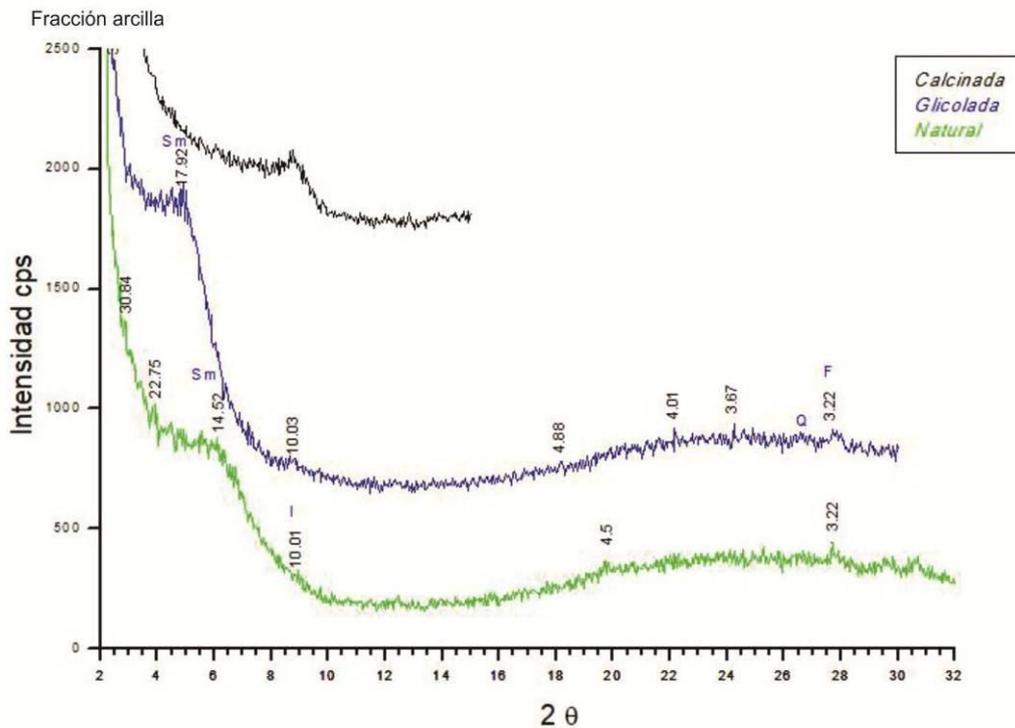
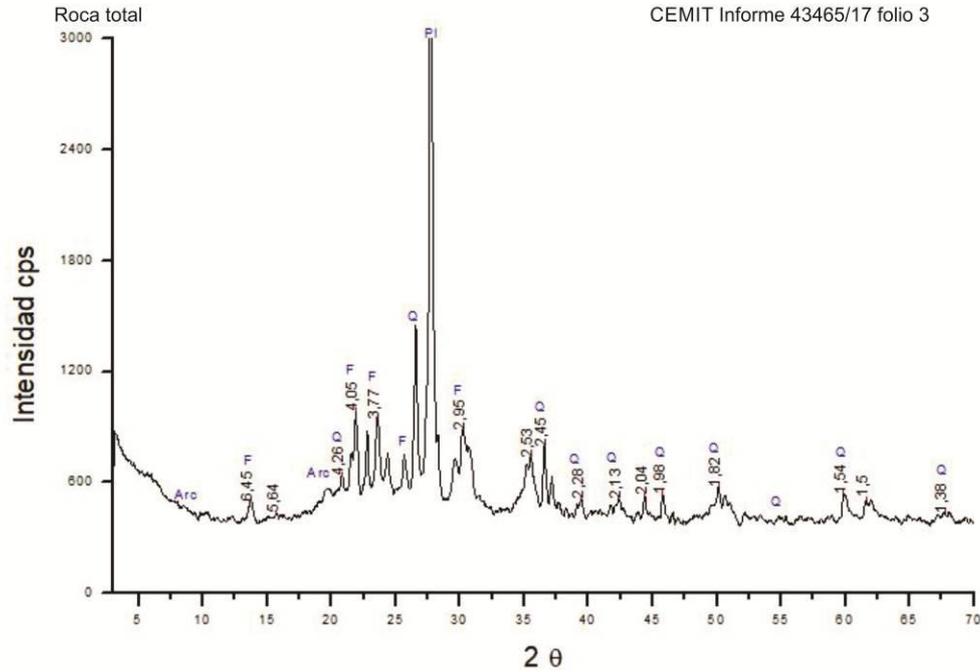
Durante la recolección del agua de los pozos se realizó, in situ, una descripción de su aspecto general. En el cuadro 10 se detallan las observaciones.

\*El color corresponde a la salmuera luego del precipitado natural de los sedimentos.

| Número | Muestra | Extraída de  | Color        | Olor    | Aspecto      | pH campo |
|--------|---------|--------------|--------------|---------|--------------|----------|
| M1-2   | agua    | pozo calzado | incolora     | inodoro | transparente | 7-8      |
| M2-2   | agua    | pozo cavado  | beige pálido |         | translúcida  | Temp.    |
| M3-2   | agua    | pozo cavado  | beige        |         | translúcida  | ambiente |
| M4-2   | agua    | pozo cavado  | beige        |         | translúcida  | 25°      |
| M6-2   | agua    | manantial    | incolora     |         | transparente | 10       |

Cuadro 10. Área Aguada Chos Malal, observaciones en campo de las aguas muestreadas.

La técnica de Difractometría de Rayos X (DRX), aplicada sobre estos sedimentos, arrojó que los mismos están compuestos mayoritariamente por plagioclasa y feldespato potásico, con cuarzo y arcillas (figuras 11 y 12).



Figuras 11 y 12. Área Aguada Chos Malal, difractogramas de Rayos X de los materiales del perfil.

Los detalles de estructuras, componentes y texturas de los materiales observados, se describen en el perfil litológico generalizado (figura 13).

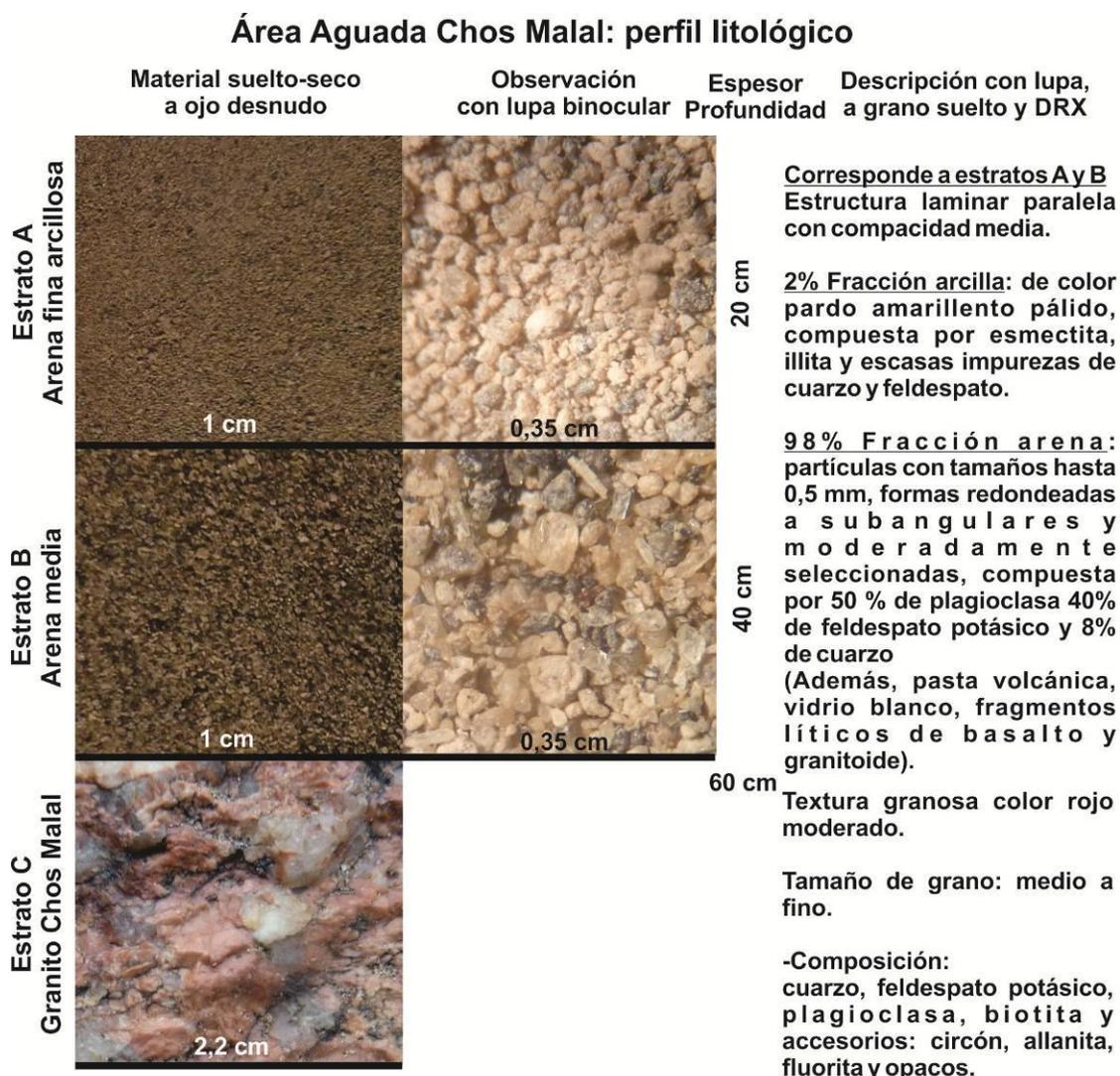


Figura 13. Área Aguada Chos Malal, perfil litológico generalizado.

Nota: El valor en cm, en la parte inferior de cada foto, corresponde a la base de la misma.

En la observación a la lupa binocular y a grano suelto se hallaron en el material, fragmentos líticos, vidrio fresco y pasta volcánica. Durante la preparación para DRX, las muestras se pulverizan, por tanto el porcentaje de las plagioclasas identificadas mediante DRX, corresponde a la suma de los cristales sueltos en el sedimento más los liberados de los líticos pulverizados. El porcentaje de los feldespato potásicos corresponde a los cristales sueltos de feldespato más aquellos liberados de los líticos graníticos. Asimismo el vidrio

fresco se corresponde con el aumento del fondo en los difractogramas y el vidrio alterado de líticos y pasta volcánica, se corresponde con las esmectitas identificadas.

Se ejemplifica con algunas imágenes, la observación de los materiales a grano suelto (figuras 14 y 15).

Referencias para la interpretación de las figuras:

**Np**: Nícoles paralelos; **Nx**: Nícoles cruzados

**PI**: plagioclasa; **Ap**: apatito; **V**: vidrio; **Pv**: pasta volcánica; **L**: fragmento lítico

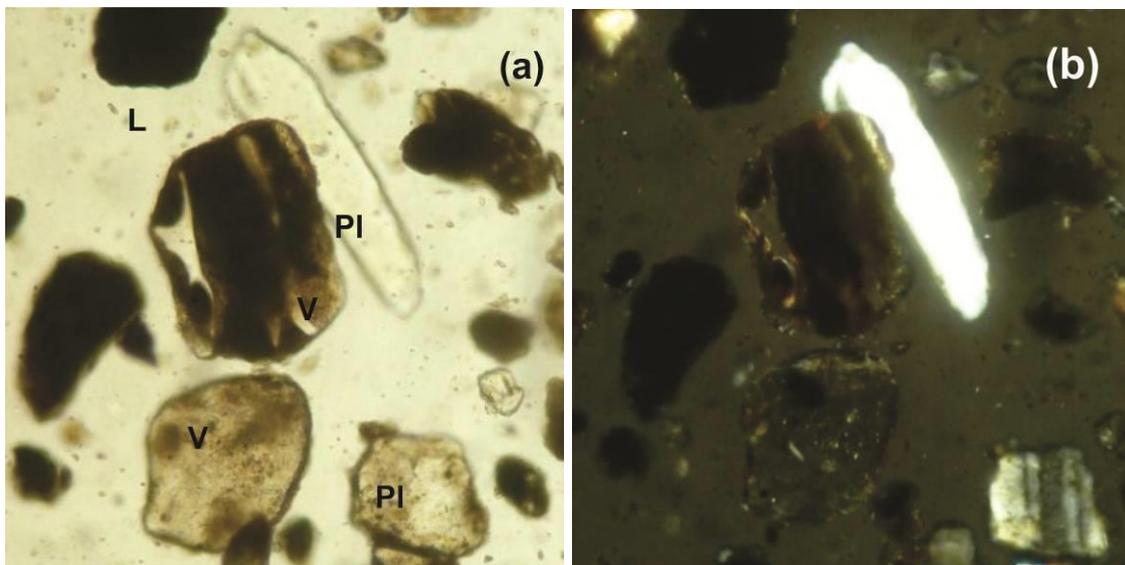


Figura 14. Área Aguada Chos Malal, fotos de grano suelto al microscopio, a) Np, b) Nx (base de cada imagen 0,15 cm).

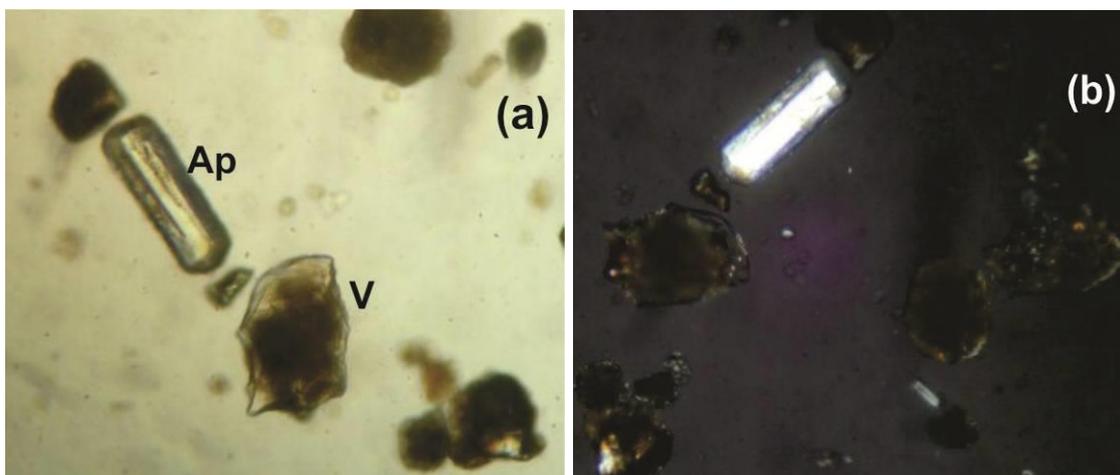


Figura 15. Área Aguada Chos Malal, fotos de grano suelto al microscopio, a) Np, b) Nx (base de cada imagen 0,15 cm).

### Análisis químicos y caracterización de aguas y sedimentos.

Los análisis geoquímicos provistos por el laboratorio Alex Stewart S.A. de las aguas obtenidas en los pozos cavados (cuadro 11 y 12), muestran un bajo contenido de todos los cationes (hasta 0,4 g/l) salvo de Na<sup>+</sup>, que presenta un enriquecimiento moderado (hasta 2,3 g/l). En el caso particular del Li<sup>+</sup>, no se registró en ninguna muestra.

El contenido de aniones, también es moderado, tanto si se observa el ión Cl<sup>-</sup> (hasta 3 g/l) como el ión SO<sub>4</sub><sup>=</sup> (hasta 1,5 g/l).

| Tipo de muestra               | número / ubicación | Elemento            | B       | Ba          | Ca        | Fe       | K          | Li      | Mg         | Mn          | Na          | Sr      |
|-------------------------------|--------------------|---------------------|---------|-------------|-----------|----------|------------|---------|------------|-------------|-------------|---------|
|                               |                    | Unidad              | mg/L    | mg/L        | mg/L      | mg/L     | mg/L       | mg/L    | mg/L       | mg/L        | mg/L        | mg/L    |
|                               |                    | Técnica             | ICP-OES | ICP-OES     | ICP-OES   | ICP-OES  | ICP-OES    | ICP-OES | ICP-OES    | ICP-OES     | ICP-OES     | ICP-OES |
|                               |                    | Límite de detección | 1       | 0,01        | 2         | 0,3      | 2          | 1       | 1          | 0,01        | 2           | 0,5     |
| <b>Agua</b>                   | M1-2               |                     | <10     | <0,1        | 23        | <3       | 104        | <10     | 274        | <0,1        | 1280        | <5      |
| <b>Agua</b>                   | M2-2               |                     | <10     | <0,1        | 81        | 3,1      | 205        | <10     | 387        | 0,12        | 2332        | <5      |
| <b>Agua</b>                   | M3-2               |                     | <10     | <0,1        | 20        | <3       | 151        | <10     | 55         | <0,10       | 1185        | <0,5    |
| <b>Agua</b>                   | M4-2               |                     | <10     | 0,16        | 53        | 3,5      | 169        | <10     | 439        | 0,53        | 2282        | <5      |
| <b>Agua</b>                   | M6-2               |                     | <10     | <0,1        | 24        | <3       | 68         | <10     | 191        | <0,10       | 1123        | <5      |
| <b>Promedio Pozos cavados</b> |                    |                     | --      | <b>0,16</b> | <b>51</b> | <b>3</b> | <b>175</b> | --      | <b>294</b> | <b>0,33</b> | <b>1933</b> | --      |

Cuadro 11. Área Aguada Chos Malal, resultados analíticos de cationes de las aguas, expresados en miligramos/litro. Ubicación de sitios de muestreo en el mapa 5.

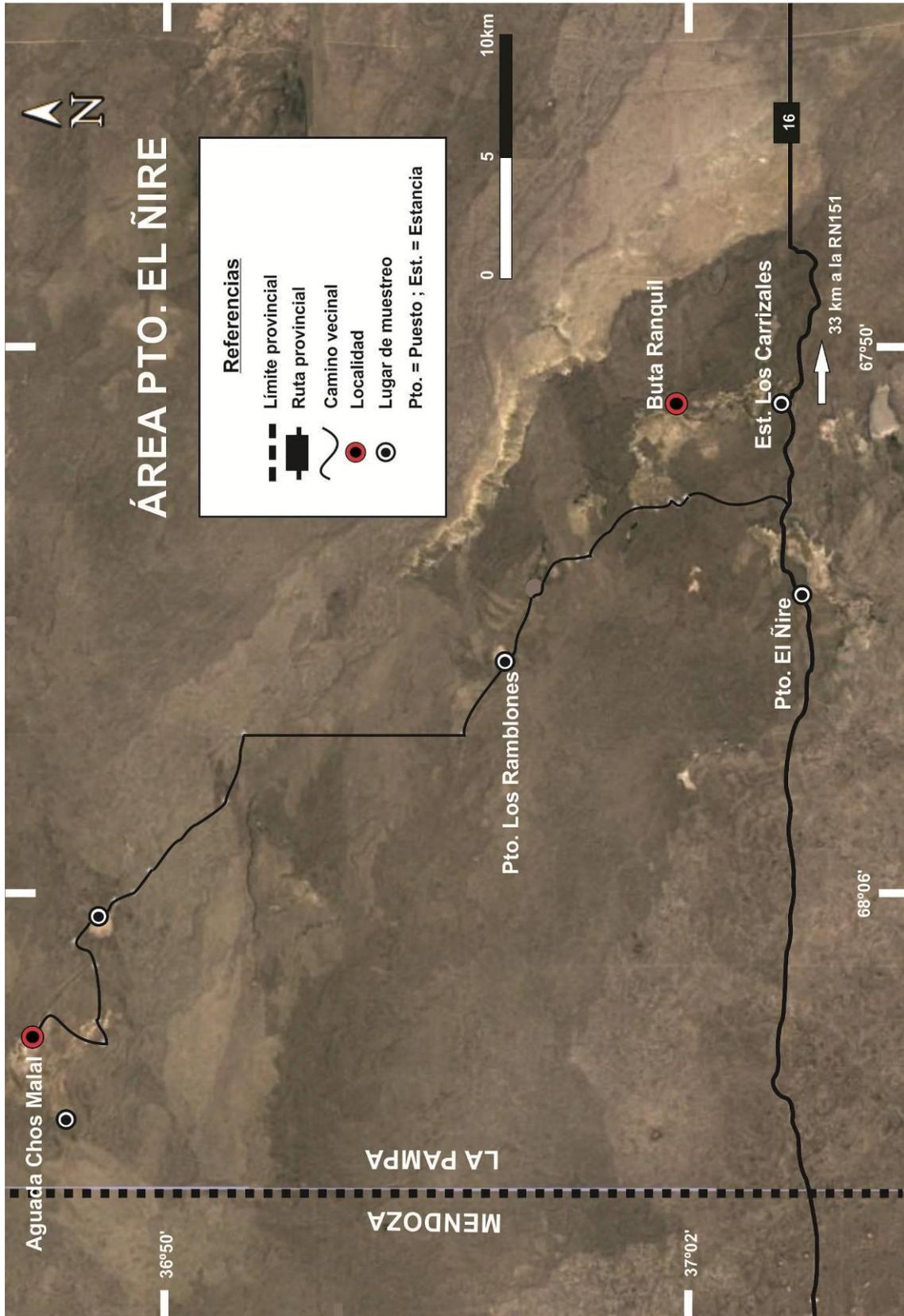
| Tipo de Muestra          | número / ubicación | Det. | Sulfatos SO4= | Cloruros Cl- | pH    | Conductividad | Sólidos disueltos totales (secados a 180°) | Sólidos totales (secados a 103°) |
|--------------------------|--------------------|------|---------------|--------------|-------|---------------|--|----------------------------------|
|                          |                    | U    | mg/l          | mg/L         | de pH | µS/cm         | mg/L                                       | mg/L                             |
|                          |                    | T    | Volum         | Volum        | ISE   | Instrum       | Grav.                                      | Grav.                            |
|                          |                    | LD   | 10            | 5            | 0,1   | 5             | 10   | 10                               |
| Agua                     | M1-2               |      | 867           | 1672         | 7,7   | 7560          | 4728                                       | 4876                             |
| Agua                     | M2-2               |      | 1166          | 2955         | 7,7   | 12500         | 8116                                       | 9388                             |
| Agua                     | M3-2               |      | 538           | 1119         | 8     | 6050          | 3708                                       | 5264                             |
| Agua                     | M4-2               |      | 1548          | 2833         | 7,5   | 12310         | 7976                                       | 8988                             |
| Agua                     | M6-2               |      | 846           | 1478         | 8,9   | 6820          | 4280                                       | 4513                             |
| <b>Promedio salmuera</b> |                    |      | <b>1084</b>   | <b>2302</b>  |       |               | <b>5762</b>                                |                                  |

Cuadro 12. Área Aguada Chos Malal, resultados analíticos de aniones de las aguas, expresados en miligramos/litro, (U= unidades; T= técnica; LD= límite de detección inferior).

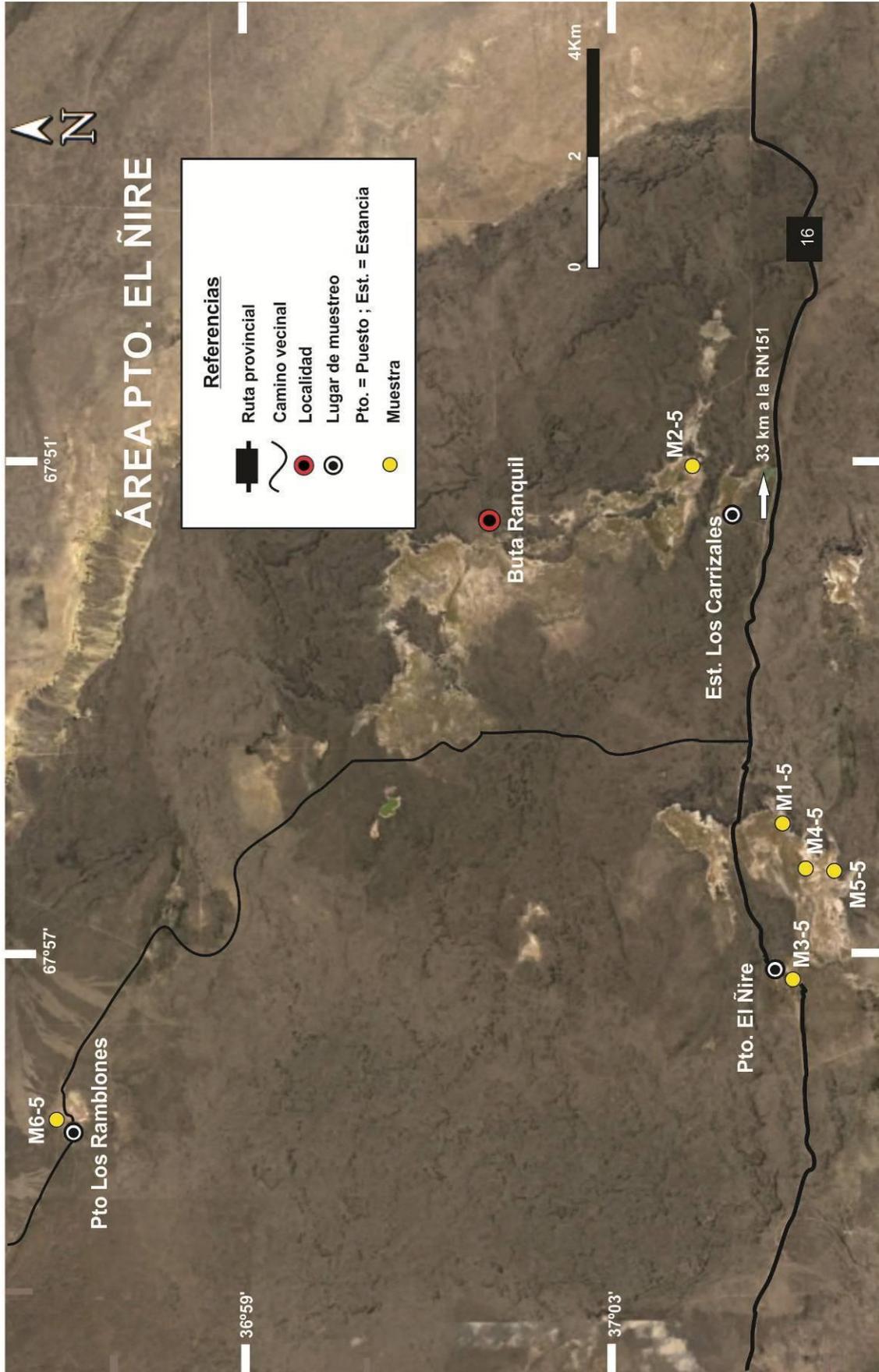
Los análisis químicos efectuados por el laboratorio Actlabs, corresponden a las muestras de sedimentos extraídos en los perfiles de los pozos cavados, hasta una profundidad de 1 m. En el cuadro 13, se resume la información seleccionando los cationes de mayor interés.

|                   | Elemento            | Na   | Mg     | Ca     | K      | Fe   | Sr     | Mn     | Ba   | Li     |
|-------------------|---------------------|------|--------|--------|--------|------|--------|--------|------|--------|
|                   | Unidad              | %    | %      | %      | %      | %    | ppm    | ppm    | ppm  | ppm    |
|                   | Límite de detección | 0,01 | 0,01   | 0,01   | 0,01   | 0,01 | 1      | 1      | 50   | 1      |
|                   | Técnica             | INAA | TD-ICP | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP |
| <b>Sedimentos</b> |                     | 2,81 | 2,46   | 3,64   | 1,85   | 3,11 | 454    | 740    | 360  | 27     |

Cuadro 13. Área Aguada Chos Malal, resultados analíticos de cationes de los sedimentos, expresados en porcentaje o partes por millón. INAA: activación neutrónica, TD-ICP: digestión total-plasma acoplado por inducción.



Mapa 6. **Sector 1**, Área Puesto El Ñire. Ubicación de los sitios de muestreo.



Mapa 7. Sector 1, Área Puesto El Ñire. Ubicación de las muestras.

## Área Puesto El Ñire

El tercer grupo de salitrales encadenados del Sector 1, se encuentra en la zona aledaña a Buta Ranquil. El salitral seleccionado para el muestreo principal fue El Ñire (figura 16), que se ubica hacia el sur de Buta Ranquil, sobre la ruta provincial 16. El total de puntos muestreados en esta zona fueron 6 (seis), incluyendo además el Puesto Los Ramblones y la Estancia Los Carrizales (mapas 6 y 7). Las correspondientes geo-referencias se detallan en el cuadro 14.

| Fecha      | Denominación específica del lugar | Tipo de trabajo   | Tipo de material recolectado | Nombre de la Muestra | Latitud       | Longitud      |
|------------|-----------------------------------|-------------------|------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| 13/12/2016 | salitral El Ñire                  | pozo cavado       | agua/sedimentos              | M1-5                 | 37°04'41.72"S | 67°55'26.91"O |
| 13/12/2016 | Est. Los Carrizales               | agua de manantial | agua                         | M2-5                 | 37°03'50.57"S | 67°50'59.73"O |
| 11/02/2017 | salitral El Ñire                  | pozo cavado       | agua/sedimentos              | M3-5                 | 37°04'39.26"S | 67°57'16.03"O |
| 11/02/2017 | salitral El Ñire                  | pozo cavado       | agua/sedimentos              | M4-5                 | 37°04'55.36"S | 67°55'59.54"O |
| 11/02/2017 | salitral El Ñire                  | pozo cavado       | agua/sedimentos              | M5-5                 | 37°05'11.44"S | 67°56'02.86"O |
| 13/12/2016 | Pto. Los Ramblones                | molino a 4 m      | agua                         | M6-5                 | 36°57'43.49"S | 67°59'11.69"O |

Cuadro 14. Área Puesto El Ñire, geo-referencias de las muestras.



Figura 16. Área Puesto El Ñire, aspecto general del salitral El Ñire el 12-02-2017.

El salitral El Ñire tiene una longitud de 6 km en dirección NE-SO y un ancho promedio de 600 m (mapa 7). En los diferentes pozos cavados hasta una profundidad máxima de 1 m, predominan arenas muy finas arcillosas o limo, que en estado húmedo se tornan plásticos (figura 17).



Figura 17. Área Puesto El Ñire, foto del pozo cavado representativo de la zona estudiada, (muestra M1-5 en mapa 7).

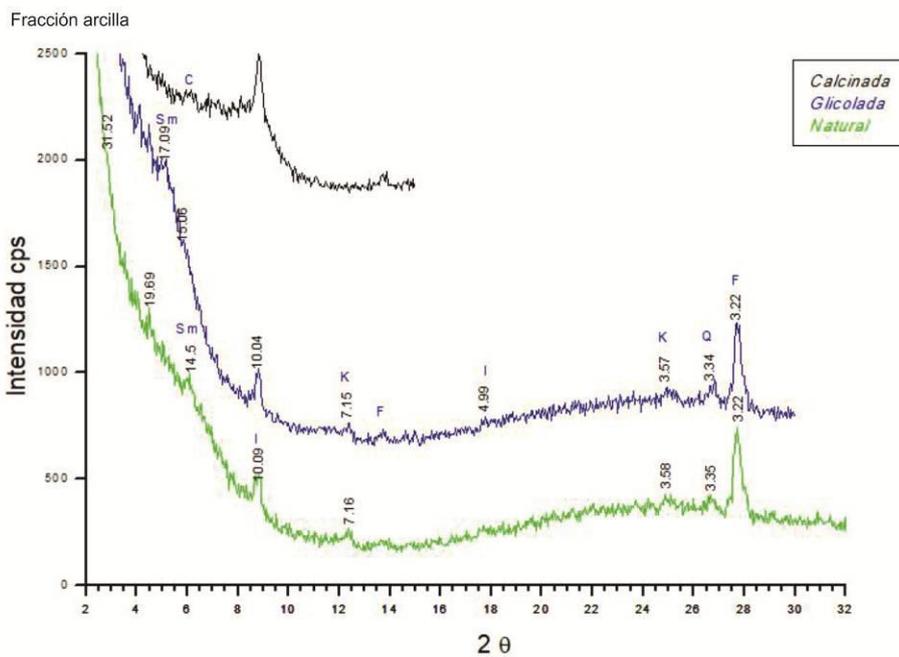
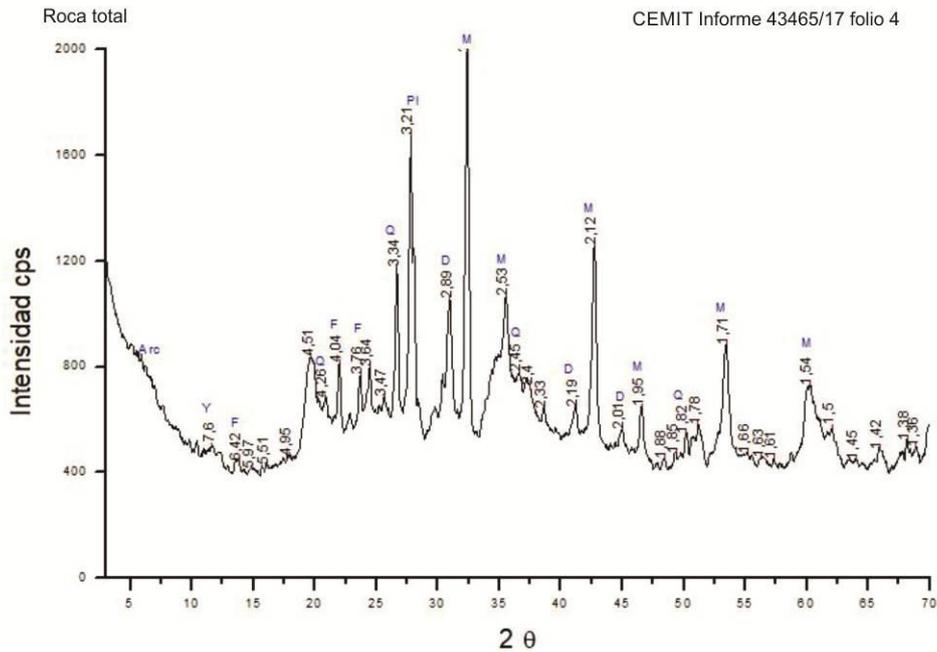
Durante la recolección del agua de los pozos, se realizó in situ, una descripción de su aspecto general. En el cuadro 15 se detallan las observaciones.

\*El color corresponde a la salmuera luego del precipitado natural de los sedimentos.

| Número | Muestra | Extraída de       | Color        | Olor    | Aspecto      | pH campo |
|--------|---------|-------------------|--------------|---------|--------------|----------|
| M1-5   | agua    | pozo cavado       | blanquecina  | inodoro | translúcida  | 9        |
| M2-5   | agua    | agua de manantial | incolora     |         | transparente | 7-8      |
| M3-5   | agua    | pozo cavado       | beige pálido |         | translúcida  | 8        |
| M4-5   | agua    | pozo cavado       | beige pálido |         | translúcida  | 8        |
| M5-5   | agua    | pozo cavado       | beige pálido |         | translúcida  | 8        |
| M6-5   | agua    | Molino a 4 m      | incolora     |         | transparente | 7        |

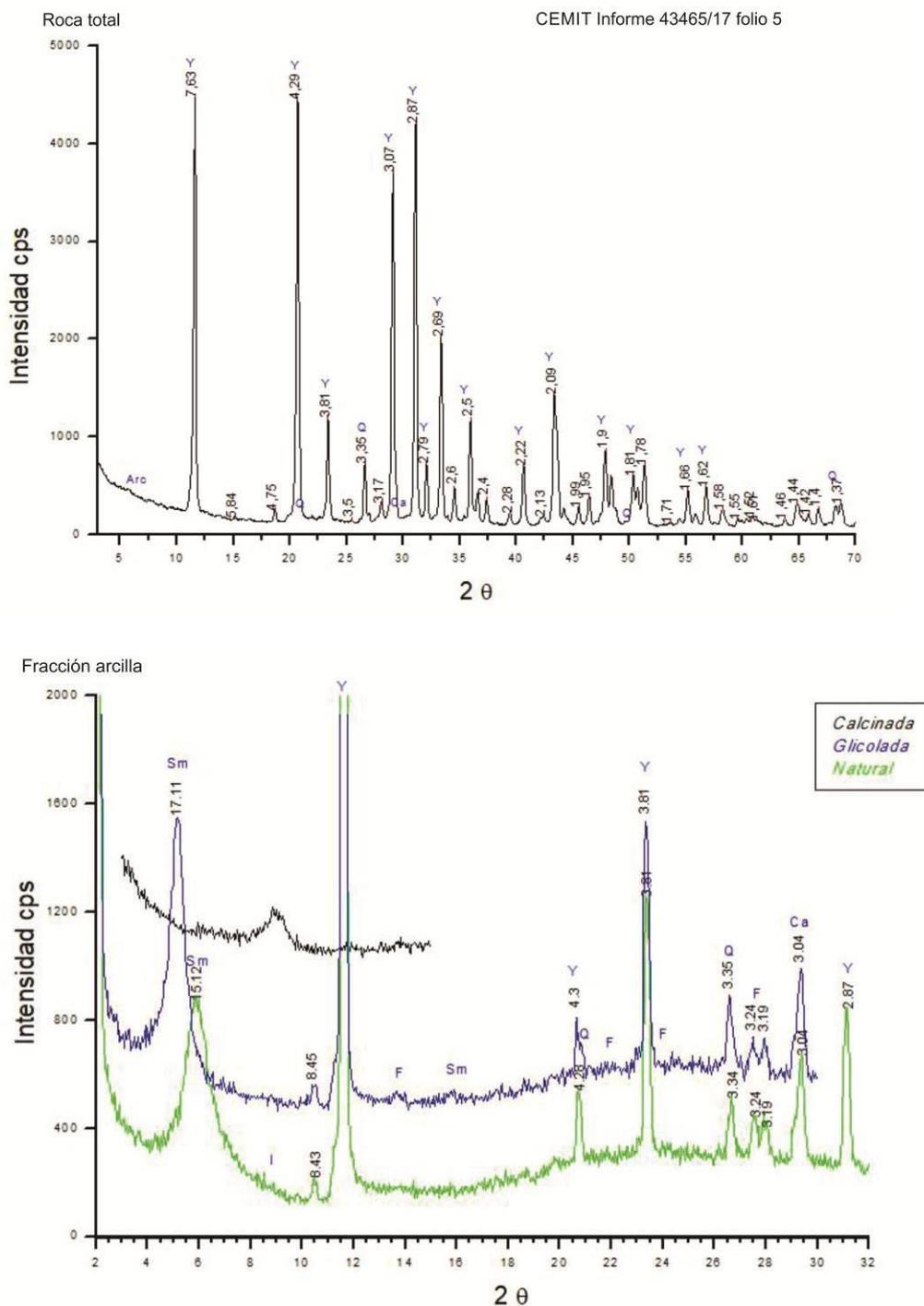
Cuadro 15. Área Salitral El Ñire, observaciones en campo de las aguas muestreadas.

El estudio de Difractometría de Rayos X sobre el material recolectado en el perfil determinó, que los materiales de los estratos 1 y 2 están compuestos por carbonatos (45% de magnesita,  $\text{MgCO}_3$  y 8% de dolomita,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  / ankerita,  $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$ ), plagioclasa, cuarzo, arcillas y 1% de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (figuras 18 y 19).



Figuras 18 y 19. Área Puesto El Ñire, difractograma de Rayos X de los estratos 1 y 2 del perfil.

En otro sector del salitral se encontraron en superficie niveles de limos color anaranjado amarillento pálido que en el perfil generalizado se ubican como estrato 3. La DRX sobre este material determinó que está formado mayoritariamente por Yeso, con carbonato de calcio y arcillas (figuras 20 y 21).



Figuras 20 y 21. Área Puesto El Ñire, difractograma de Rayos X del estrato 3 del perfil.

Los detalles de estructuras, componentes y texturas de los materiales observados, se describen en el perfil litológico generalizado (figura 22).

**Área Puesto El Ñire: perfil litológico**

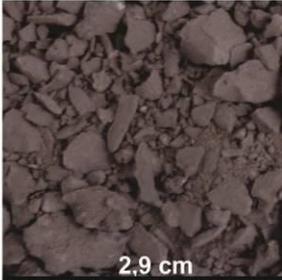
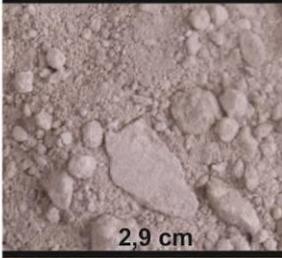
|   | Material suelto-seco<br>a ojo desnudo   | Observación<br>con lupa binocular  | Espesor<br>Profundidad  | Descripción: con lupa,<br>a grano suelto y DRX   |
|---|---|--|-------------------------|--|
| <b>Estrato A</b><br>Arena muy fina<br>arcillosa | <br>2,9 cm   | <br>0,35 cm   | 20 cm                   | Estructura: laminar paralela, compacidad media y grietas de desecación en superficie.<br>5% Fracción arcilla: color pardo pálido (esmectita, illita, caolinita)<br>95% Fracción arena: partículas con tamaños hasta 0,10 mm y formas angulares a subredondeadas, mal seleccionadas.<br>-Composición: 53% carbonatos (de Ca, Fe y Mg), 35% plagioclasa, 6% cuarzo, 1% yeso. (Además vidrio y pasta volcánica) |
| <b>Estrato B</b><br>Arena muy fina<br>arcillosa | <br>2,9 cm  | <br>0,35 cm  | 50 cm                   | Estructura laminar paralela y compacidad media.<br>Fracción arcilla: color pardo amarillento pálido.<br>Fracción arena: partículas con tamaños hasta 0,05 mm y formas angulares a subredondeadas, moderadamente seleccionadas.<br>-Composición: similar al estrato anterior.   |
| <b>Estrato C</b><br>limo arcilloso              | <br>3,3 cm | <br>0,35 cm | 70 cm<br>30 cm (mínimo) | Estructura masiva, compacidad media y plástica.<br>1% Fracción arcilla: color anaranjado amarillento pálido (esmectita con impurezas abundantes de yeso, epsomita, cuarzo, feldespato y calcio)<br>99% Fracción limo: partículas con formas redondeadas, muy seleccionadas.<br>-Composición: 94% yeso, 3% carbonato de Ca, 2% de cuarzo (Además vidrio, feldespato)  |

Figura 22. Área Puesto El Ñire, perfil litológico generalizado.

Nota: El valor en cm, en la parte inferior de cada foto, corresponde a la base de la misma.

En la observación del material al microscopio con la técnica de grano suelto, se registraron vidrio y pasta volcánica. Durante la preparación para DRX, las muestras se pulverizan, por tanto el porcentaje de vidrio fresco se corresponde con el aumento del fondo en los difractogramas y el vidrio alterado de la pasta volcánica se corresponde con las esmectitas identificadas.

Se ejemplifica con algunas imágenes, la observación de los materiales a grano suelto (figuras 23 y 24).

Referencias para la interpretación de las figuras:

**Np:** Nicoles paralelos; **Nx:** Nicoles cruzados

**Qz:** cuarzo; **Fel:** feldespato; **Pl:** plagioclasa; **V:** vidrio; **Pv:** pasta volcánica; **L:** fragmento lítico

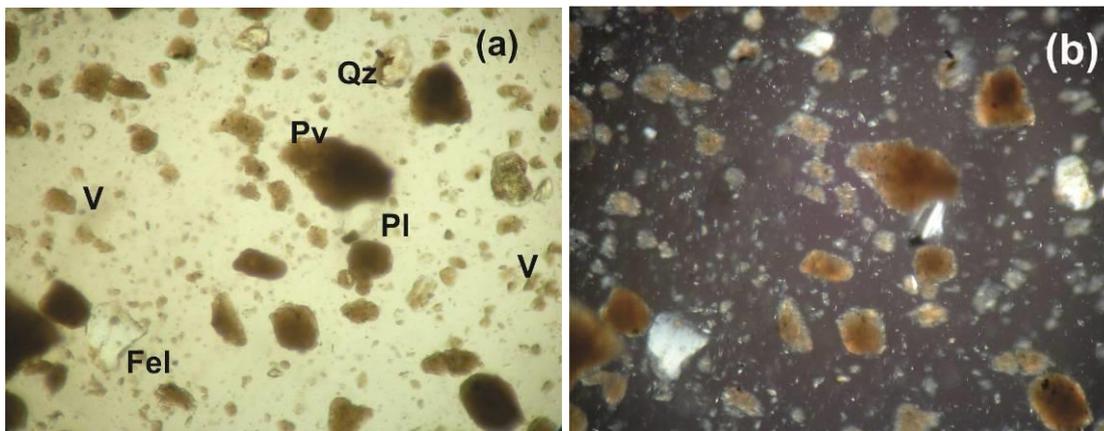


Figura 23. Área Salitral El Ñire, fotos de grano suelto al microscopio, (a) Np, (b) Nx, (base de cada imagen 0,19 cm).

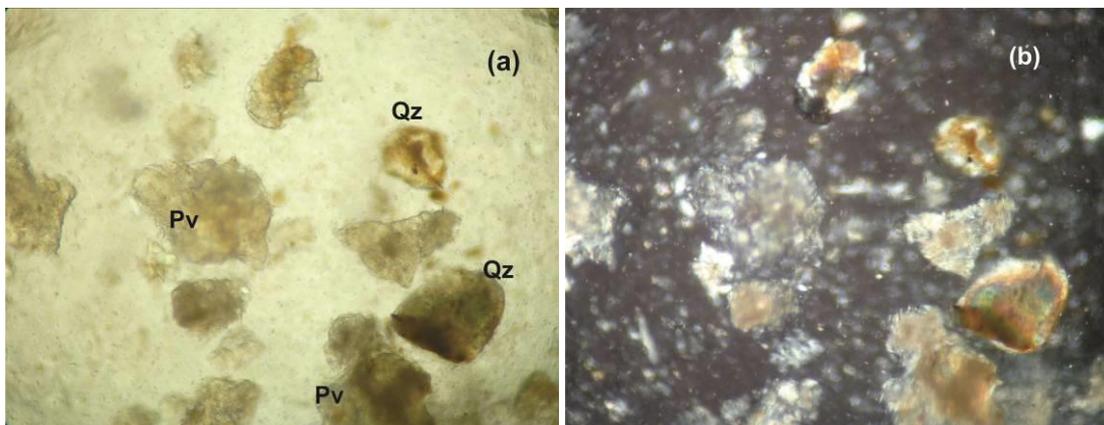


Figura 24. Área Salitral El Ñire, fotos de grano suelto al microscopio, (a) Np, (b) Nx, (base de cada imagen 0,19 cm).

### Análisis químicos y caracterización de salmueras y sedimentos

Los análisis geoquímicos provistos por el laboratorio Alex Stewart S.A., de las aguas obtenidas en los pozos cavados (Agua 1, en el cuadro 16), muestran un bajo contenido en todos los cationes con valores altos de sodio ( $\text{Na}^+$  hasta 9,8 g/l) en algunos casos que se asocian a valores levemente enriquecidos en potasio ( $\text{K}^+$  0,8 g/l). En ninguna muestra se registró  $\text{Li}^+$ .

| Tipo de muestra | número / ubicación | Elemento            | B       | Ba      | Ca      | Fe      | K       | Li      | Mg      | Mn      | Na      | Sr      |
|-----------------|--------------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                 |                    | Unidad              | mg/L    |
|                 |                    | Técnica             | ICP-OES |
|                 |                    | Límite de detección | 1       | 0,01    | 2       | 0,3     | 2       | 1       | 1       | 0,01    | 2       | 0,5     |
| Agua 1          | M1-5               |                     | 21      | <0,1    | <20     | <3      | 724     | <10     | 78      | <0,10   | 9478    | <5      |
| Agua 2          | M2-5               |                     | <10     | <0,1    | <20     | <3      | 45      | <10     | 132     | 0,10    | 606     | <5      |
| Agua 1          | M3-5               |                     | <10     | <0,1    | 29      | <3      | 59      | <10     | 148     | <0,1    | 658     | <5      |
| Agua 1          | M4-5               |                     | <10     | <0,1    | 77      | 3,1     | 54      | <10     | 228     | 0,1     | 692     | <5      |
| Agua 1          | M5-5               |                     | 13      | <0,1    | 20      | <3      | 754     | <10     | 740     | <0,1    | 9819    | 12,4    |
| Agua 2          | M6-5               |                     | <10     | <0,1    | <20     | <3      | 41      | <10     | 117     | <0,10   | 611     | <5      |
| Promedio 1      |                    |                     | 17      | --      | 42      | 3       | 758     | --      | 299     | 0,1     | 5162    | 12      |
| Promedio 2      |                    |                     | 0       | --      | 0       | --      | 43      | --      | 125     | 0,1     | 609     | --      |

Cuadro 16. Área Puesto El Ñire, resultados analíticos de cationes en las aguas, expresados en miligramos/litro. Ubicación de sitios de muestreo en el mapa 7.

Considerando sólo las muestras tomadas en pozos cavados (Agua 1), los valores manifiestan la presencia de dos tipos de agua dentro del salitral; uno de ellos con valores similares al agua de manantial y al agua de molino, extraídas en otros puntos.

Con respecto a los aniones cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) y sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), las mismas muestras con alto sodio y potasio tienen niveles altos de sulfatos y cloruros (hasta 10 g/l) como se observa en el cuadro 17.

| Tipo de Muestra | número / ubicación | Det. | Sulfatos SO4= | Cloruros Cl- | pH    | Conduct. | Sólidos disueltos totales (secados a 180°) | Sólidos totales (secados a 103°) |
|-----------------|--------------------|------|---------------|--------------|-------|----------|--|----------------------------------|
|                 |                    | U    | mg/l          | mg/L         | de pH | µS/cm    | mg/L                                       | mg/L                             |
|                 |                    | T    | Volum         | Volum        | ISE   | Instrum  | Grav.                                      | Grav.                            |
|                 |                    | LD   | 10            | 5            | 0,1   | 5        | 10   | 10                               |
| Agua 1          | M1-5               |      | 7203          | 8281         | 9     | 36300    | 27507                                      | 28933                            |
| Agua 2          | M2-5               |      | 379           | 699          | 8,9   | 4180     | 2547                                       | 2673                             |
| Agua 1          | M3-5               |      | 563           | 772          | 7,9   | 4350     | 2740                                       | 2752                             |
| Agua 1          | M4-5               |      | 606           | 825          | 7,6   | 4720     | 2936                                       | 5484                             |
| Agua 1          | M5-5               |      | 9862          | 10329        | 8,4   | 41600    | 32660                                      | 33660                            |
| Agua 2          | M6-5               |      | 415           | 775          | 7,9   | 4190     | 2547                                       | 2607                             |
| Promedio 1      |                    |      | 4559          | 5052         |       |          | 30084                                      |                                  |
| Promedio 2      |                    |      | 397           | 737          |       |          | 2693                                       |                                  |

Cuadro 17. Área Puesto El Ñire, resultados analíticos de aniones en las aguas, expresados en miligramos/litro, (U= unidades; T= técnica; LD= límite de detección inferior).

Los análisis químicos efectuados por el laboratorio Actlabs corresponden a las muestras de sedimentos extraídos en los perfiles de los pozos cavados, hasta una profundidad de 1 m.

En el cuadro 18, se resume la información seleccionando los cationes de mayor interés.

|                   | Elemento            | Na   | Mg     | Ca     | K      | Fe   | Sr     | Mn     | Ba   | Li     |
|-------------------|---------------------|------|--------|--------|--------|------|--------|--------|------|--------|
|                   | Unidad              | %    | %      | %      | %      | %    | ppm    | ppm    | ppm  | ppm    |
|                   | Límite de detección | 0.01 | 0.01   | 0.01   | 0.01   | 0.01 | 1      | 1      | 50   | 1      |
|                   | Técnica             | INAA | TD-ICP | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP |
| <b>Sedimentos</b> |                     | 0,71 | 12,9   | 5,90   | 0,54   | 1,63 | 970    | 372    | 230  | 79     |

Cuadro 18. Área Puesto El Ñire, resultados analíticos de cationes de los sedimentos del salitral, expresados en porcentaje o partes por millón. INAA: activación neutrónica, TD-ICP: digestión total-plasma acoplado por inducción.

## Análisis de los datos químicos obtenidos en el Sector 1.

Para la interpretación de los valores químicos de las aguas recolectadas en el Sector 1, se utilizó la información provista por el laboratorio Alex Stewart S.A. (cuadros 6, 7, 11, 12, 16 y 17) separando las aguas obtenida en pozos cavados, de aquellas de manantiales, surgentes y molinos en las distintas áreas, y calculando sus valores promedios (cuadro 19).

| Locación               | mg/l | Na <sup>+</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Li <sup>+</sup> | TSD   |
|------------------------|------|-----------------|-----------------|------------------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------|
| Jagüel de la perra     |      | 1.713           | 1.744           | 1.476                        | 242              | 56               | 138            | <10             | 6012  |
| Aguada Chos Malal      |      | 1.933           | 2.302           | 1.084                        | 294              | 51               | 175            | <10             | 5762  |
| Manantial/molino       |      | 1.201           | 1.575           | 857                          | 233              | 24               | 86             | <10             |       |
| El Ñire a              |      | 9.649           | 9.305           | 8.533                        | 409              | 20               | 739            | <10             | 30084 |
| El Ñire b              |      | 675             | 799             | 535                          | 188              | 53               | 52             | <10             | 2693  |
| Surgentes /molino      |      | 609             | 737             | 397                          | 125              |                  | 43             | <10             |       |
| <b>VMax agua dulce</b> |      | <b>170</b>      | <b>250</b>      | <b>150</b>                   | <b>100</b>       | <b>250</b>       | <b>10</b>      | <b>1</b>        |       |

Cuadro 19. Sector 1, valores promedios de iones en aguas.

Valores máximos de agua dulce recopilado de  
[http://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1\\_1.pdf](http://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1_1.pdf).

Se utilizó el valor "Total de Sólidos Disueltos" para clasificar las aguas por su nivel de salinidad según Davis y Wiest (1967) (cuadro 20).

| Tipos de agua | Total de Sólidos Disueltos  |
|---------------|-----------------------------|
| Agua dulce    | Contenido <a 1000 mg/l      |
| Agua salobre  | entre 1000 y 10.000 mg/l    |
| Agua salada   | entre 10.000 y 100.000 mg/l |
| Salmuera      | contenidos > a 100.000 mg/l |

Cuadro 20. Clasificación de salinidad según Davis y Wiest (1967).

De la observación de los valores en los cuadros se desprende que las aguas relacionadas con el Puesto Jagüel de la perra y las del área Aguada Chos Malal (área norte del Sector) pueden considerarse aguas salobres por

sus contenidos entre 5,7 y 6 g/l de sólidos disueltos. En el caso de las muestras de agua recolectadas en el área del Puesto El Ñire podemos dividir las entre aguas ligeramente salobres con contenidos de 2,7 g/l y aguas saladas con contenidos de 30 g/l. Si se comparan estos valores con los correspondientes al agua dulce recopilados en el cuadro 19, se destaca fácilmente que la mayor parte de las concentraciones de las muestras superan poco la del agua dulce en casi todos los cationes (figura 25).

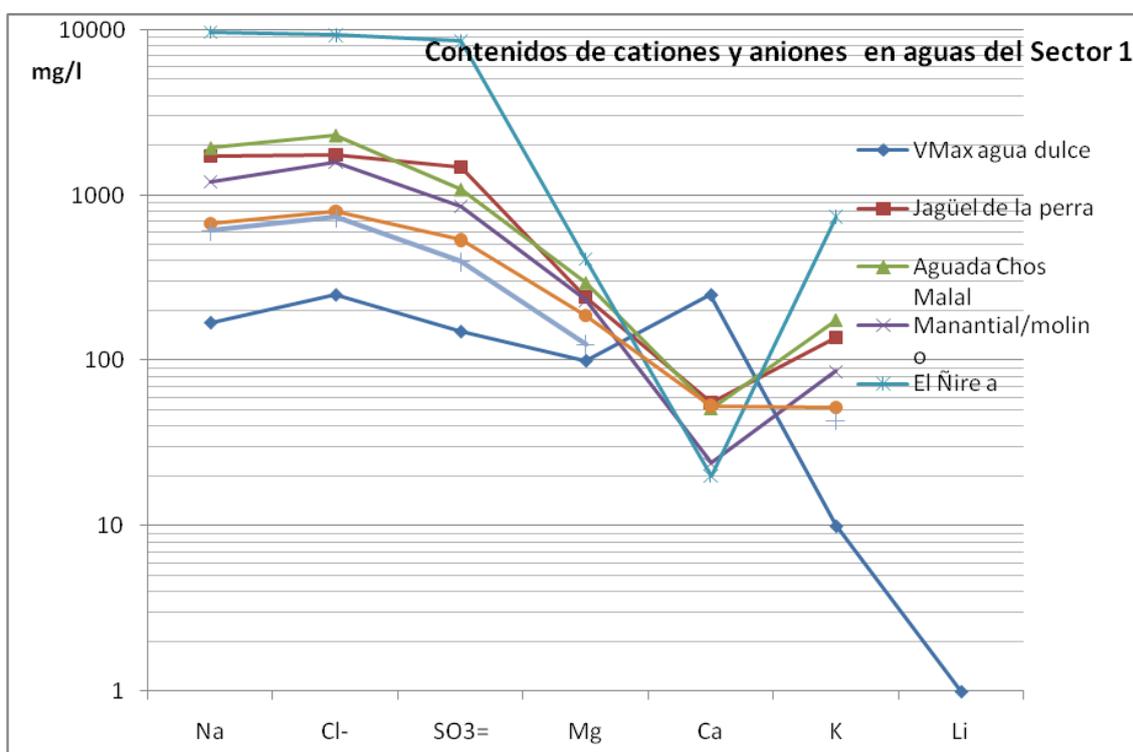


Figura 25. Sector 1, grafico comparativo de contenidos de cationes y aniones entre valores normales para agua dulce y los valores registrados para el Sector 1. Valores máximos de agua dulce recopilado de [http://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1\\_1.pdf](http://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1_1.pdf).

Con respecto a la clasificación por cationes y aniones, son aguas cloruradas-sulfatadas sódicas, con presencia de magnesio y potasio pero no en valores de interés económico. Con respecto al catión  $\text{Li}^+$ , objetivo del presente trabajo, el mismo no se registró en ninguna toma.

El estudio del contenido catiónico en los sedimentos y rocas, se realizó con el fin de conocer la cantidad total de litio que contiene el material clástico en, o en los alrededores de los cuerpos estudiados (cuadro 20-1). Este es el contenido máximo potencial, que estaría disponible en el caso de meteorización de los minerales que lo portan. En relación a esto, mediante observación petrográfica y por difracción de RX, se determinó que la mineralogía dominante en estas muestras es plagioclasa, acompañada de vidrio volcánico y arcillas.

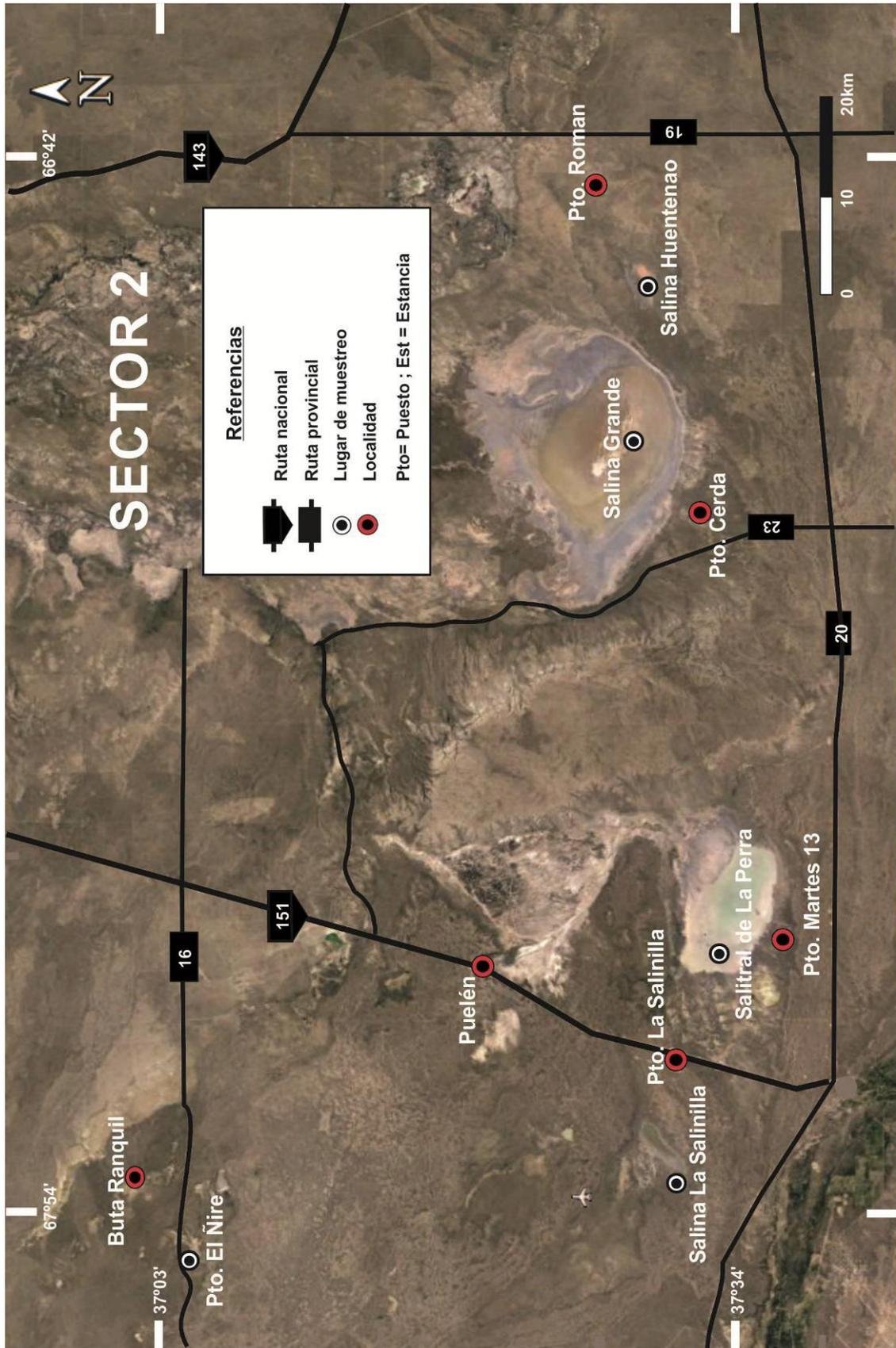
| Cuerpos del Sector 1    | Contenido promedio de Li en sedimentos (ppm) |
|-------------------------|--|
| Área Jagüel de La Perra | 35   |
| Área Aguada Chos Malal  | 27   |
| Area Salitral El Nire   | 79   |

Cuadro 20-1. Sector 1, resumen de valores de Li en sedimentos, expresados en partes por millón.

El contenido de  $\text{Li}^+$  en las dos primeras áreas no excede los 35 ppm mientras que en el salitral El Ñire los valores registrados fueron algo mayor, 79 ppm. Este rango de valores es coincidente con el hallado en depósitos de loess desértico de varios sectores de la Tierra (Sauzéat *et al.*, 2015).

A partir de los valores obtenidos se concluye que los mismos no representan interés, ya que incluso en el caso hipotético (poco probable) de que esté todo disponible, los mismos no llegan a constituir una anomalía significativa.

A partir de la información lograda, se puede concluir que en el SECTOR 1 no se hallaron parámetros que reflejen algún tipo de anomalía de  $\text{Li}^+$ , tampoco de  $\text{Mg}^{2+}$  o  $\text{K}^+$  que pueda ser de potencial interés.



Mapa 8. **Sector 2.** Ubicación de los lugares de muestreo.

## **SECTOR 2**

El "Sector 2", ocupa la superficie delimitada por las coordenadas 37°15'S-67°54'O y 37°39'S-66°42'O, y se ubica, parte en el Departamento Puelén y parte en el Departamento Limay Mahuida.

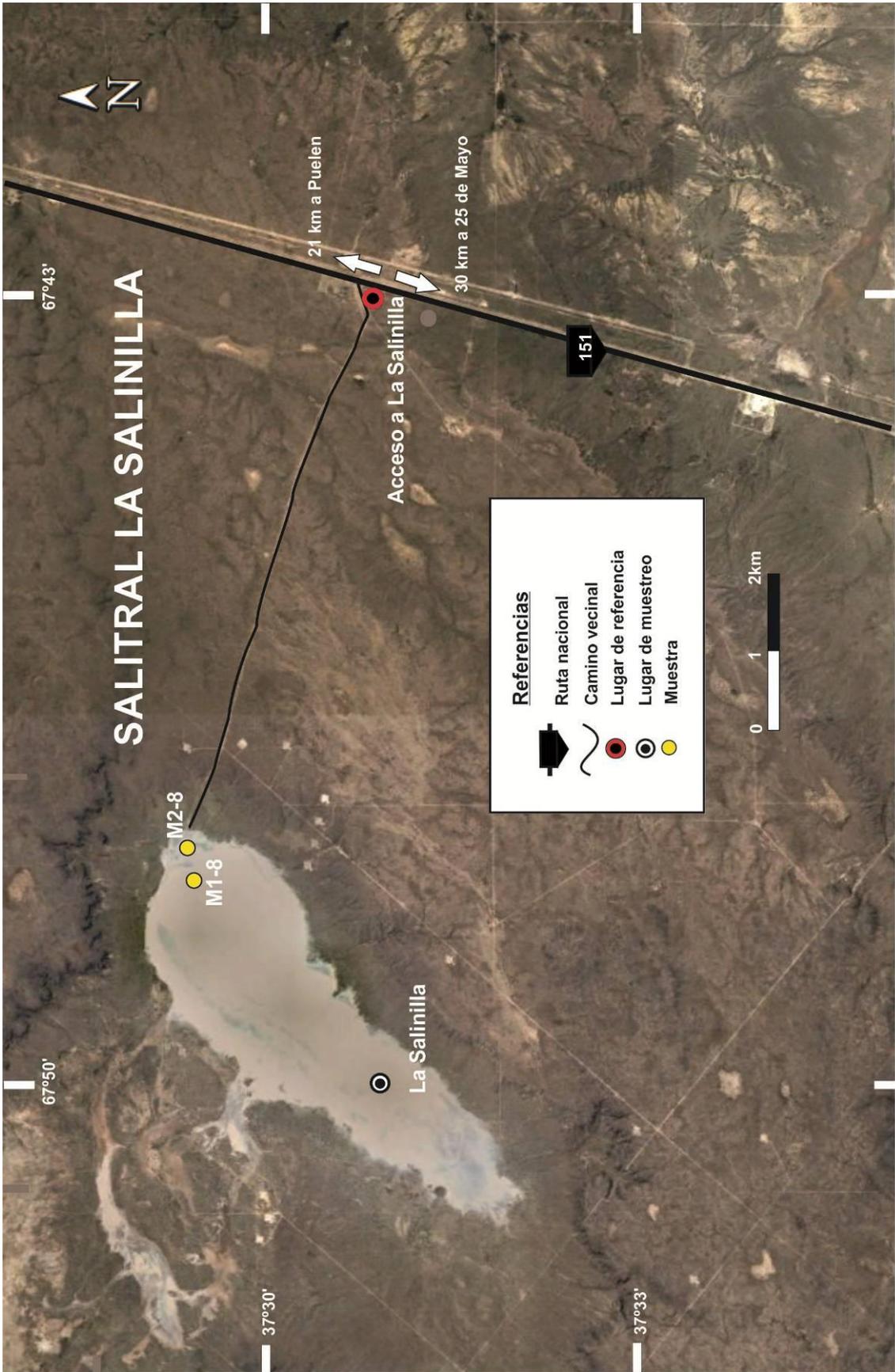
A este Sector, se accede por la ruta provincial 20, hacia el oeste de la localidad de La Reforma, o por la ruta 151, al sur de la localidad de Puelén.

Los cuerpos seleccionados para el estudio fueron: el salitral La Salinilla (o La Salina), el salitral de La Perra (Puelén), la salina Grande (o Gran salitral) y la salina Huentenao (o Salinas chicas).

La porción occidental del Sector, que coincide con el borde de la cuenca neuquina en La Pampa, está cubierta por basaltos del Plioceno-Pleistoceno pertenecientes a las épocas eruptivas Chapualitense inferior y Puentelitense y por depósitos eólicos, de bajos y de lagunas del Holoceno. Estos últimos, se extienden hacia el este, por todo el resto del Sector; son acompañados por sedimentos de la formación Gran Salitral (Mioceno-Plioceno), sedimentos lacustres de la Formación El Fresco (Eoceno) o algunos afloramientos del Grupo Choiyoi (Melchor y Casadío, 2000).

Los muestreos se realizaron entre el 12-13 de diciembre de 2016 y el 11-12 de febrero de 2017, obteniéndose muestras de agua y sedimentos en pozos cavados a pala.

Un aspecto observable, es que los salitrales de este Sector, tienen características físico químicas más evolucionadas que aquellos del Área 1. Esto se evidencia en la presencia de una costra superficial de 1 o 2 cm de cloruro de sodio.



Mapa 9. Sector 2, salinral La Salinilla, ubicación de muestras.

## Salitral La Salinilla (o La Salina)

La salinilla se ubica en el Departamento Puelén, a unos 30 km de la localidad de 25 de Mayo, transitando la Ruta Nacional 151 hacia el Norte o a 21 km al sur de la localidad de Puelén, por la misma ruta. Para llegar al salitral, se ingresa hacia el oeste desde la ruta 151 y se recorren unos 9 km por un camino de huella.



Figura 26. Salitral La Salinilla, vista del salitral y su entorno.

Este salitral se formó en un bajo, delimitado por dos brazos de la colada basáltica Pliocena Pampa de Luan (Bernardi 2016), con aporte de agua superficial y de capas freáticas (Cordini, 1967). Tiene forma elongada en la dirección NNE-SSO, con una longitud total de 6 km, y un ancho de 15 km (mapa 9). El borde oeste y ambos extremos, se extienden con amplias playas.

Se visitó el salitral en diciembre de 2016, en febrero, marzo y mayo de 2017 (ya sin cubierta salina), pero debido al comportamiento tixotrópico de los sedimentos, sólo se pudo trabajar y en forma acotada, en febrero de 2017.

Se muestrearon 2 puntos, cuyas correspondientes geo-referencias se detallan en el cuadro 21.

| Fecha      | Denominación específica del lugar | Tipo de trabajo | Tipo de material recolectado | Nombre de la Muestra | Latitud       | Longitud      |
|------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| 02/02/2017 | salitral La Salinilla             | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M1-8                 | 37°29'26.51"S | 67°48'17.79"O |
| 02/02/2017 | salitral La Salinilla             | pozo cavado     | sedimentos                   | M2-8                 | 37°29'22.26"S | 67°48'01.37"O |

Cuadro 21. Salitral La Salinilla, geo-referencias de las muestras.

Las playas estaban cubiertas con estructuras megapoligonales de halita, y agregados aciculares también de halita, formados a partir del crecimiento de los cristales sobre desechos vegetales (figura 27).



Figura 27. Salitral La Salinilla, vista (parcial) de los polígonos de sal y de los agregados aciculares de halita en la playa salina el 2-2-2017.

En el pozo labrado en la playa salina, de 60 cm de profundidad (figura 28), se observó una sucesión de capas alternantes de limos arcillosos color pardo claro y limos de color pardo oscuro.

Los detalles de las estructuras sedimentarias, los componentes de los sedimentos (de mayor a menor proporción) y las texturas, se describen en el perfil litológico de la figura 29.



Figura 28. Salitral La Salinilla, pozo cavado en la playa salina del salitral.

### Salitral La Salinilla: perfil litológico en la playa

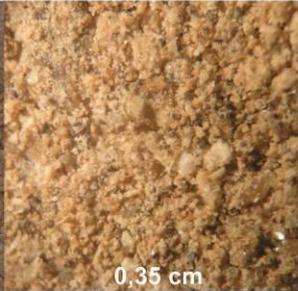
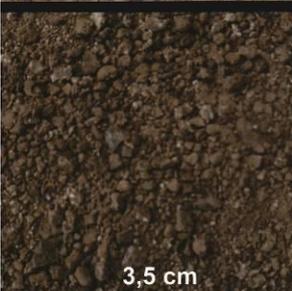
|                                    | Material suelto-seco<br>a ojo desnudo   | Observación<br>con lupa binocular   | Espesor<br>Profundidad                         | Descripción: con lupa<br>y a grano suelto  |
|------------------------------------|---|---|--|--|
| <b>Estrato A</b><br>Limo arcilloso |  |  | 2<br>a<br>20<br>cm                             | Estructura masiva con compacidad baja.<br><b>Fracción arcilla:</b> color anaranjado amarillento pálido.<br><b>Fracción limo:</b> partículas con tamaños hasta 0,003 mm, bien seleccionadas.<br>-Composición: Pasta vítrea, vidrio, líticos, cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, yeso y glauberita.                      |
| <b>Estrato B</b><br>Limo           |  |  | 3<br>a<br>15<br>cm<br>(mínimo)<br><br>45<br>cm | Estructura laminar paralela con capa de 0,1 cm, de color oliva grisáceo claro y mayor contenido de sal, en la base de cada estrato.<br><b>Fracción limo:</b> con partículas hasta 0,05 mm, bien seleccionadas<br>-Composición:<br>Pasta vítrea, vidrio, líticos, cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, yeso y glauberita. |

Figura 29. Salitral La Salinilla, perfil litológico generalizado, en playa salina.

Nota: el valor en cm, en la parte inferior de cada foto, corresponde a la base de la misma.

Imágenes de algunos de los minerales encontrados en los sedimentos de la playa salina, observados a la lupa binocular.



Figura 30. Salitral La Salinilla, cristal de glauberita en la playa salina, imagen de lupa binocular (base de la imagen 0,16 cm).

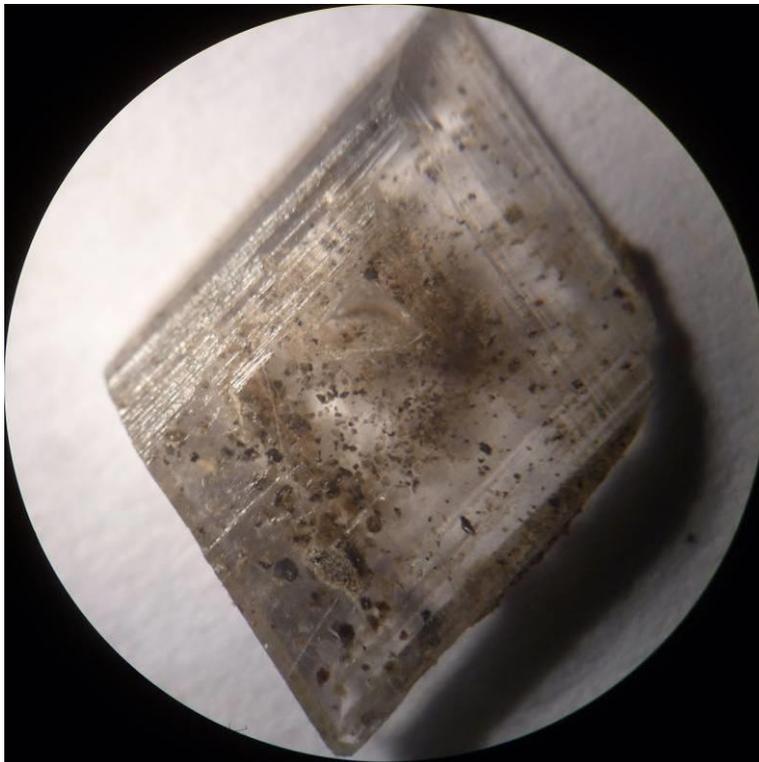


Figura 31. Salitral La Salinilla, cristal de hidroglauberita en la playa salina, imagen de lupa binocular (diámetro de la imagen 1 cm).

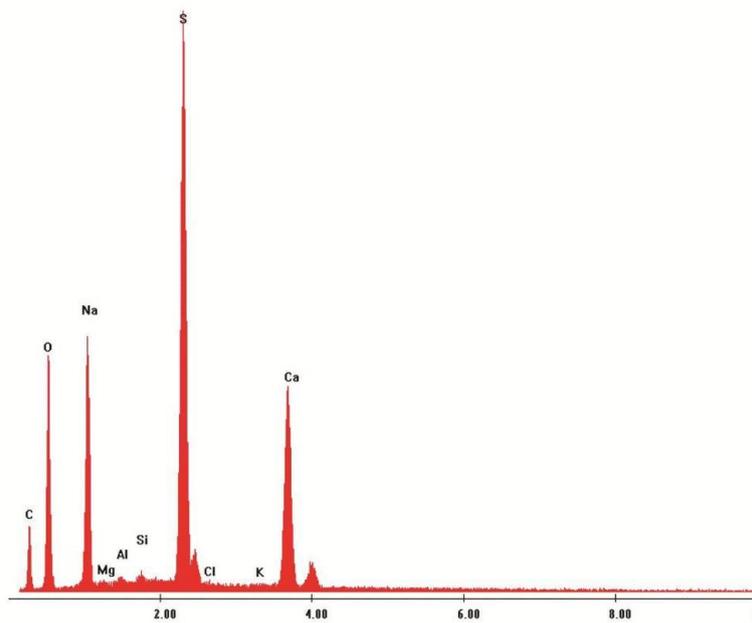
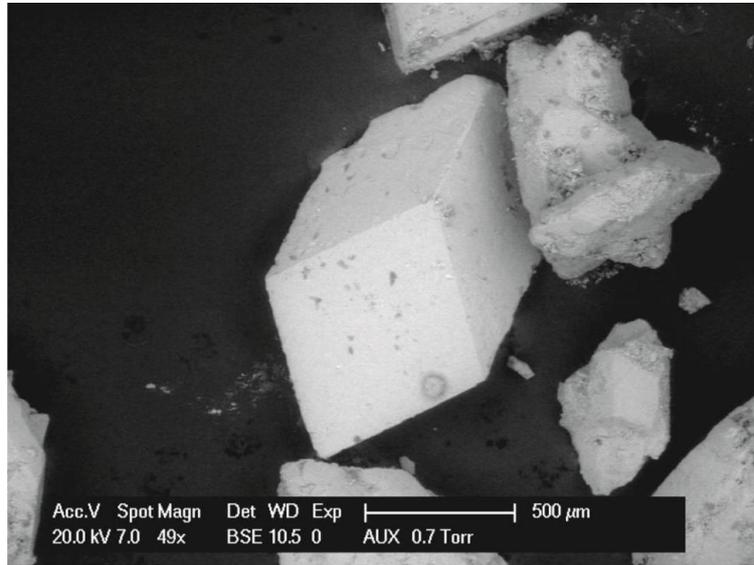


Figura 32. Salinilla La Salinilla, cristal de glauberita ( $\text{Na}_2\text{CaSO}_4$ ) con trazas de Mg, Al, Si y K, imagen de microscopio electrónico (centro de la imagen).

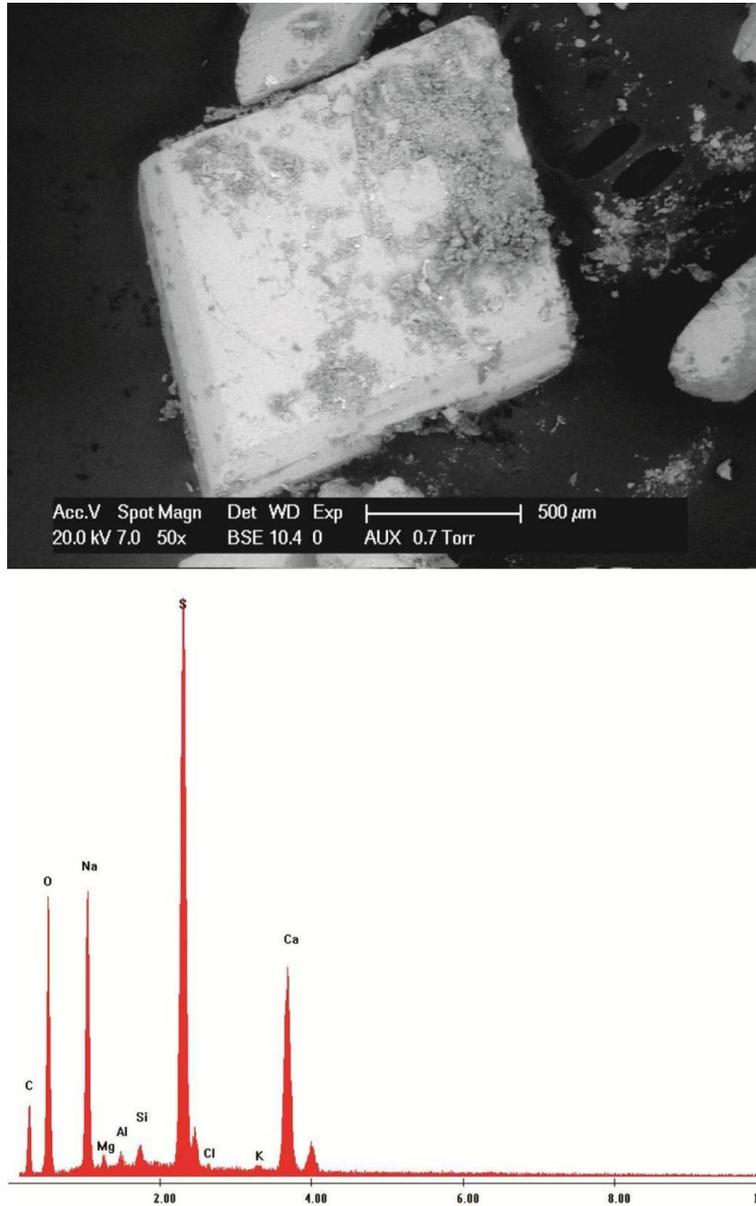


Figura 33. Salitral La Salinilla, cristal de hidroglauberita ( $\text{Na}_{10}\text{Ca}_3(\text{SO}_4)_8 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) con trazas de Mg, Si Al y K, imagen de microscopio electrónico.

Imágenes de minerales al microscopio, con la técnica de grano suelto.

Referencias

**Np**: Nícoles paralelos; **Nx**: Nícoles cruzados

**V**: vidrio; **Pv**: pasta volcánica

**L**: Fragmentos líticos

**Qz**: cuarzo; **Fel**: feldespato; **Pl**: plagioclasa

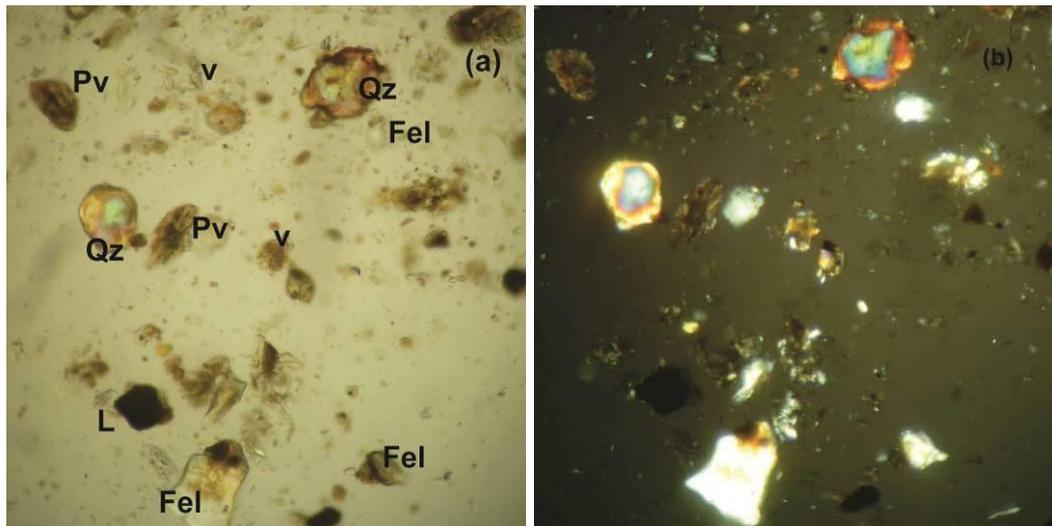


Figura 34. Salitral La Salinilla, componentes de los estratos A y B de la playa del salitral, observación de grano suelto (a) Np (b) Nx, (base de cada imagen 0,17 cm).

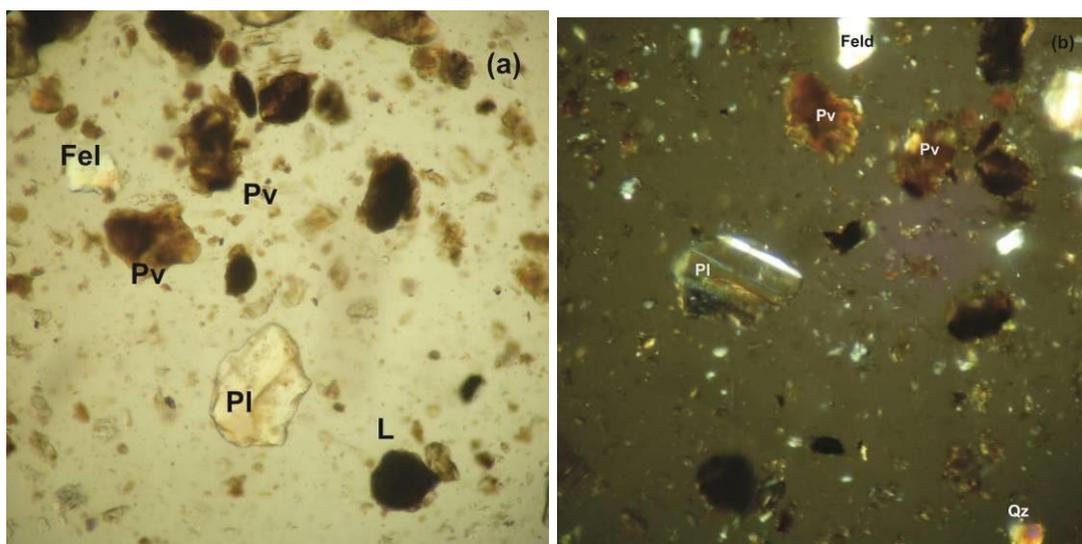


Figura 35. Salitral La Salinilla, componentes de los estratos A y B de la playa del salitral, observación de grano suelto (a) Np (b) Nx, (base de cada imagen 0,17 cm).

Hacia el interior del salitral, la cubierta de sal se extendía con una costra de hasta 2 cm de sal de grano fino (cubos de 0,5 cm), pero sin capacidad portante, formada por halita con bloedita dispersa (figuras 36 y 37). La imposibilidad de caminar libremente por el salitral, limitó el muestreo a sólo 1 toma, cercana a la playa.

Hacia abajo, en contacto con la sal, y saturado en agua, se halló fango salino formado por arcillas y arenas muy finas arcillosas con halita y yeso (figura 38).



Figura 36. Salitral La Salinilla, cristales de bloedita-astracanita ( $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), hábito en rosetas, intercaladas entre la halita en la costra superficial, imagen de lupa binocular, (base de la imagen 0,3 cm).

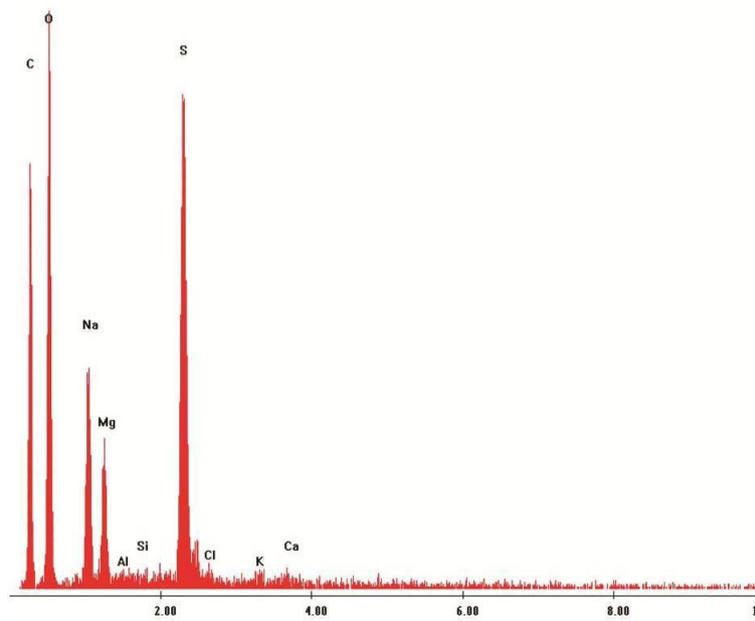
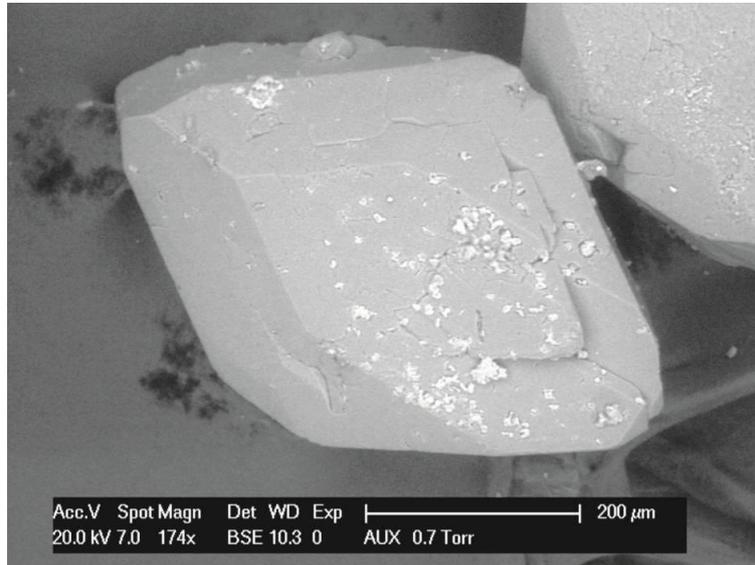


Figura 37. Salitral La Salinilla, cristal de bloedita/astracanita ( $\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot\text{MgSO}_4\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) con trazas de K, Ca, imagen de microscopio electrónico.



Figura 38. Salitral La Salinilla, zona con costra superficial, materiales extraídos del pozo en el interior del salitral totalmente saturados en salmuera.

A las salmueras envasadas se les realizó in situ, la descripción de los aspectos generales observados (cuadro 22).

\*El color corresponde a la salmuera luego del precipitado natural de los sedimentos.

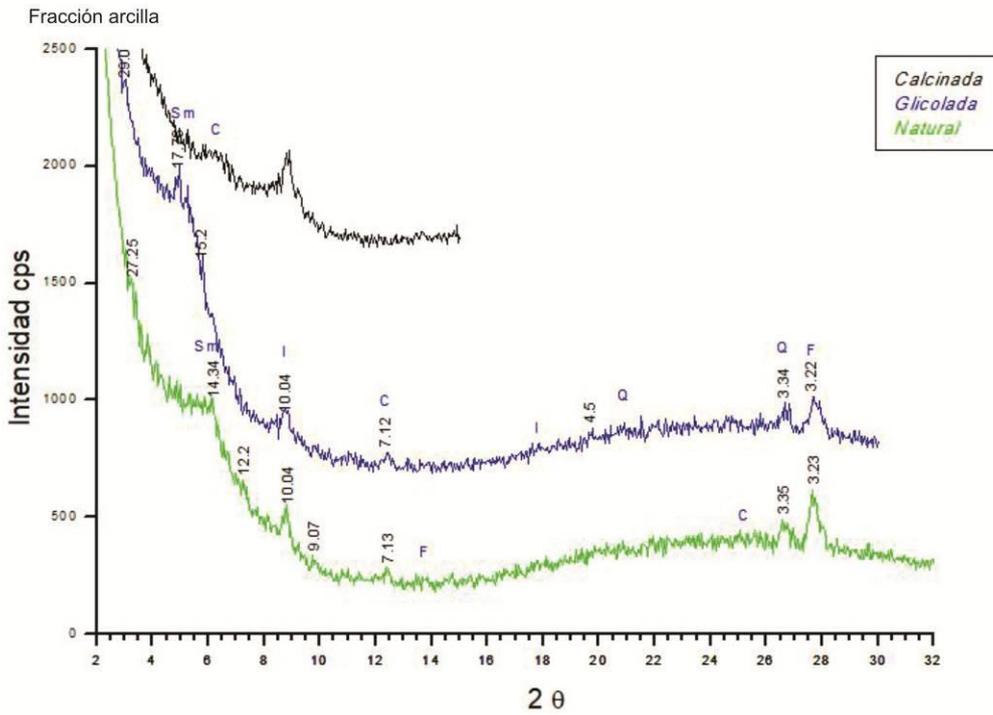
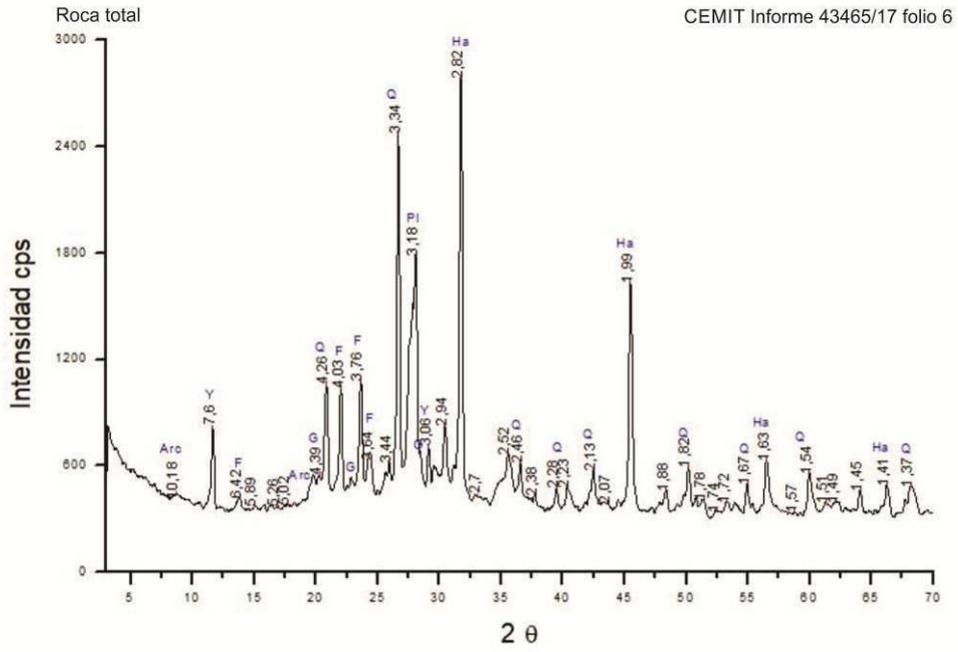
| Número  | Muestra         | Extraída de                        | Color                  | Olor    | Aspecto     | pH campo |
|---------|-----------------|------------------------------------|------------------------|---------|-------------|----------|
| M1-8    | <b>Salmuera</b> | intraporal                         | beige rosado<br>pálido | inodora | translúcido | 6        |
| M1bis-8 | <b>Salmuera</b> | debajo de la<br>costra superficial | beige                  | fétido  | translúcido | 6        |

Cuadro 22. Salitral La Salinilla, observaciones en campo de las salmueras muestreadas.

Los fangos salinos recolectados, se estudiaron posteriormente, con la técnica de Difractometría de Rayos X, que determinó la presencia de 70% de material clástico y 30% de sales (figura 39).

El material clástico está formado por 51% de plagioclasa, 16% de cuarzo, y 3% de arcillas. La fracción salina está compuesta por 21% de halita, 8% de yeso y 1% de glauberita.

Las arcillas son del tipo esmectita, clorita e illita (figura 40).



Figuras 39 y 40. Salitral La Salinilla, difractogramas de Rayos X del fango salino.

Se expone a continuación, el perfil litológico obtenido en la zona con costra salina indicándose las estructuras sedimentarias, los componentes de los sedimentos (de mayor a menor porcentaje) y las texturas de los materiales observados (figura 41).

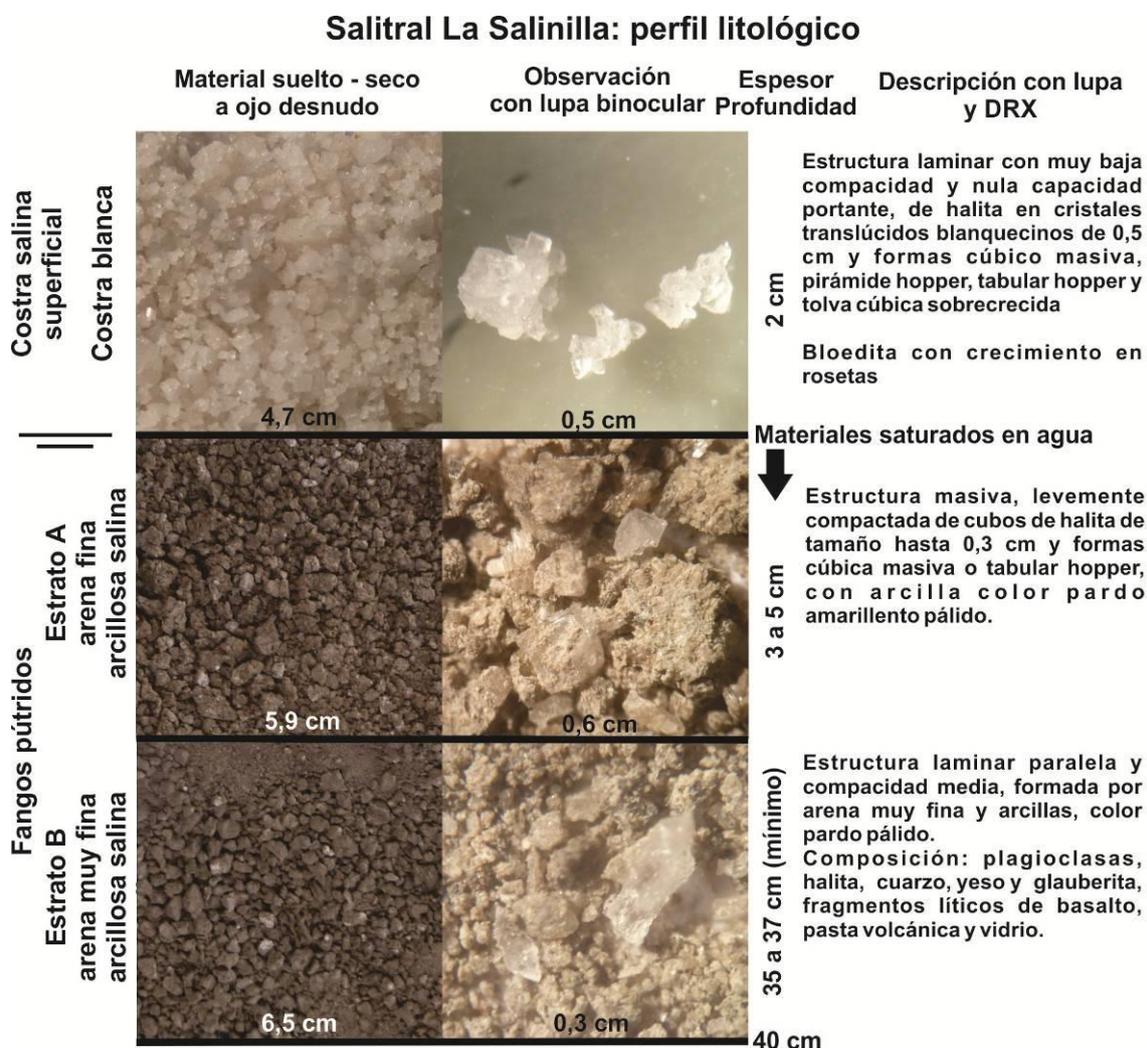


Figura 41. Salitral La Salinilla, perfil litológico en zona con costra salina.

Nota: el valor en cm, en la parte inferior de cada foto, corresponde a la base de la misma.

En la observación a la lupa binocular y al microscopio con la técnica de grano suelto, se observaron fragmentos líticos de basalto, pasta volcánica y vidrio.

En la preparación para DRX, las muestras se pulverizan, por tanto el porcentaje de las plagioclasas identificadas mediante DRX, corresponde a la suma de los cristales sueltos en el sedimento, más aquellos liberados de los

líticos pulverizados. El vidrio fresco, forma parte del fondo del difractograma, y el vidrio alterado de la pasta volcánica se observa como esmectitas.

Imágenes de algunos de los minerales observados a grano suelto en el estrato B del salitral La Salinilla (figura 42).

Referencias:

**Np**: Nicoles paralelos; **Nx**: Nicoles cruzados

**V**: vidrio; **Pv**: pasta volcánica; **Qz**: cuarzo; **L**: fragmentos líticos

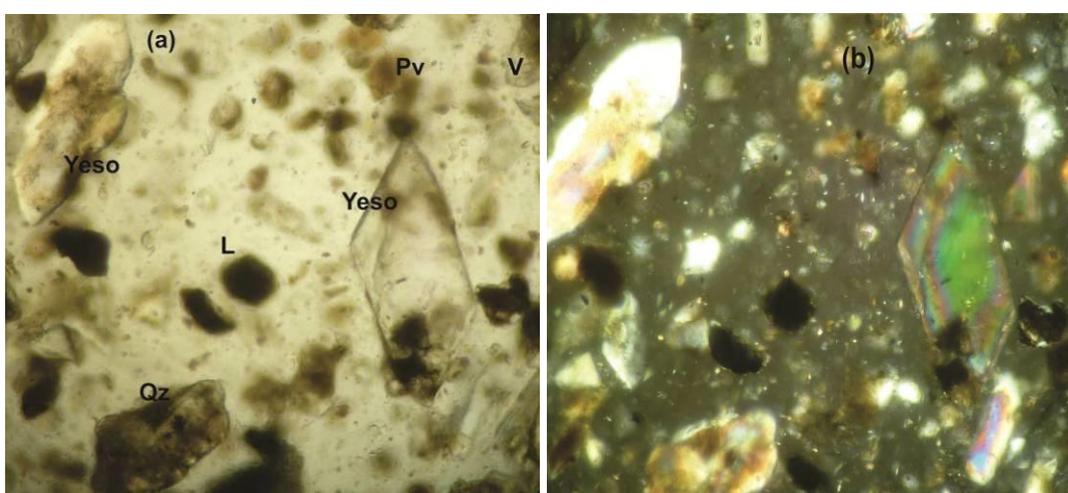


Figura 42. Salitral La Salinilla, minerales en el Estrato B, observación de grano suelto, (a) Np - (b) Nx, (base de cada imagen 0,19 cm).

### Análisis químicos y caracterización de salmueras, costras y sedimentos.

Los análisis químicos provistos por el laboratorio Alex Stewart S.A. corresponden a dos muestras de salmueras (rosa de la costra y negra de los fangos) y costras salinas (superficial y subácueas) (cuadros 23, 24 y 25).

Del estudio analítico se desprende que las salmueras tienen un alto contenido de sodio ( $\text{Na}^+$ , 96,5 g/l), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ , 22 g/l) y potasio ( $\text{K}^+$ , 10 g/l). En el caso particular del  $\text{Li}^+$ , no se registró en las muestras. En la figura 43 se observa la relación porcentual de cada catión.

| Tipo de muestra       | número / ubicación | Elemento            | B         | Ba        | Ca        | Fe        | K            | Li        | Mg           | Mn         | Na           | Sr        |
|-----------------------|--------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|--------------|------------|--------------|-----------|
|                       |                    | Unidad              | mg/L      | mg/L      | mg/L      | mg/L      | mg/L         | mg/L      | mg/L         | mg/L       | mg/L         | mg/L      |
|                       |                    | Técnica             | ICP-OES   | ICP-OES   | ICP-OES   | ICP-OES   | ICP-OES      | ICP-OES   | ICP-OES      | ICP-OES    | ICP-OES      | ICP-OES   |
|                       |                    | Límite de detección | 1         | 0,01      | 2         | 0,3       | 2            | 1         | 1            | 0,01       | 2            | 0,5       |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M1-8               |                     | 98        | <0,10     | 63        | <0,3      | 10166        | <10       | 21892        | 1,06       | 96257        | <5        |
| <b>Salmuera negra</b> | M1bis-8            |                     | 96        | <0,10     | 74        | <0,3      | 10036        | <10       | 21811        | 1,40       | 96820        | <5        |
| <b>Promedio</b>       |                    |                     | <b>97</b> | <b>--</b> | <b>69</b> | <b>--</b> | <b>10101</b> | <b>--</b> | <b>21851</b> | <b>1,2</b> | <b>96539</b> | <b>--</b> |

Cuadro 23. Salitral La Salinilla, resultados analíticos de cationes en salmueras, expresados en miligramos/litro. Ubicación de sitios de muestreo en el mapa 9.

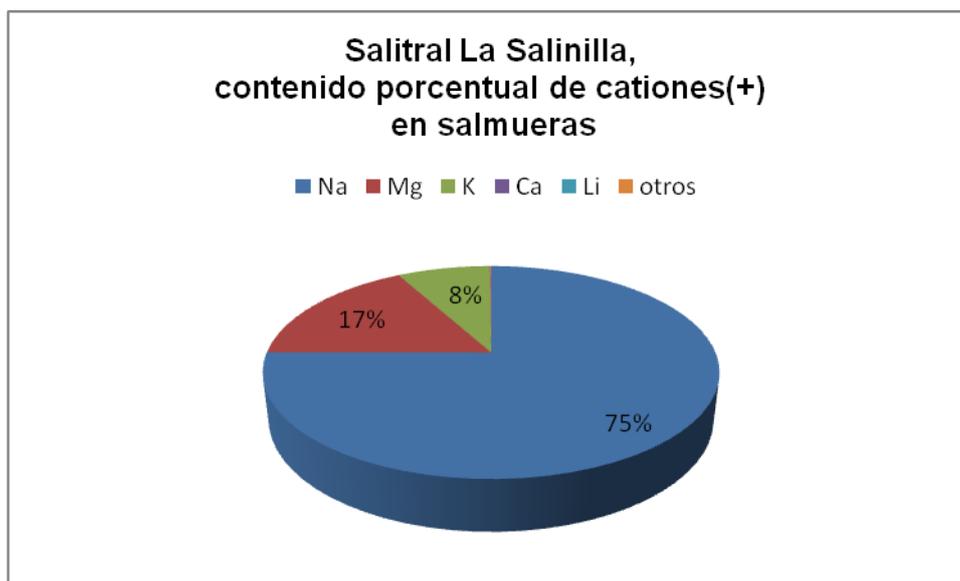


Figura 43. Salitral La Salinilla, contenido porcentual de cationes en salmueras.

Con respecto a los aniones, se destaca la alta concentración de cloruro ( $\text{Cl}^-$ , 161 g/l) y también de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ , 82 g/l). En la figura 44, se representa la relación porcentual de aniones.

| Tipo de Muestra | número / ubicación | Det. | Sulfatos SO4= | Cloruros Cl-  | pH    | Conduct. | Sólidos disueltos totales (secados a 180°) | Sólidos totales (secados a 103°) |
|-----------------|--------------------|------|---------------|---------------|-------|----------|--|----------------------------------|
|                 |                    | U    | mg/l          | mg/L          | de pH | µS/cm    | mg/L                                       | mg/L                             |
|                 |                    | T    | Volum         | Volum         | ISE   | Instrum  | Grav.                                      | Grav.                            |
|                 |                    | LD   | 10            | 5             | 0,1   | 5        | 10   | 10                               |
| Salmuera rosa   | M1-8               |      | 79324         | 160009        | 7,2   | 178700   | 409920                                     | 443680                           |
| Salmuera negra  | M1bis-8            |      | 82830         | 160883        | 7,2   | 180200   | 396480                                     | 420160                           |
| <b>Promedio</b> |                    |      | <b>81077</b>  | <b>160446</b> |       |          |  |                                  |

Cuadro 24. Salitral La Salinilla, resultados analíticos de aniones en salmueras, expresados en miligramos/litro, (U= unidades; T= técnica; LD= límite de detección inferior).

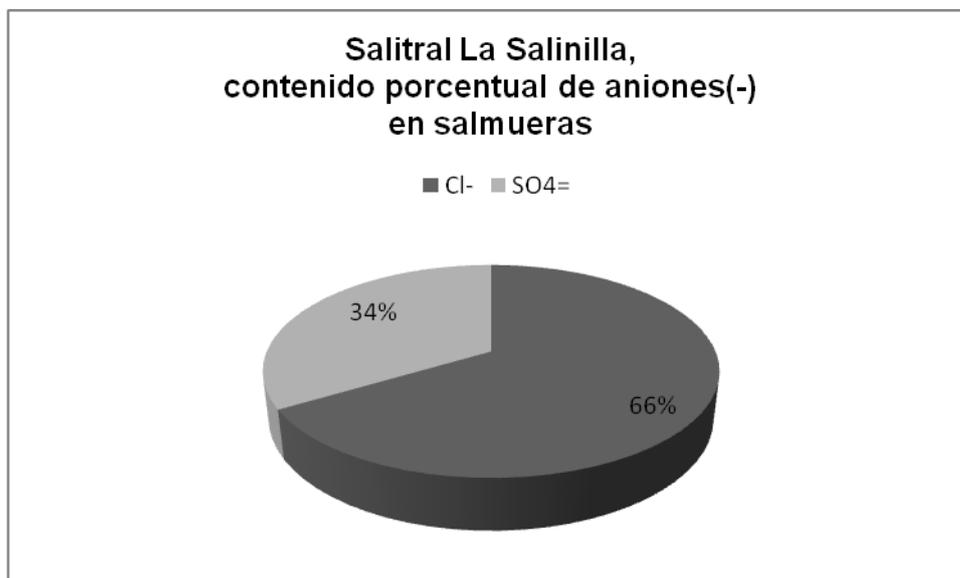


Figura 44. Salitral La Salinilla, contenido porcentual de aniones en salmueras.

La comparación entre las 2 muestras obtenidas, salmuera intraporal y agua madre inferior a la costra, evidencia que ambas tienen similar composición y cantidad de aniones y cationes.

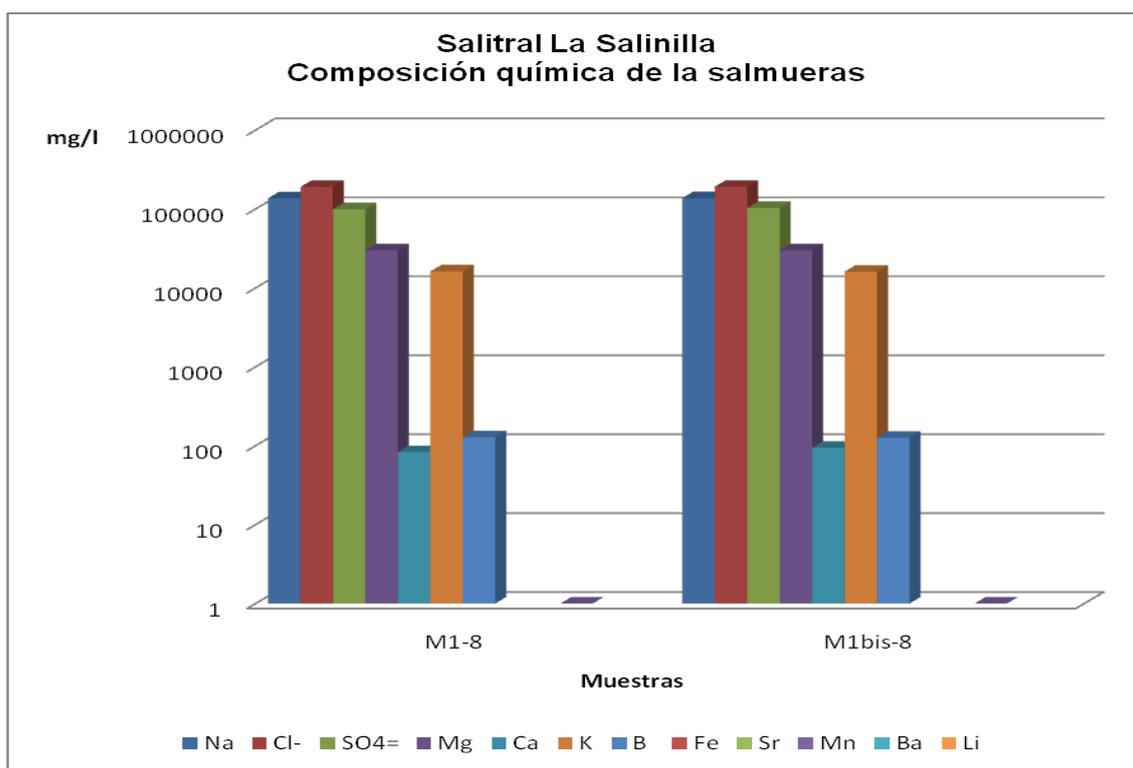


Figura 45. Salitral La Salinilla, gráfico comparativo de valores químicos.

En los valores de las costras salinas se distingue, la costra superficial y los minerales que están dispersos en el sedimento salino que conforman la costra sub-ácuea.

| Tipo de muestra | número / ubicación | Elemento            | B        | Ba       | Ca       | Fe       | K        | Li       | Mg       | Mn       | Na       | Sr       |
|-----------------|--------------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                 |                    | Unidad              | mg/kg MS |
|                 |                    | Técnica             | ICP-OES  |
|                 |                    | Límite de detección | 50       | 2,5      | 2        | 15       | 2        | 50       | 1        | 0,01     | 2        | 25       |
| <b>Costra</b>   | superficial        |                     | <50      | <0,5     | 167      | <15      | 2868     | <50      | 32640    | 3,75     | 268542   | <25      |
| <b>Costra</b>   | Sub-ácuea          |                     | 72       | 3,68     | 33521    | 18,6     | 4732     | <50      | 7324     | 6,06     | 114494   | 408,7    |

Cuadro 25. Salitral La Salinilla, resultados analíticos de cationes en costras salinas, (expresados en miligramos/kilogramo).

Las costras salinas están formadas mayoritariamente por  $\text{Na}^+$  con porcentajes medios a altos de  $\text{Mg}^{2+}$ , y  $\text{K}^+$ . No se detectó  $\text{Li}^+$  (cuadro 25).

En la costra superficial, el  $\text{Na}^+$  que representa el 88% de la carga catiónica está combinado con el anión  $\text{Cl}^-$  formando halita ( $\text{NaCl}$ ) y con el  $\text{SO}_4^{2-}$  formando bloedita ( $\text{NaMgSO}_4$ ). El  $\text{Mg}^{2+}$  forma con el anión  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Na}^+$  la bloedita. No se identificaron minerales de  $\text{K}^+$ , pudo haber sido porque estaban, en muy pequeña proporción, enmascarados entre los cristales de halita, o están como trazas dentro de la estructura cristalina de los minerales hallados como se observó con el microscopio electrónico (figura 46).

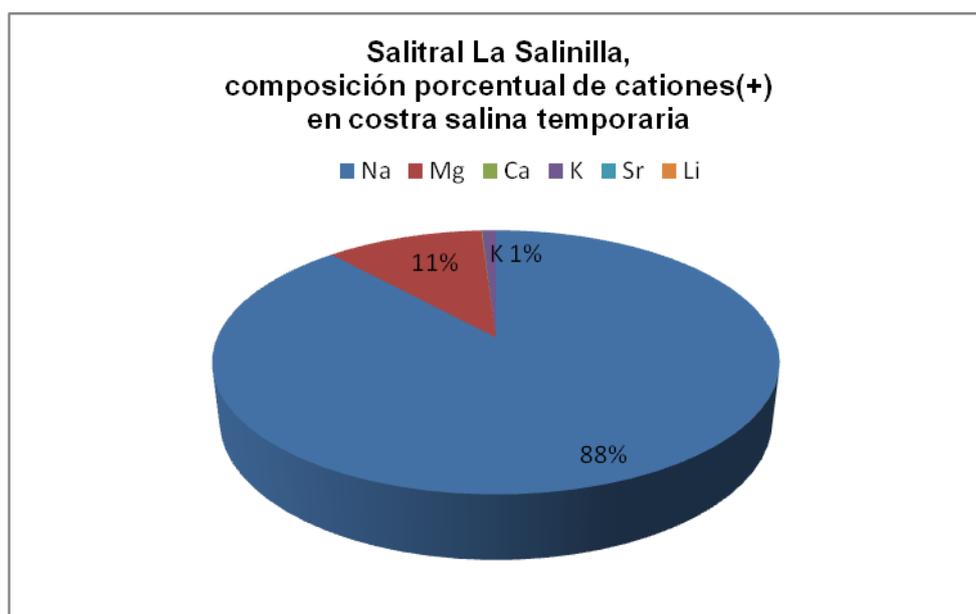


Figura 46. Salitral La Salinilla, composición porcentual de cationes en costra salina temporaria.

En los fangos salinos subácueos y sedimentos de la playa, el mineral salino predominante es también halita, acompañada con sulfatos como yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y glauberita ( $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$ ). Los contenidos de  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y otros cationes registrados, son parte de las trazas detectadas en los sulfatos o forman algún otro mineral no observado por su baja proporción en el conjunto del material (figura 47).

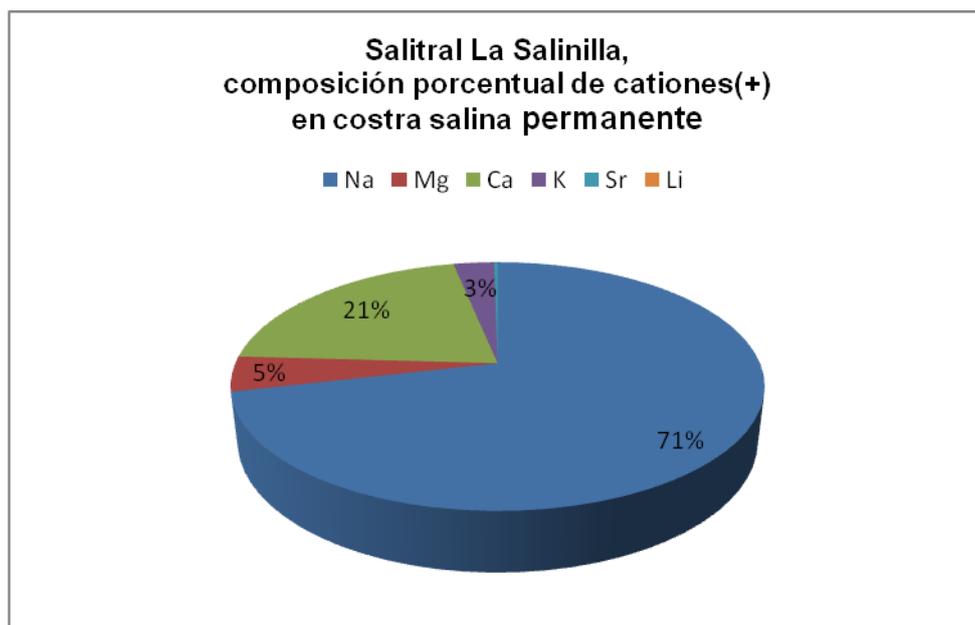
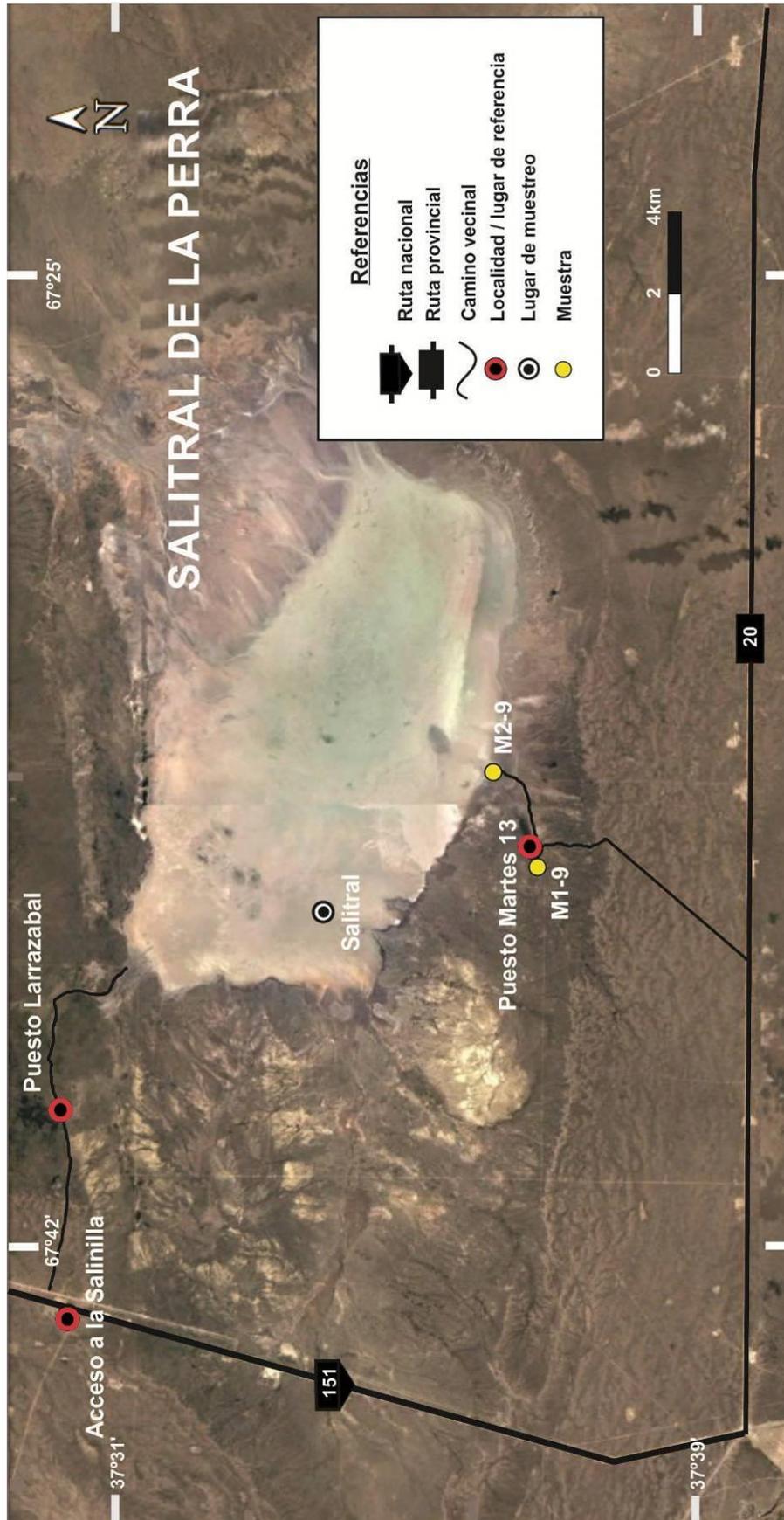


Figura 47. Salitral La Salinilla, composición porcentual de cationes en costra salina permanente.

El material clástico de los sedimentos y fangos salinos del salitral fueron estudiados por el laboratorio Actlabs; los correspondientes resultados se detallan en el cuadro 26.

|                       | Elemento            | Na   | Mg     | Ca     | K      | Fe   | Sr     | Mn     | Ba   | Li     |
|-----------------------|---------------------|------|--------|--------|--------|------|--------|--------|------|--------|
|                       | Unidad              | %    | %      | %      | %      | %    | ppm    | ppm    | ppm  | ppm    |
|                       | Límite de detección | 0,01 | 0,01   | 0,01   | 0,01   | 0,01 | 1      | 1      | 50   | 1      |
|                       | Técnica             | INAA | TD-ICP | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP |
| <b>Fangos salinos</b> |                     | 2,31 | 1,87   | 3,82   | 1,48   | 3,11 | 599    | 613    | 500  | 26     |

Cuadro 26. Salitral La Salinilla, resultados analíticos de cationes de los fangos salinos, expresados en porcentaje o partes por millón. INAA: activación neutrónica, TD-ICP: digestión total-plasma acoplado por inducción.



Mapa 10. **Sector 2**, Salitral de La Perra. Ubicación de puntos de muestreo.

## Salitral de La Perra (Puelén)

El Salitral de La Perra, es un cuerpo de gran tamaño, ubicado en el Departamento Puelén, en las cercanías de la localidad de 25 de Mayo. Se accede desde la Ruta Provincial 20, a unos 12 km al este de la intersección con la Ruta Nacional 151, (entrada al Puesto Martes 13). Para arribar a la salina, desde la entrada al puesto sobre la ruta 20, se transita por un camino vecinal, 8 km hacia el norte (mapa 10).



Figura 48. Salitral de La Perra, vista de la cubierta de sal sobre el salitral, el 4-12-2016 y el 13-2-2017.

Tiene una extensión aproximada de 45 km<sup>2</sup>, y forma elíptica, con su eje mayor (en sentido NO-SE) de 15 km y el menor de aproximadamente 7 km. Se ha desarrollado en un espacio encajonado, originado por los extremos de las coladas de basalto que avanzaron desde el oeste, los depósitos loésicos y la Sierra El Fresco de edad Eocena. El aporte hídrico a la cuenca es superficial o de capas freáticas y proviene mayormente del manantial de Puelén a través del arroyo Puelén.

El trabajo en el salitral se realizó en diciembre de 2016. Se muestrearon 2 puntos cuyas correspondientes geo-referencias se detallan en el cuadro 27. En febrero se intentó agregar más puntos de muestreo, pero no fue posible debido a la falta de soporte del piso.

| Fecha      | Denominación específica del lugar | Tipo de trabajo | Tipo de material recolectado | Nombre de la Muestra | Latitud       | Longitud      |
|------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| 14/12/2016 | Puesto Martes 13                  | pozo 90 m       | agua                         | M1-9                 | 37°36'40.71"S | 67°35'08.71"O |
| 14/12/2016 | Salitral de La Perra              | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M2-9                 | 37°36'07.72"S | 67°33'49.30"O |

Cuadro 27. Salitral de La Perra, geo-referencias de muestras.

La muestra de agua, obtenida en el Puesto Martes 13 corresponde al surgente de un pozo que llega a 90 m de profundidad, por debajo de las coladas de basalto yacentes en el subsuelo del área.

Las playas del salitral son extensas en todo su contorno. El interior se cubre totalmente con mega polígonos de sal sobre un tapiz algal moderno, pero el comportamiento tixotrópico de sus materiales produce una capacidad portante nula, impidiendo el avance hacia el interior. Según la experiencia de los Puesteros de la zona, nunca se ha podido caminar sobre el salitral.



Figura 49. Salitral de La Perra, pozo cavado en la playa sur.

En el pozo realizado en la playa del salitral (figura 49), se observó, de arriba hacia abajo: 1 cm de costra salina compuesta por cristales de halita con formas cúbicas o tabulares apenas perceptibles conformando estructuras cristalinas masivas y ahuecadas con cristales de bloedita adheridos a la masa (figura 50).

La subyace, en contacto neto, arena media a gruesa de color pardo amarillento oscuro hasta por lo menos, 80 cm de profundidad.

Con la observación de estos materiales a la lupa binocular (figura 51) se detectó cuarzo, plagioclasa, fragmentos líticos de basalto, individuos de feldespato potásico, biotita, epidota, horblenda e hidroglauberita (figura 52 y 53). Posteriormente los mismos se estudiaron con la técnica de Difractometría de Rayos X, que determinó que el material estaba compuesto por 85% de material clástico (62% de plagioclasa, 20% de cuarzo y 3% de arcilla), y 15% de sales (figuras 54 y 55). El material salino corresponde a 14% de yeso y 1% de glauberita. Por su lado las arcillas son 80% esmectita acompañada por clorita e illita.



Figura 50. Salitral de La Perra, observación a lupa binocular, de la costra superficial, (base de la imagen 0,7 cm).



Figura 51. Salitral de La Perra, observación del material del pozo, a lupa binocular, (base de la imagen 0,27 cm).

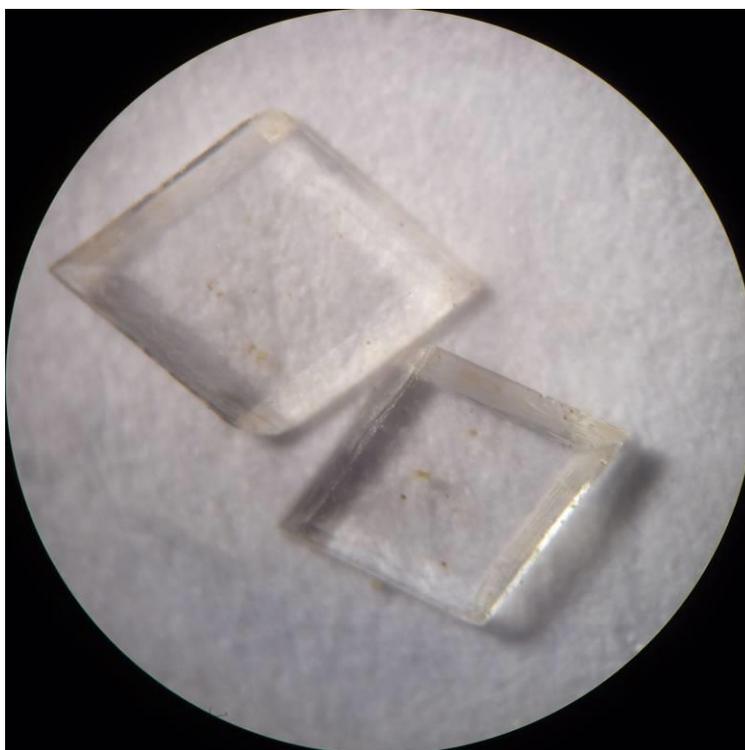


Figura 52. Salitral de La Perra, cristales de hidroglauberita. (diámetro de la imagen 1 cm)

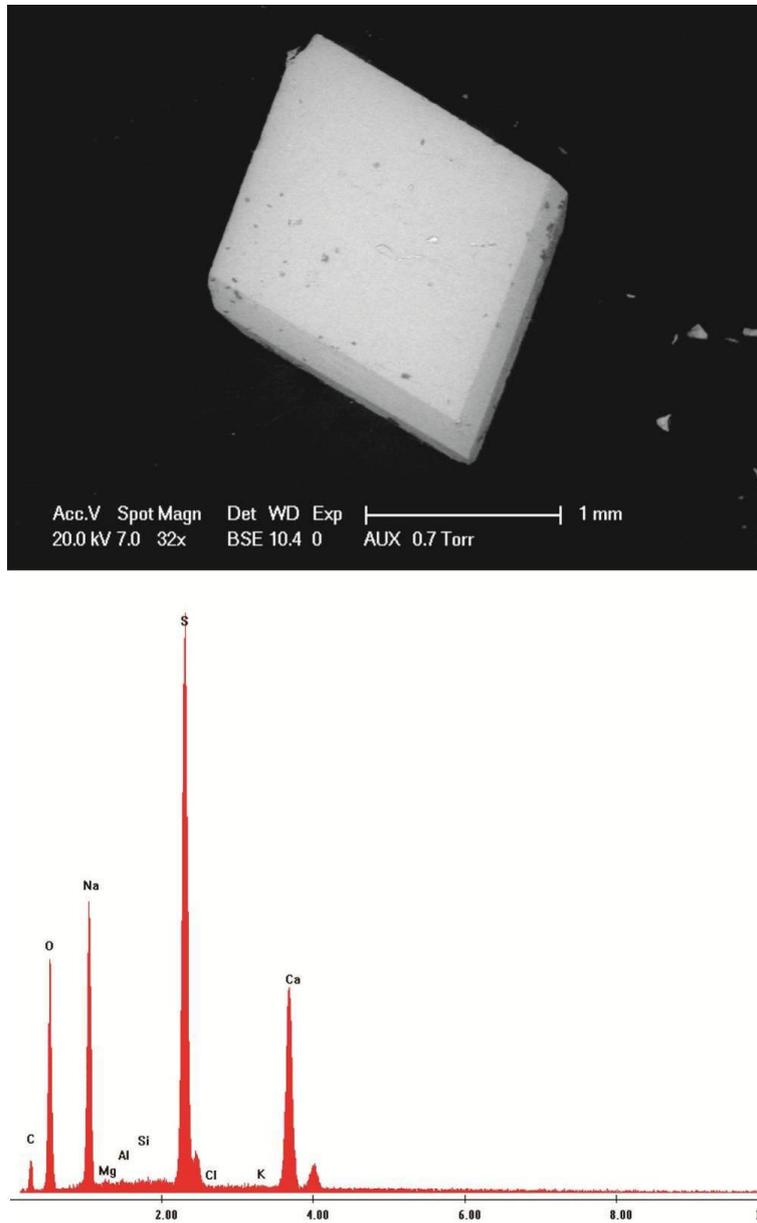
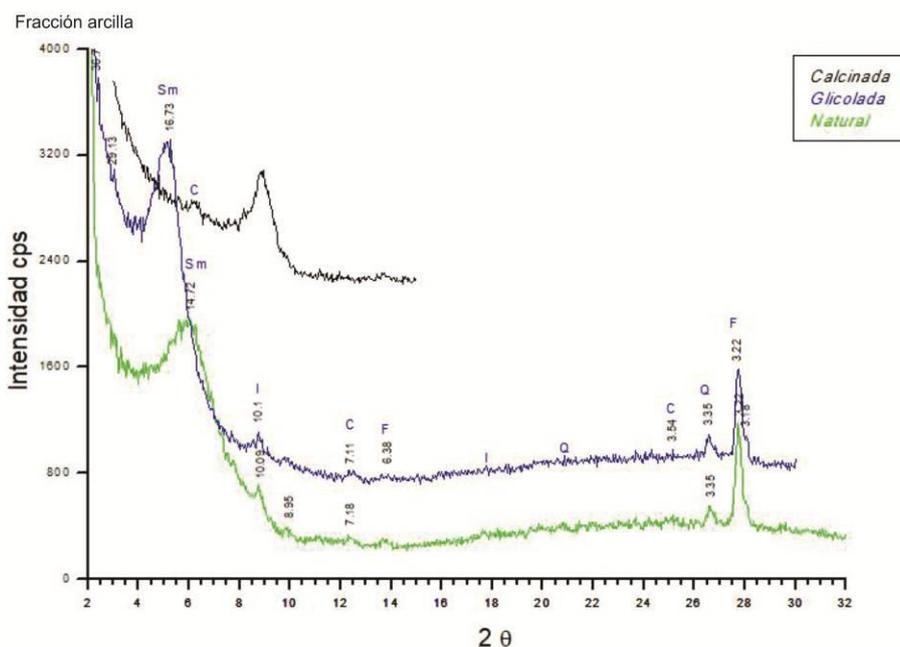
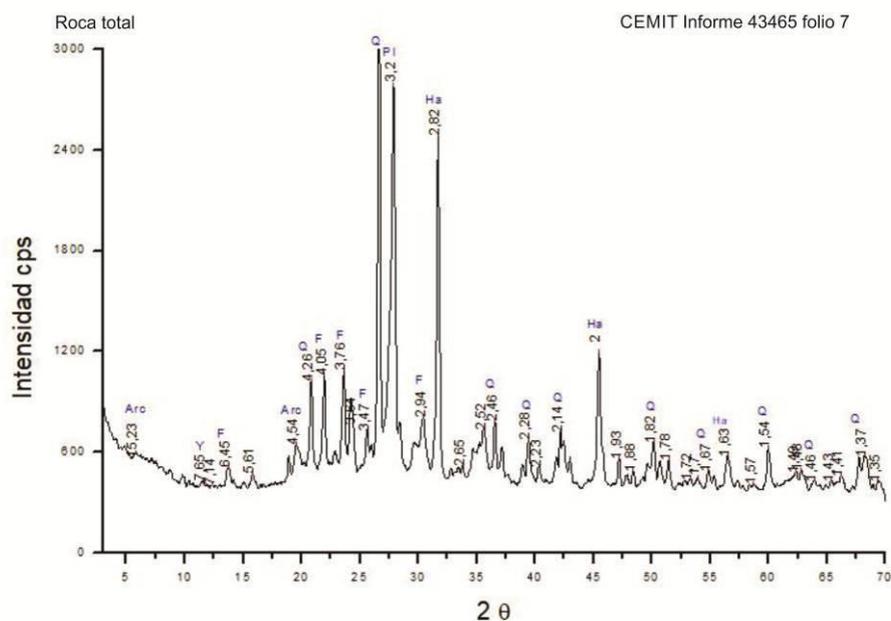


Figura 53. Salitral de La Perra, cristal de hidroglauberita ( $\text{Na}_{10}\text{Ca}_3(\text{SO}_4)_8 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) con trazas de Mg, imagen de microscopio electrónico.



Figuras 54 y 55. Salitral de La Perra, difractogramas de Rayos X, del sedimentos del pozo.

En la observación al microscopio con la técnica de grano suelto, se identificaron fragmentos líticos de basalto e individuos de feldespato potásico, biotita, epidota, horblenda e hidroglauberita.

En la preparación para DRX, las muestras se pulverizan, por tanto el porcentaje de las plagioclasas identificadas mediante DRX, corresponde a la

suma de los cristales sueltos en el sedimento, más aquellos liberados de los líticos pulverizados. El resto de los minerales observados en el microscopio, tales como feldespato potásico, biotita, epidota y horblenda, por estar en proporciones muy pequeñas o por el tamaño grande del cristal, en el caso de hidroglauberita, pudieron no haber sido incluidos en la muestra para DRX.

Durante la recolección del agua de los pozos, se realizó in situ, una descripción del aspecto general. En el cuadro 28 se detallan las observaciones.

\*El color corresponde a la salmuera luego del precipitado natural de los sedimentos.

| Número | Muestra         | Extraída de   | Color             | Olor    | Aspecto      | pH campo |
|--------|-----------------|---------------|-------------------|---------|--------------|----------|
| M1-9   | <b>agua</b>     | Pozo surgente | incolora          | inodoro | transparente | <b>6</b> |
| M2-9   | <b>salmuera</b> | Pozo cavado   | Amarillento claro |         | transparente | 6        |

Cuadro 28. Salitral de La Perra, observaciones en campo de las aguas muestreadas.

### Análisis químicos y caracterización de la salmuera, la costra y el sedimento.

Los análisis geoquímicos provistos por el laboratorio Alex Stewart S.A., de la salmuera del salitral, (cuadro 29 y figura 56 ), muestran un alto contenido de sodio ( $\text{Na}^+$  100 g/l), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$  13 g/l) y potasio ( $\text{K}^+$  10 g/l). En el caso particular del  $\text{Li}^+$ , no se encontró en las muestras tomadas. En la figura 57, se observa la relación porcentual de cada catión registrado.

| Tipo de muestra | número / ubicación | Elemento            | B       | Ba      | Ca      | Fe      | K       | Li      | Mg      | Mn      | Na      | Sr      |
|-----------------|--------------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                 |                    | Unidad              | mg/L    |
|                 |                    | Técnica             | ICP-OES |
|                 |                    | Límite de detección | 1       | 0,01    | 2       | 0,3     | 2       | 1       | 1       | 0,01    | 2       | 0,5     |
| <b>Surgente</b> | M1-9               |                     | <10     | <0,1    | 158     | <3      | 26      | <10     | 134     | 0,10    | 1033    | <5      |
| <b>Salmuera</b> | M2-9               |                     | 132     | 0,12    | 132     | 10,1    | 9730    | <10     | 13060   | 6,82    | 97972   | <5      |

Cuadro 29. Salitral de La Perra, resultados analíticos de cationes en aguas, expresados en miligramos/litro. Ubicación de sitios de muestreo en el mapa 10.

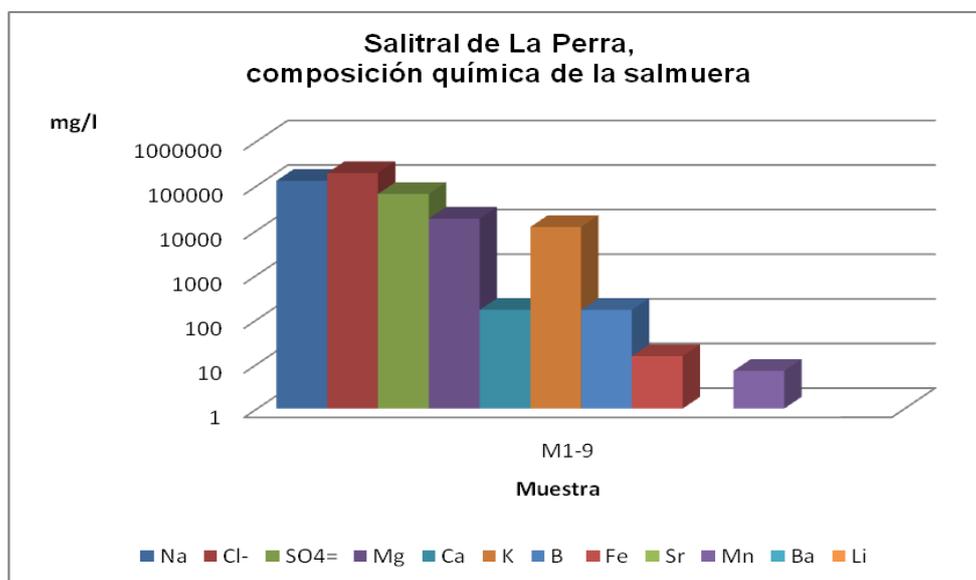


Figura 56. Salitral de La Perra,  
gráfico con la composición química de la salmuera en mg/l.

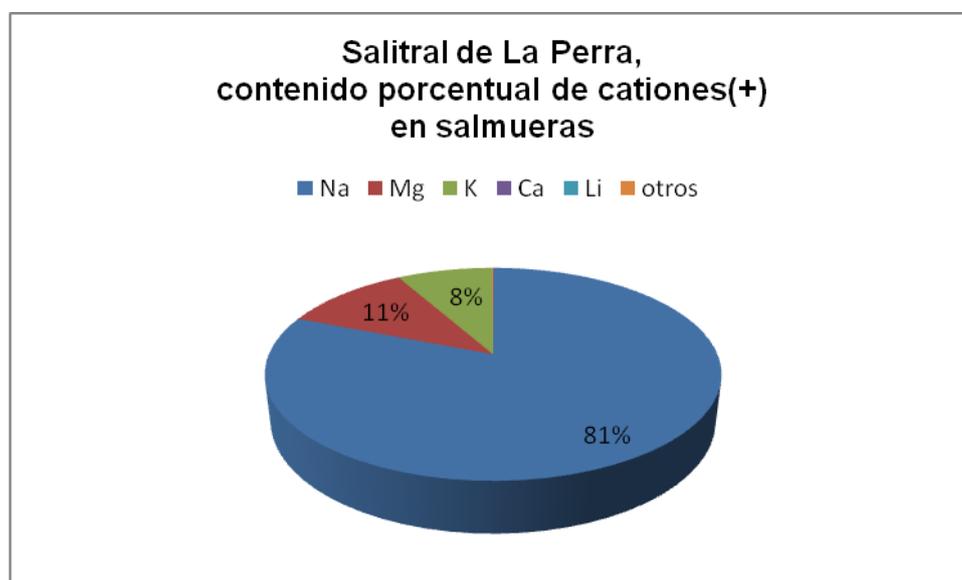


Figura 57. Salitral de La Perra, contenido porcentual de cationes en salmueras.

Con respecto a los aniones, se destaca la alta concentración de cloruro ( $\text{Cl}^-$ , 160 g/l) y un valor alto de sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ , 45 g/l). En la figura 58 se representa la relación porcentual de aniones.

| Tipo de Muestra | número / ubicación | Det. | Sulfatos SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> | Cloruros Cl <sup>-</sup> | pH    | Conduct. | Sólidos disueltos totales (secados a 180°) | Sólidos totales (secados a 103°) |
|-----------------|--------------------|------|---------------------------------------|--------------------------|-------|----------|--|----------------------------------|
|                 |                    | U    | mg/l                                  | mg/L                     | de pH | μS/cm    | mg/L                                       | mg/L                             |
|                 |                    | T    | Volum                                 | Volum                    | ISE   | Instrum  | Grav.                                      | Grav.                            |
|                 |                    | LD   | 10                                    | 5                        | 0,1   | 5        | 10   | 10                               |
| Surgente        | M1-9               |      | 887                                   | 1656                     | 7,5   | 6800     | 4367                                       | 4467                             |
| Salmuera        | M2-9               |      | 44667                                 | 160717                   | 6,8   | 205600   | 350440                                     | 391740                           |

Cuadro 30. Salitral de La Perra, resultados analíticos de aniones en aguas, expresados en miligramos/litro, (U= unidades; T= técnica; LD= límite de detección inferior).



Figura 58. Salitral de La Perra, contenido porcentual de aniones en salmueras.

La costra salina superficial temporaria está formada mayoritariamente por Na<sup>+</sup> con porcentajes muy bajos de Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup>. No se detectó Li<sup>+</sup> (cuadro 31). El Na<sup>+</sup> se combina con el anión Cl<sup>-</sup> formando NaCl, en la forma de halita y el Na<sup>+</sup> y Mg<sup>2+</sup> con el anión SO<sub>4</sub><sup>=</sup> formando bloedita (NaMgSO<sub>4</sub>). No se identificaron minerales de K<sup>+</sup>, pudo haber sido porque estaban, en muy

pequeña proporción, enmascarados entre los cristales de halita, o como trazas dentro de la estructura cristalina de los minerales hallados (figura 46).

El gráfico de la figura 59 muestra la composición porcentual de la costra superficial.

| Tipo de muestra | número / ubicación | Elemento            | B        | Ba       | Ca       | Fe       | K        | Li       | Mg       | Mn       | Na       | Sr       |
|-----------------|--------------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                 |                    | Unidad              | mg/kg MS |
|                 |                    | Técnica             | ICP-OES  |
|                 |                    | Límite de detección | 50       | 0,5      | 2        | 15       | 2        | 50       | 25       | 0,25     | 50       | 12,5     |
| <b>Costra</b>   | superficial        |                     | <50      | 0,92     | 1802     | <15      | 2790     | <50      | 3602     | 1,03     | 329166   | 88,8     |

Cuadro 31. Salitral de La Perra, resultado analítico de cationes en costra salina superficial, (expresados en miligramos/kilogramo).

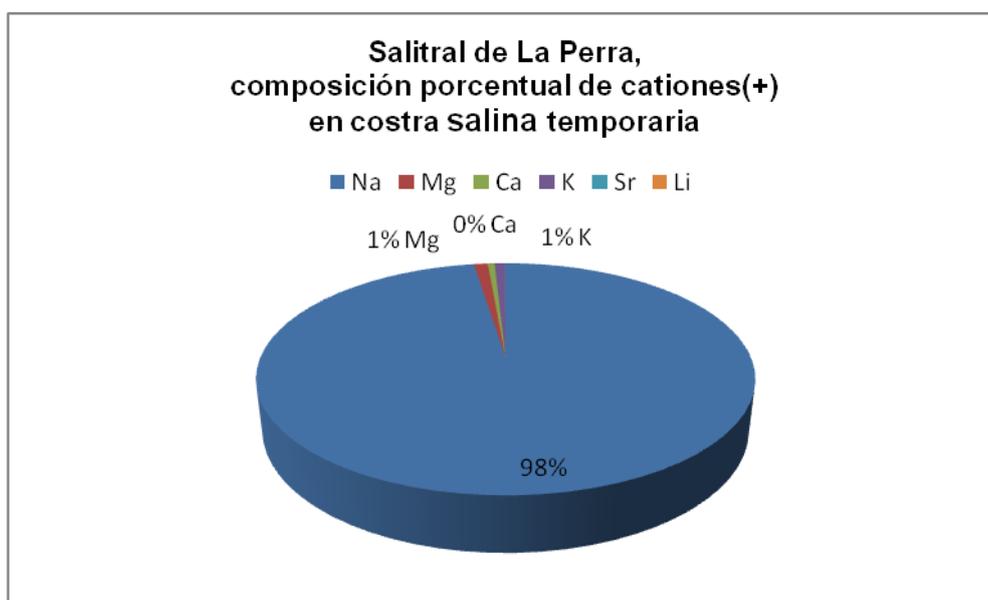
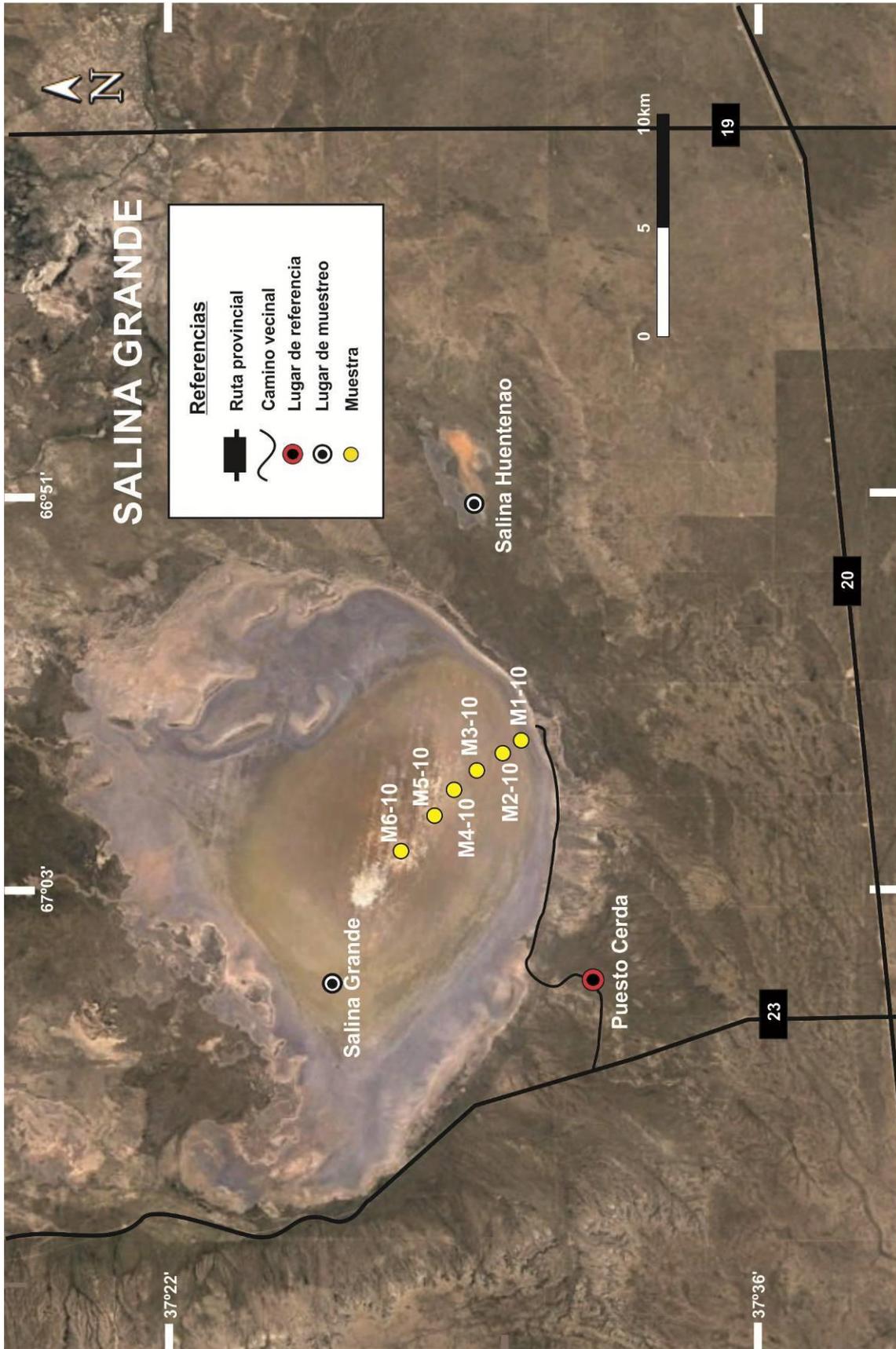


Figura 59. Salitral de La Perra, composición porcentual de cationes en costra salina superficial.

El material clástico de los sedimentos salinos del pozo, fueron estudiados por el laboratorio Actlabs. Los resultados correspondientes se detallan en el cuadro 32.

|                       | Elemento            | Na   | Mg     | Ca     | K      | Fe   | Sr     | Mn     | Ba   | Li     |
|-----------------------|---------------------|------|--------|--------|--------|------|--------|--------|------|--------|
|                       | Unidad              | %    | %      | %      | %      | %    | ppm    | ppm    | ppm  | ppm    |
|                       | Límite de detección | 0,01 | 0,01   | 0,01   | 0,01   | 0,01 | 1      | 1      | 50   | 1      |
|                       | Técnica             | INAA | TD-ICP | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP |
| <b>Fangos salinos</b> |                     | 2,59 | 1,34   | 2,96   | 1,44   | 3,58 | 369    | 653    | 430  | 23     |

Cuadro 32. Salitral de La Perra, resultados analíticos de cationes de los fangos salinos, expresados en porcentaje o partes por millón. INAA: activación neutrónica, TD-ICP: digestión total-plasma acoplado por inducción.



Mapa 11. Sector 2, Salina Grande. Ubicación de puntos de muestreo.

## Salina Grande (o Gran salitral)

La Salina Grande es el cuerpo evaporítico más grande de la provincia de La Pampa, con una superficie que alcanza los 300 km<sup>2</sup>, repartidos entre el Departamento Puelén y el Departamento Limay Mahuida. Se llega por la Ruta Provincial 20, recorriendo hacia el oeste de la localidad de La Reforma, 80 km hasta la intersección con la Ruta Provincial 23. Se continúa hacia el norte por la Ruta Provincial 23, unos 14 km y se ingresa hacia el este por un camino vecinal que recorre hasta la salina unos 10 km (mapa 11).



Figura 60. Salina Grande, vista de la superficie de la salina y su entorno el 3-2-2017.

Tiene forma elíptica con su eje mayor de 28 km en dirección E-O, y su eje menor de 16 km. Las playas ocupan una franja de unos 3 km que contornea al salitral, salvo en su sector SE en donde disminuye a 800 m, permitiendo el acceso.

Un entorno con barrancas de unos 40 m de desnivel, correspondientes a la formación El Gran Salitral (Mioceno-Plioceno) bordea el sur-sureste de la salina y acompaña a los sedimentos eólicos y coluviales del Holoceno, que la rodean. El paisaje geológico se completa con la presencia hacia el este, algo más lejano, de La formación El Fresco (Eoceno) y algunos pequeños afloramientos del Grupo Choiyoi (Melchor y Casadío, 2000).

Esta depresión recibe el aporte superficial del arroyo Potrol y el escurrimiento subterráneo de las aguas del río Atuel-Chadileuvú cuando las condiciones son favorables (Cazenave, 1987).

Los muestreos en la salina se realizaron el 3 de febrero de 2017, con una transecta de 10 km de recorrido, desde la costa sur-sureste, hasta el centro de la salina. Se trabajó en 6 puntos con diferencias entre ellos de 2 km (mapa 11). En el cuadro 33 se detallan las geo-referencias y características de los puntos muestreados.

| Fecha      | Denominación específica del lugar | Tipo de trabajo | Tipo de material recolectado | Nombre de la Muestra | Latitud       | Longitud      |
|------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| 03/02/2017 | salina Grande                     | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M1-10                | 37°30'18.48"S | 66°58'24.38"O |
| 03/02/2017 | salina Grande                     | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M2-10                | 37°29'52.27"S | 66°58'49.53"O |
| 03/02/2017 | salina Grande                     | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M3-10                | 37°29'15.29"S | 66°59'22.11"O |
| 03/02/2017 | salina Grande                     | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M4-10                | 37°28'44.98"S | 66°59'51.04"O |
| 03/02/2017 | salina Grande                     | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M5-10                | 37°28'16.20"S | 67°00'39.85"O |
| 03/02/2017 | salina Grande                     | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M6-10                | 37°27'33.61"S | 67°01'44.97"O |

Cuadro 33. Salina Grande, geo-referencias de las muestras.

En cada punto se tomaron muestras de salmuera, se midió el pH, a temperatura ambiente (30°C) y se recolectó material en los pozos hasta una profundidad de 80 cm.

La playa de la salina, estaba cubierta de megapolígonos rectangulares (figura 61). La calicata realizada en el lugar, de 55 cm de profundidad, determinó la presencia de 0,2 cm de halita (potencia de los megapolígonos) y hacia abajo 15 cm de arenas finas, con estructura masiva y color pardo amarillento moderado, alternando con limos con laminación ondulada y color gris oliva a negro. Luego 25 cm de arcillas plásticas masivas a laminadas, color

oliva pálido o gris oliva claro. Todos estos niveles están formados mayoritariamente por minerales evaporíticos, tales como halita, yeso, glauberita y otros sulfatos complejos (figuras 62 a 64).



Figura 61. Salina Grande, vista de la playa sureste con megapolígonos.



Figura 62. Salina Grande, pozo cavado en la playa sur-sureste hasta los 50 cm de profundidad.



Figura 63. Salina Grande, material extraído del pozo hasta los 20 cm de profundidad.



Figura 64. Salina Grande, material extraído del pozo hasta los 50 cm de profundidad.

En el interior de la salina la costra superficial se extendía por todo el cuerpo en forma compacta, con patrones de crecimiento poligonales redondeados y crestas con agregados circulares. En los pozos cavados, (figura 65) la costra superficial se veía laminada de 3-4 cm de espesor. Por debajo de la costra, hasta una profundidad de 50-80 cm, se hallaron estratos de arenas y

limos arcillosos salinos con niveles salinos "compactados-soldados" (figuras 72-74).



Figura 65. Salina Grande, detalle de la costra superficial en M6-10.

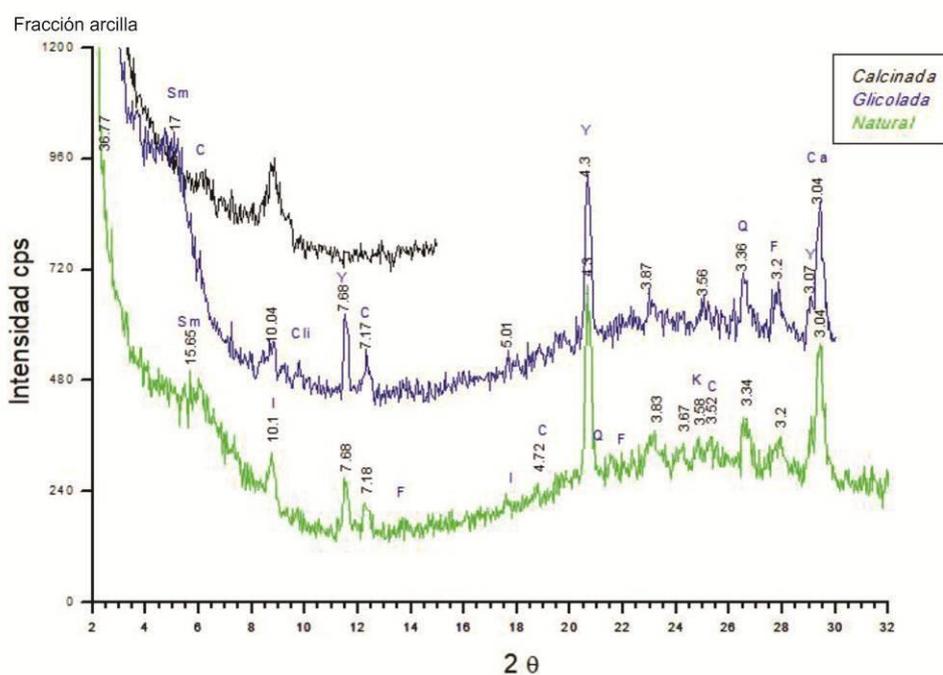
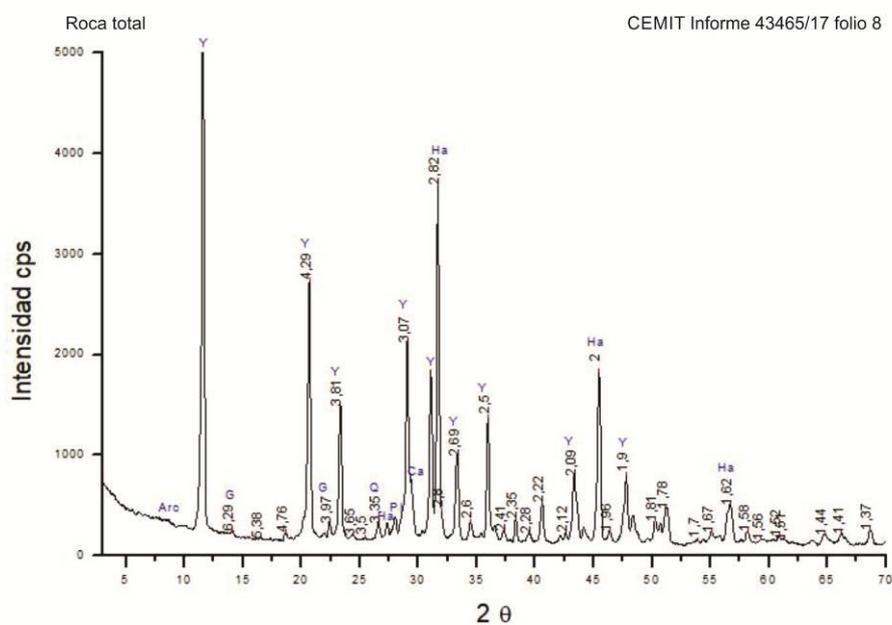
Durante la recolección de las salmueras, se les realizó in situ, una descripción del aspecto general. En el cuadro 34 se detallan las observaciones.

\*El color corresponde a la salmuera luego del precipitado natural de los sedimentos.

| Número   | Muestra         | Extraída de                                | Color           | Olor    | Aspecto     | pH campo |
|----------|-----------------|--|-----------------|---------|-------------|----------|
| M1bis-10 | <b>Salmuera</b> | Agua madre debajo de la costra superficial | gris            | inodoro | translúcido | 6        |
| M2bis-10 | <b>Salmuera</b> |  | gris rosado     |         | translúcido |          |
| M3-10    | <b>Salmuera</b> | Intraporal en la costra superficial        | rosa            |         | translúcido |          |
| M4bis-10 | <b>Salmuera</b> | Agua madre debajo de la costra superficial | rosado grisáceo |         | translúcido |          |
| M5-10    | <b>Salmuera</b> | Intraporal en la costra superficial        | rosa            | fétido  | translúcido | 6        |
| M5bis-10 | <b>Salmuera</b> | Agua madre debajo de la costra superficial | rosado grisáceo |         | translúcido |          |
| M6bis-10 | <b>Salmuera</b> |  | gris rosado     |         | translúcido |          |

Cuadro 34. Salina Grande, observaciones en campo de las salmueras muestreadas.

Los fangos recolectados, se estudiaron, con la técnica de Difractometría de Rayos X, que determinó una composición de 59% de yeso, 23% de halita, 12% de glauberita, 4% de carbonato de calcio y 1% de cuarzo, plagioclasa y arcillas (del tipo esmectita, clorita, illita y caolinita con escasas impurezas de cuarzo, feldespato, yeso y calcio) (figuras 66 y 67).



Figuras 66 y 67. Salina Grande, difractograma de Rayos X de fangos salinos.

Los detalles de las estructuras sedimentarias, los componentes de los estratos (de mayor a menor porcentaje) y sus características texturales se describen en el perfil litológico generalizado (figura 68).

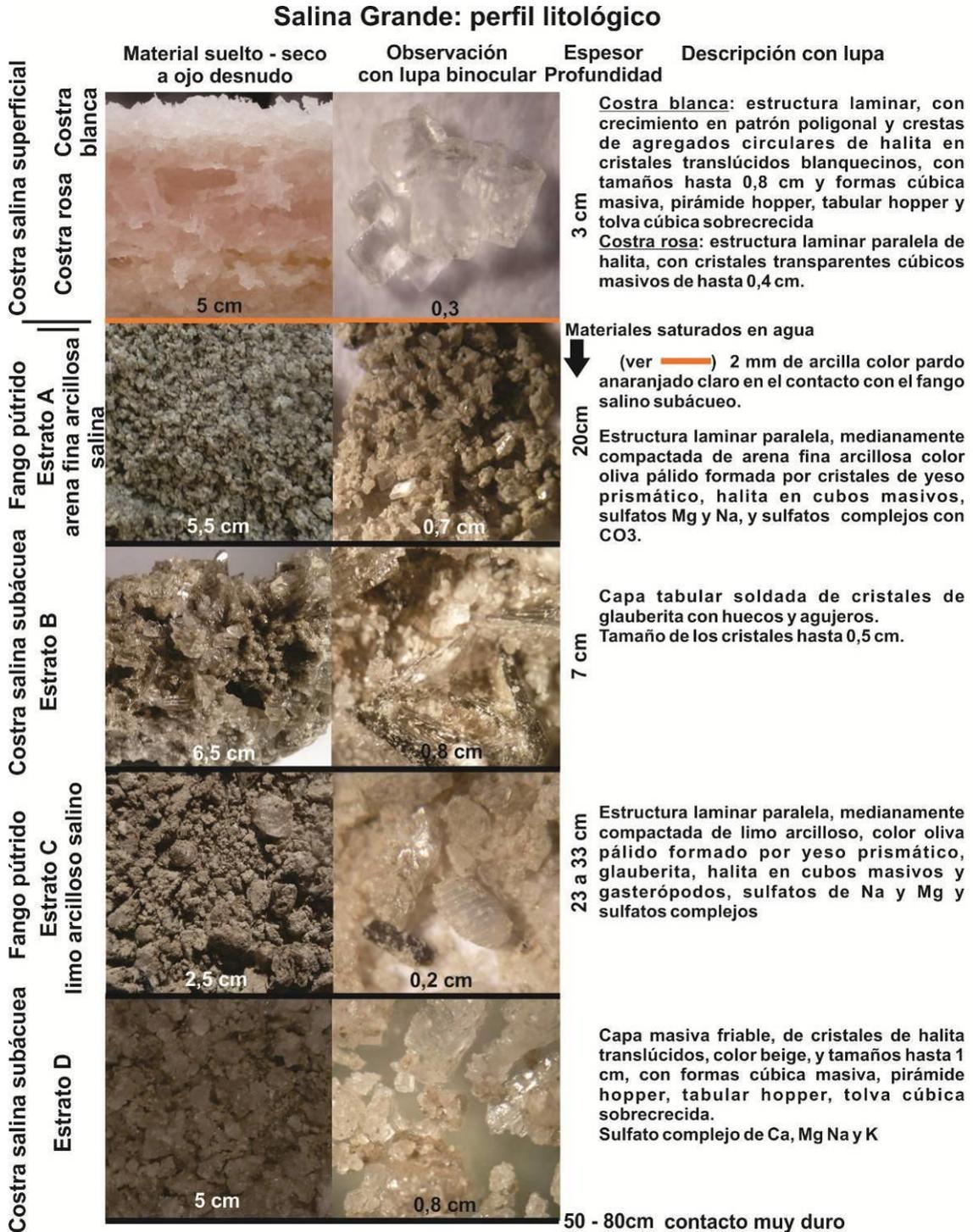


Figura 68. Salina Grande, perfil litológico generalizado.

Nota: el valor en cm, en la parte inferior de cada foto, corresponde a la base de la misma.

A continuación se exponen imágenes obtenidas mediante la observación a la lupa binocular de los minerales hallados en los estratos del interior de la salina.

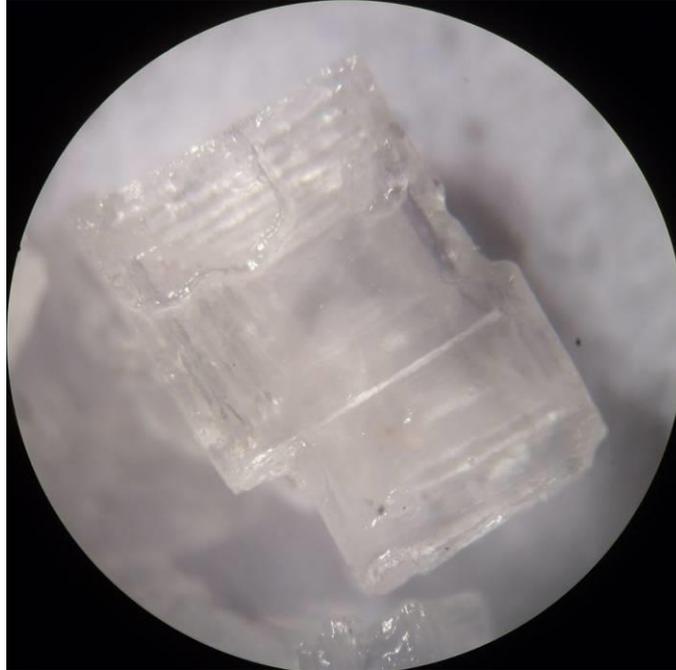


Figura 69. Salina Grande, halita con textura tabular hopper, en costra superficial blanca, (diámetro de la imagen 0,5 cm).

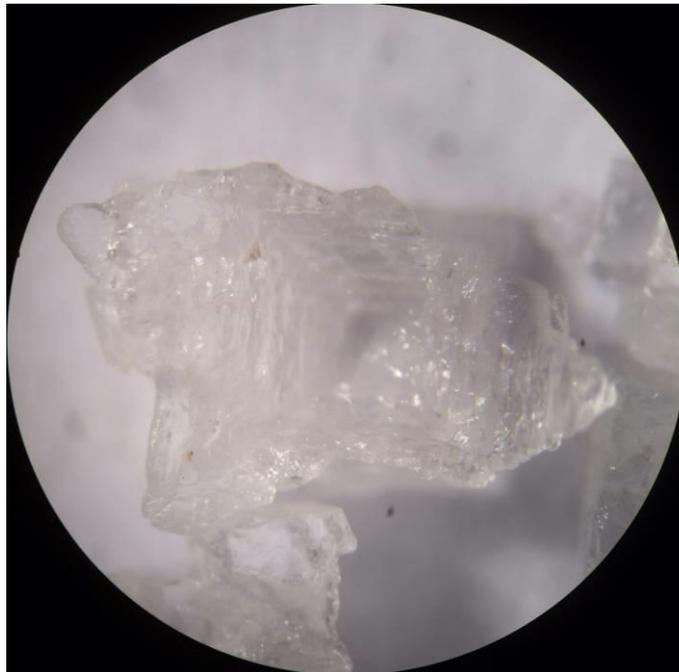


Figura 70. Salina Grande, halita con textura pirámide hopper, en costra superficial blanca, (diámetro de la imagen 0,5 cm).

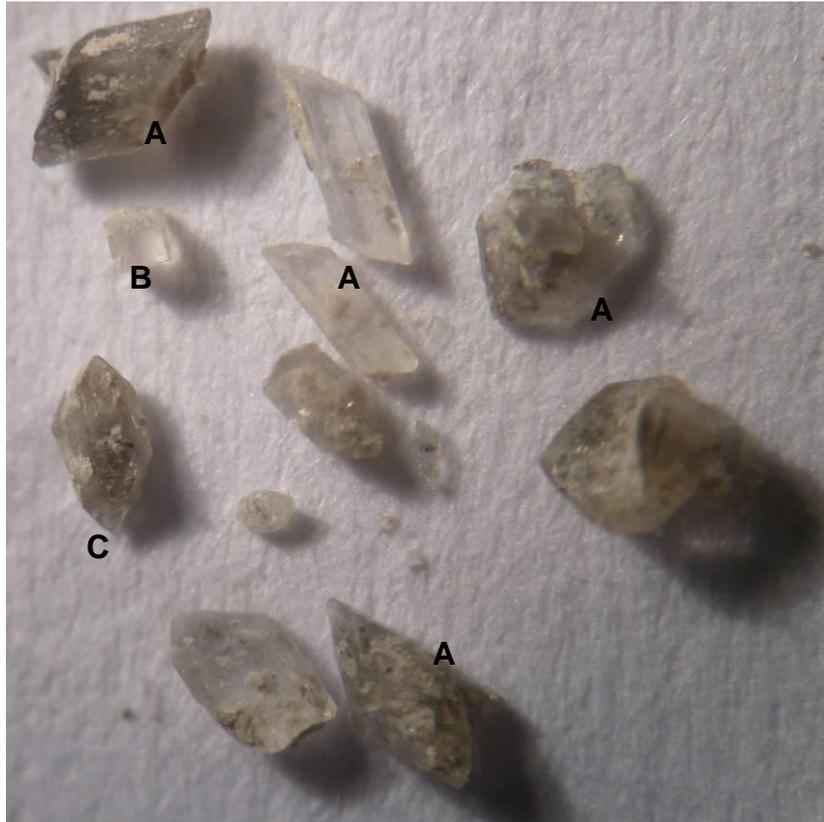


Figura 71. Salina Grande, minerales en el estrato A, (base de la imagen 0,7 cm)

A: yeso prismático.

B: Sulfato de Ca Mg y Na con (Si-Al-K) ver figura 77 (imagen al microscopio electrónico).

C: Sulfato de Na y Mg ver figura 78 (imagen al microscopio electrónico).



Figura 72. Salina Grande, estrato B, fragmento compactado-soldado, (base de la imagen 11 cm). Con el recuadro se indica la figura 73.



Figura 73. Salina Grande, fragmento compactado-soldado del estrato B, (detalle de imagen 72, base de la imagen 7 cm).



Figura 74. Salina Grande, cristales de glauberita que componen el estrato B, (base de la imagen 0,3 cm).



Figura 75. Salina Grande, gasterópodos hallados en el estrato C (base de cada imagen 0,30 cm).



Figura 76. Salina Grande, minerales hallados en estrato C (base de la imagen 0,5 cm),

C: Sulfato de Na y Mg, ver figura 78 imagen de microscopio electrónico.

D: sulfato complejo, ver figura 79 imagen de microscopio electrónico.

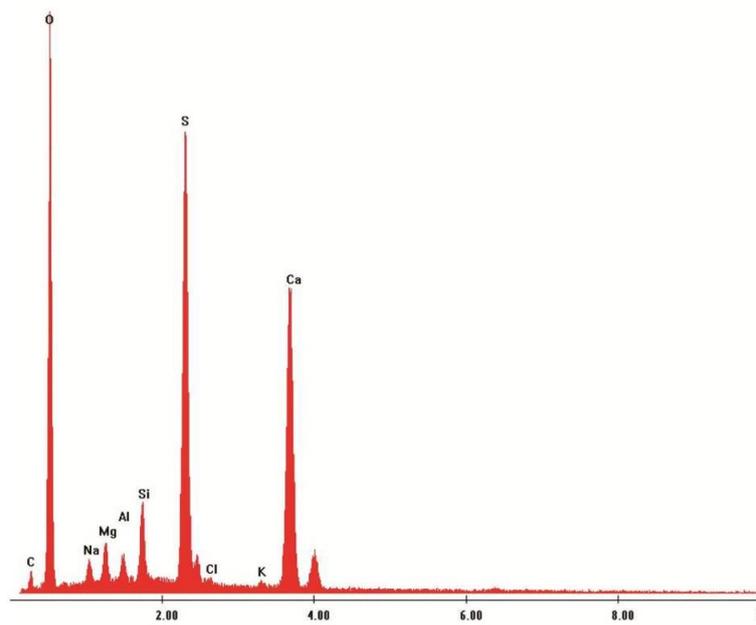
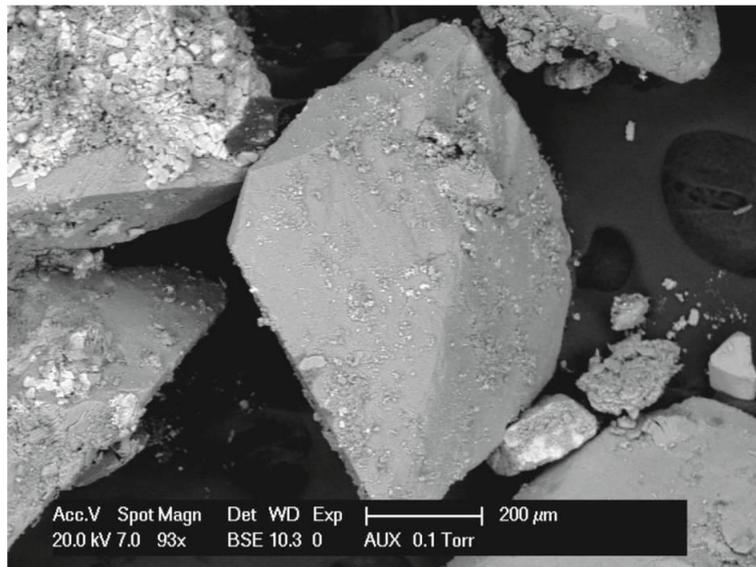


Figura 77. Salina Grande, sulfato de Ca con Si, Mg, Na, Al y K, imagen al microscopio electrónico del mineral B de la figura 71

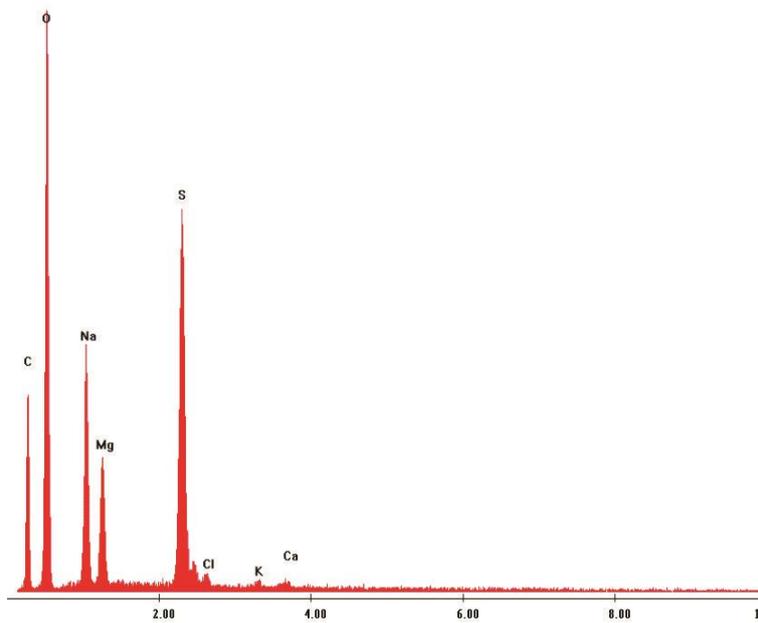
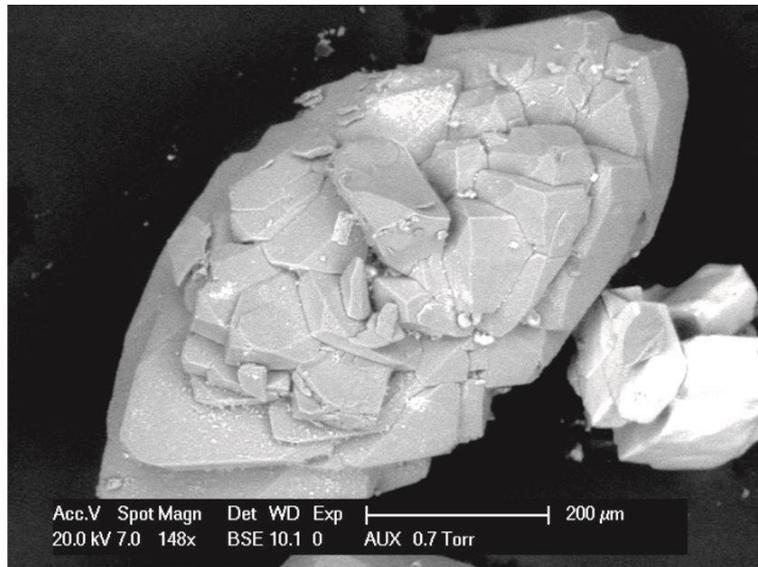


Figura 78. Salina Grande, cristal de astracanita-bloedita con trazas de K y Ca, imagen al microscopio electrónico del mineral C en las figuras 71 y 76.

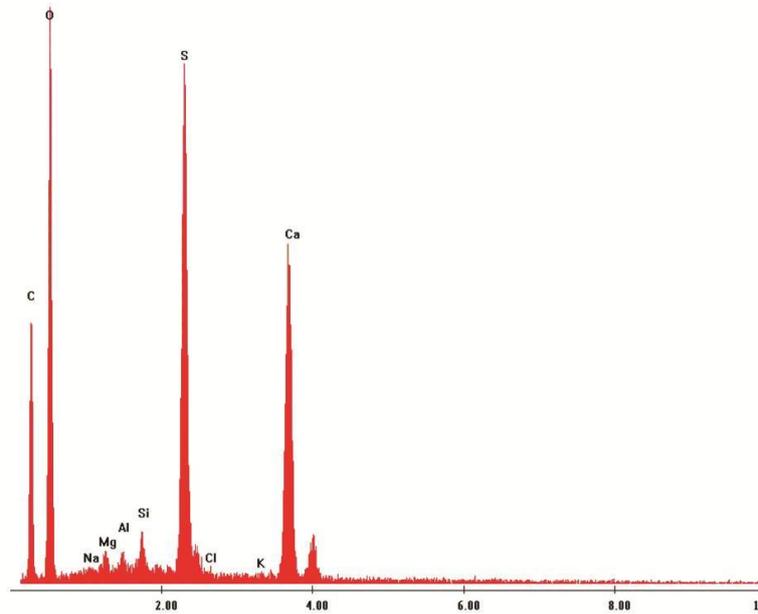
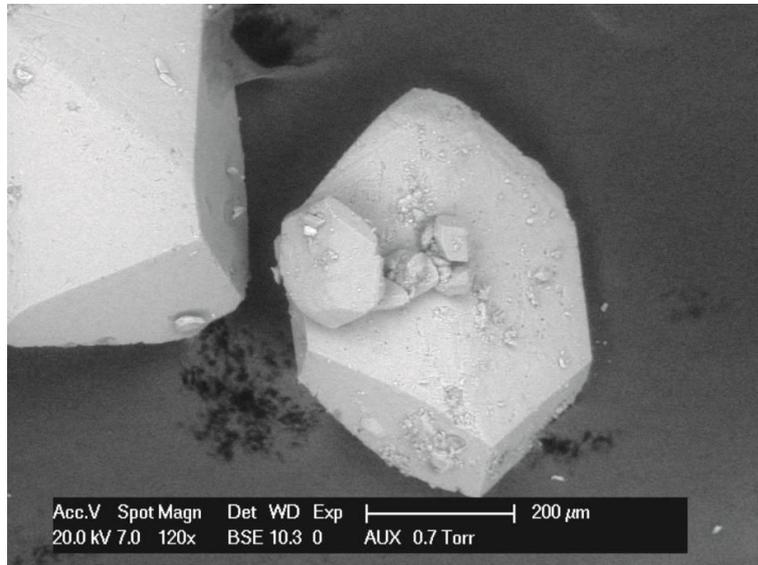


Figura 79. Salina Grande, cristal de yeso con trazas de Si, Mg, Al, Na y K, imagen al microscopio electrónico del mineral D en la figura 76.

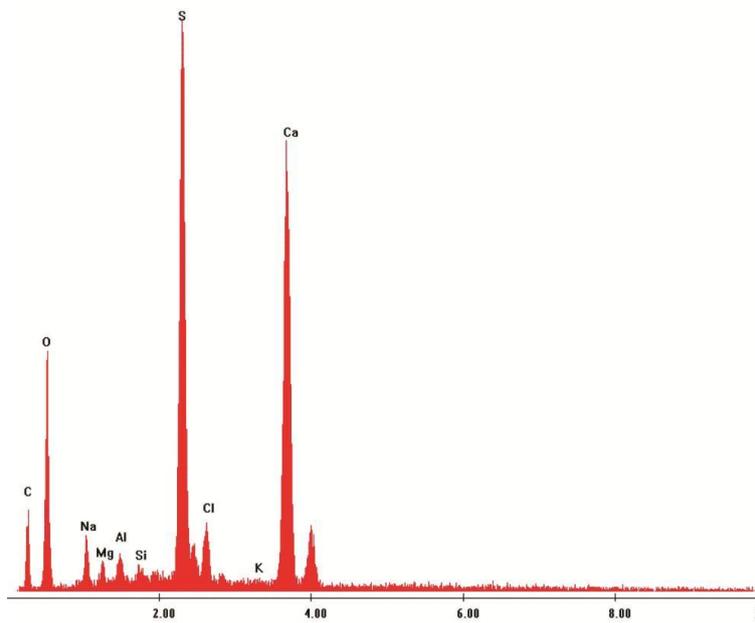
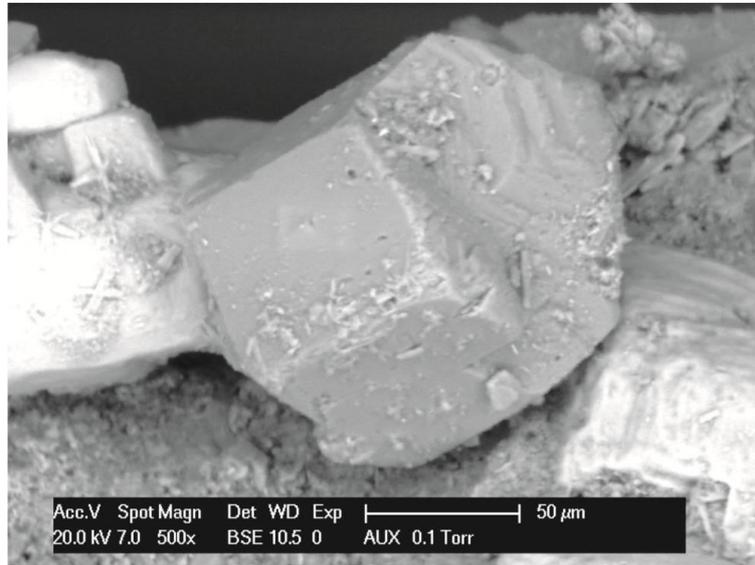


Figura 80. Salina Grande, sulfato de Ca, con trazas de Cl, Na, Mg, Al, Si y K del estrato D, imagen de microscopio electrónico.

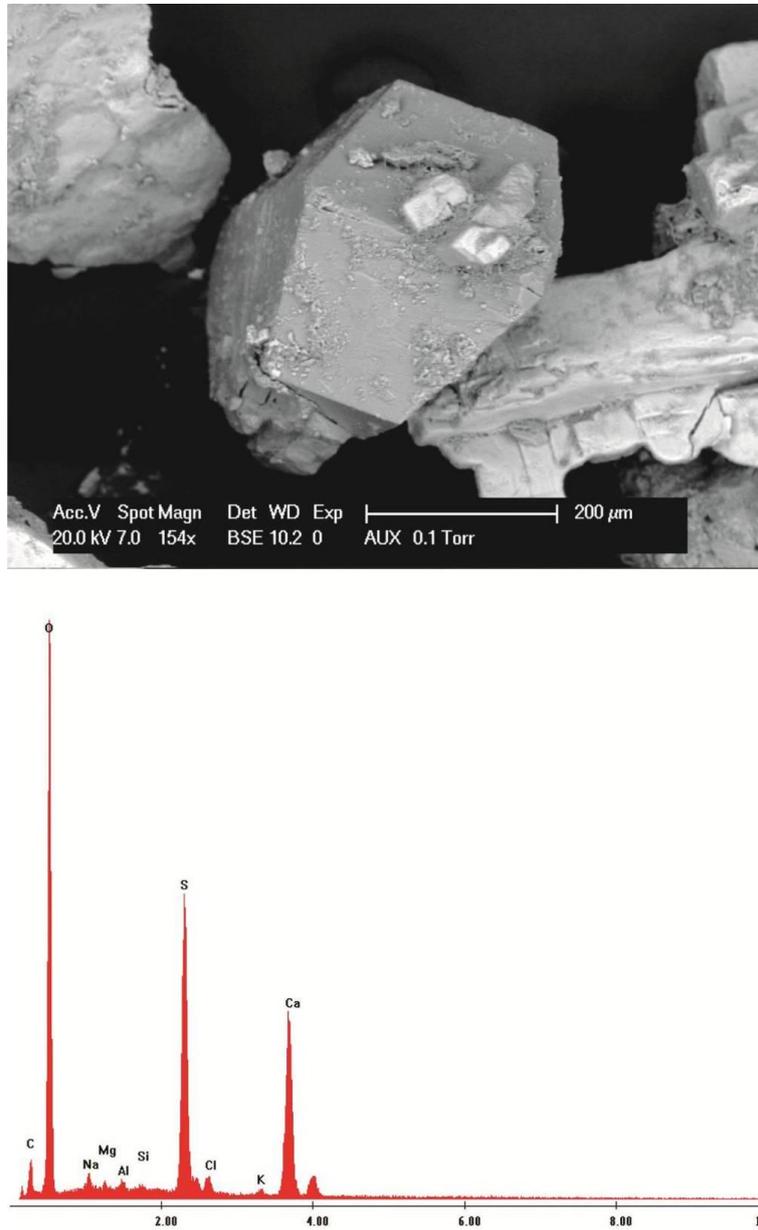


Figura 81. Salina Grande, cristal de yeso, con trazas de Na, Al, Mg, K y Si del estrato D, imagen de microscopio electrónico.

Análisis químicos y caracterización de salmueras, costras y sedimentos.

En los cuadros 35, 36 y 37 se muestran los análisis químicos provistos por el laboratorio Alex Stewart S.A. correspondientes a salmueras y costras.

En líneas generales las salmueras muestran alto contenido de sodio ( $\text{Na}^+$ , entre 106 y 114 g/l ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ , entre 8 y 9,5 g/l) con un moderado contenido de potasio ( $\text{K}^+$ , entre 2,9 y 3,6 g/l). En el caso particular del  $\text{Li}^+$ , no se registró en las salmueras. En la figura 82, se observa la relación porcentual de cada catión.

Con respecto a los aniones, se destaca la alta concentración de cloruro ( $\text{Cl}^-$ , entre 181 y 188 g/l) con sulfato ( $\text{SO}_4^{=}$ , entre 17 y 29 g/l).

En la figura 83 se representa la relación porcentual de aniones.

| Tipo de muestra       | número / ubicación | Elemento            | B         | Ba         | Ca         | Fe         | K           | Li       | Mg          | Mn       | Na            | Sr        |
|-----------------------|--------------------|---------------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|----------|-------------|----------|---------------|-----------|
|                       |                    | Unidad              | mg/L      | mg/L       | mg/L       | mg/L       | mg/L        | mg/L     | mg/L        | mg/L     | mg/L          | mg/L      |
|                       |                    | Técnica             | ICP-OES   | ICP-OES    | ICP-OES    | ICP-OES    | ICP-OES     | ICP-OES  | ICP-OES     | ICP-OES  | ICP-OES       | ICP-OES   |
|                       |                    | Límite de detección | 1         | 0,01       | 2          | 0,3        | 2           | 1        | 1           | 0,01     | 2             | 0,5       |
| <b>Salmuera negra</b> | M1bis-10           |                     | 25        | 0,21       | 448        | <3         | 2904        | <10      | 8338        | 0,69     | 107992        | 12,8      |
| <b>Salmuera negra</b> | M2bis-10           |                     | 30        | <0,1       | 396        | <3         | 3224        | <10      | 8965        | 1,78     | 106602        | 6,6       |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M3-10              |                     | 32        | <0,1       | 421        | <3         | 3511        | <10      | 9427        | 2,34     | 108946        | 5,5       |
| <b>Salmuera Negra</b> | M4bis-10           |                     | 29        | 0,15       | 334        | 6,2        | 3263        | <10      | 8405        | 1,97     | 113560        | 8,7       |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M5-10              |                     | 32        | <0,1       | 288        | <3         | 3581        | <10      | 9014        | 1,69     | 112112        | 13,1      |
| <b>Salmuera negra</b> | M5bis-10           |                     | 29        | <0,1       | 290        | <3         | 3305        | <10      | 8190        | 3,22     | 108827        | 10,2      |
| <b>Salmuera negra</b> | M6bis-10           |                     | 28        | 0,27       | 520        | 8,3        | 3113        | <10      | 8002        | 2,38     | 110588        | 13,5      |
| <b>Promedio</b>       |                    |                     | <b>29</b> | <b>0,2</b> | <b>385</b> | <b>7,3</b> | <b>3272</b> | <b>-</b> | <b>8620</b> | <b>2</b> | <b>109804</b> | <b>10</b> |

Cuadro 35. Salina Grande, resultados analíticos de cationes en salmueras, expresados en miligramos/litro. Ubicación de sitios de muestreo en el mapa 11.

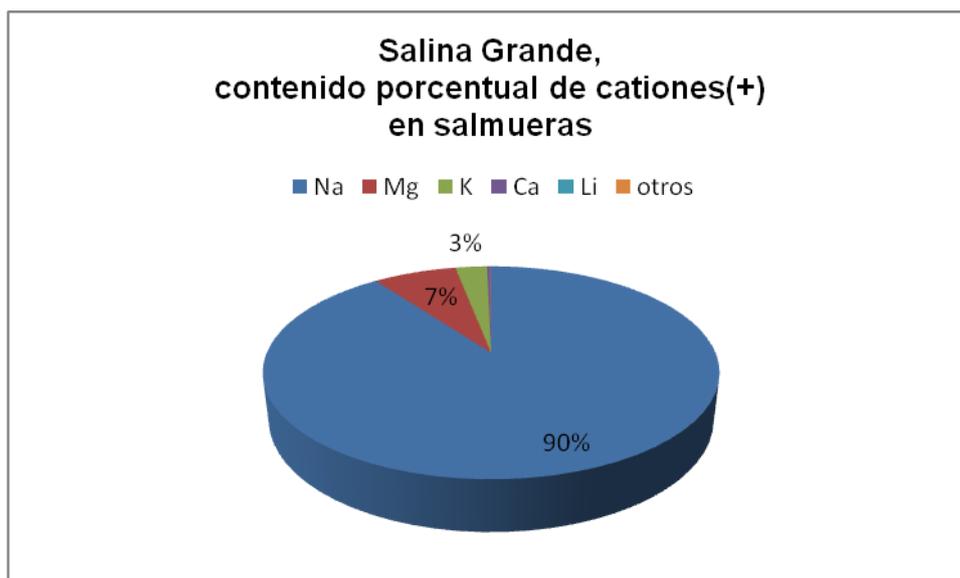


Figura 82. Salina Grande, contenido porcentual de cationes en salmueras.

| Tipo de Muestra | número / ubicación | Det. | Sulfatos SO4= | Cloruros Cl-  | pH    | Conduct. | Sólidos disueltos totales (secados a 180°) | Sólidos totales (secados a 103°) |
|-----------------|--------------------|------|---------------|---------------|-------|----------|--|----------------------------------|
|                 |                    | U    | mg/l          | mg/L          | de pH | µS/cm    | mg/L                                       | mg/L                             |
|                 |                    | T    | Volum         | Volum         | ISE   | Instrum  | Grav.                                      | Grav.                            |
|                 |                    | LD   | 10            | 5             | 0,1   | 5        | 10   | 10                               |
| Salmuera negra  | M1bis-10           |      | 17188         | 185365        | 7     | 230300   | 330240                                     | 369880                           |
| Salmuera negra  | M2bis-10           |      | 19082         | 184491        | 7     | 228400   | 332720                                     | 378600                           |
| Salmuera rosa   | M3-10              |      | 19230         | 187988        | 7,2   | 228100   | 333080                                     | 380060                           |
| Salmuera Negra  | M4bis-10           |      | 26738         | 181868        | 6,9   | 225300   | 340080                                     | 372040                           |
| Salmuera rosa   | M5-10              |      | 29141         | 180994        | 7,2   | 223400   | 339400                                     | 391020                           |
| Salmuera negra  | M5bis-10           |      | 28252         | 181868        | 7,1   | 224400   | 339840                                     | 379200                           |
| Salmuera negra  | M6bis-10           |      | 21584         | 182742        | 6,8   | 228500   | 335240                                     | 377200                           |
| <b>Promedio</b> |                    |      | <b>23031</b>  | <b>183617</b> |       |          |  |                                  |

Cuadro 36. Salina Grande, resultados analíticos de aniones en salmueras, expresados en miligramos/litro, (U= unidades; T= técnica; LD= límite de detección inferior).

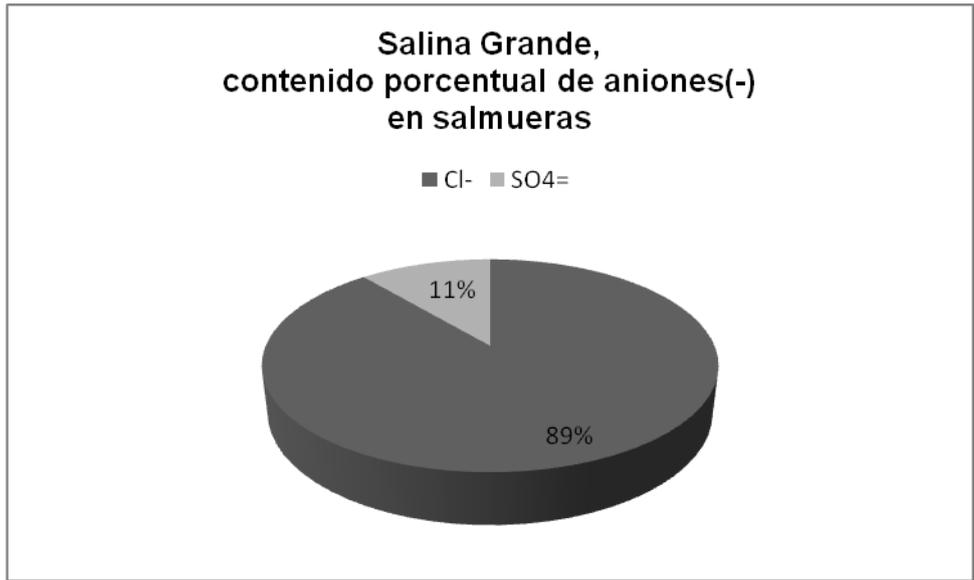


Figura 83. Salina Grande, contenido porcentual de aniones en salmueras.

El análisis comparativo entre muestras de distintos lugares y posición de extracción, refleja que las seis muestras recolectadas en la transecta, tienen similar composición con respecto a los tipos de cationes, y leves variaciones en sus valores absolutos (figura 84).

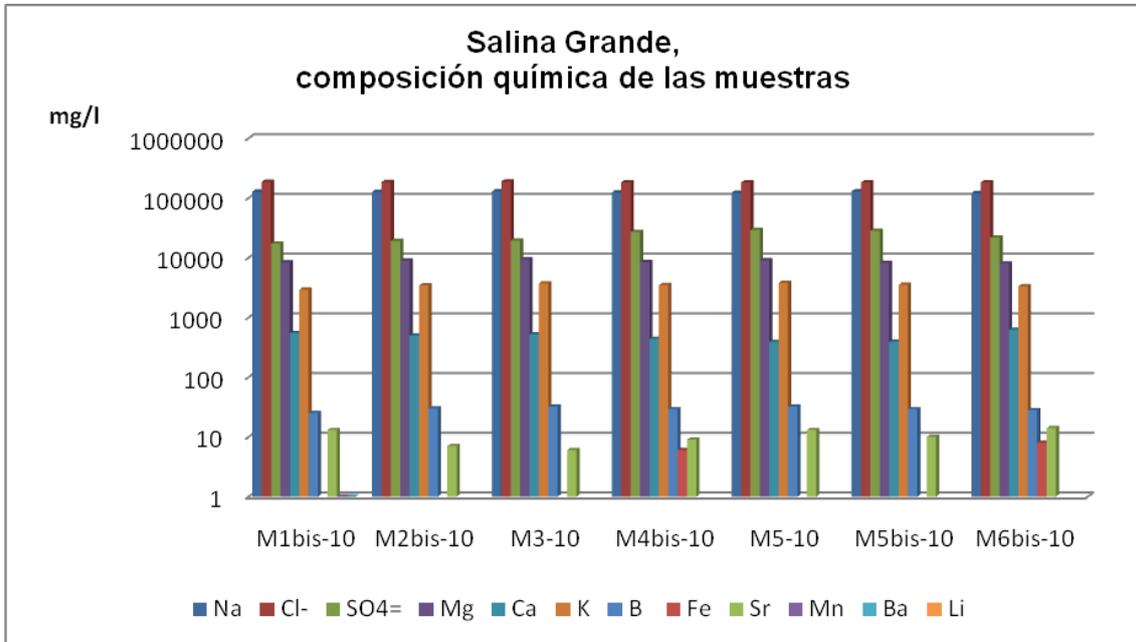


Figura 84. Salina Grande, diagrama comparativo entre muestras.

Por su parte, los resultados analíticos obtenidos sobre las costras salinas, indican que la costra superficial temporaria, está formada casi en su totalidad, por  $\text{Na}^+$ . Este sodio, dados los minerales presentes, está en forma de  $\text{NaCl}$  (halita), el 1% de magnesio (Mg), potasio (K) y calcio (Ca), probablemente se encuentren como trazas dentro de la halita o conformando algún mineral que por su reducida proporción no se visualizó (cuadro 37 y figura 85).

La costra salina sub-ácuea, es de dos tipos: una de sales con sedimento y la otra, estructuras masivas con cristales compactados y soldados, 95% glauberita. En las sales de los sedimentos hasta una profundidad de 80 cm, la proporción de cationes es 74%  $\text{Na}^+$  (en halita) y 24%  $\text{Ca}^{2+}$  (en yeso y glauberita). Cationes como  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  y otros, se hallan como trazas dentro de éstos. No se registró litio, entre los minerales de las costras salinas (figura 86).

| Tipo de muestra | número / ubicación | Elemento            | B        | Ba       | Ca       | Fe       | K        | Li       | Mg       | Mn       | Na       | Sr       |
|-----------------|--------------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                 |                    | Unidad              | mg/kg MS |
|                 |                    | Técnica             | ICP-OES  |
|                 |                    | Límite de detección | 50       | 0,5      | 2        | 15       | 2        | 50       | 1        | 0,01     | 2        | 25       |
| <b>Costra</b>   | superficial        |                     | <50      | <0,5     | 1567     | <15      | 1006     | <50      | 1336     | 1,28     | 368432   | 25,7     |
|                 | Sub-ácuea          |                     | <50      | 1,72     | 55911    | <15      | 980      | <50      | 1253     | 2,27     | 170520   | 449      |

Cuadro 37. Salina Grande, resultados analíticos de cationes en costras salinas, (expresados en miligramos /kilogramo).

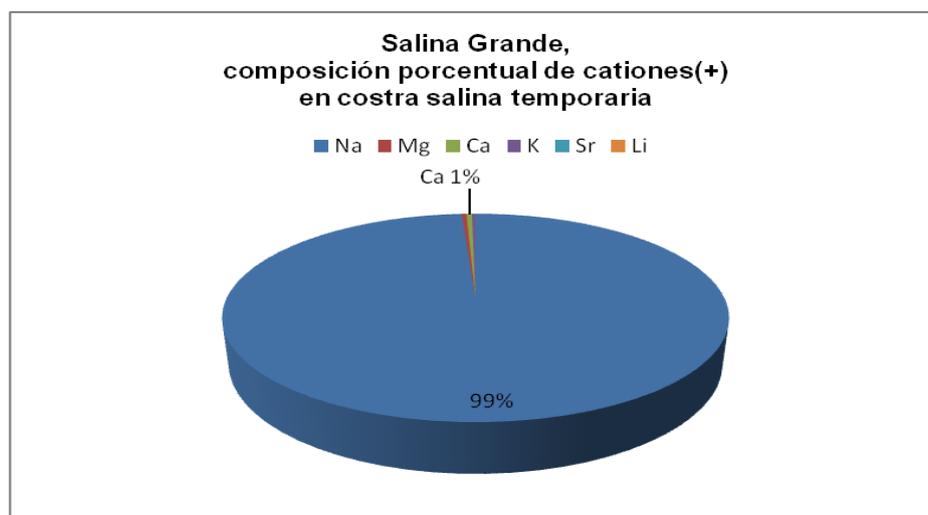


Figura 85. Salina Grande, composición porcentual de cationes en costra superficial.

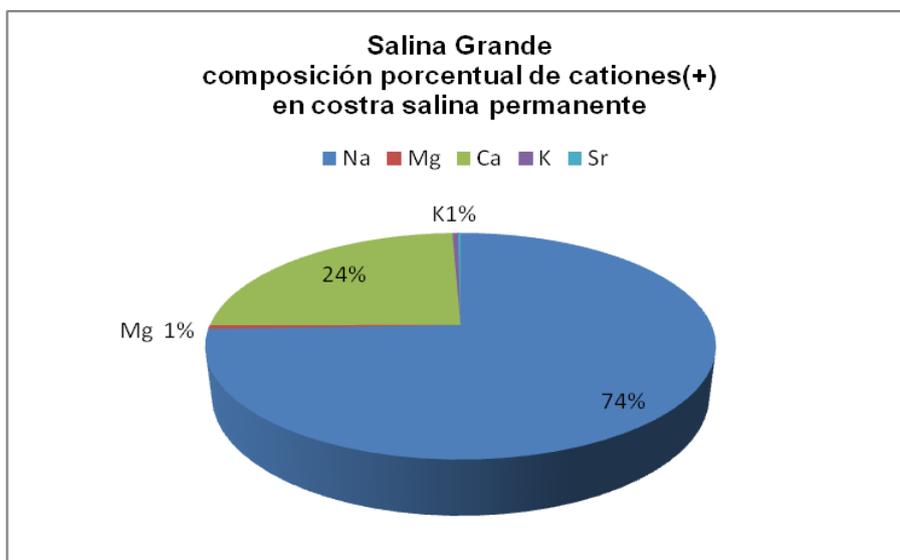
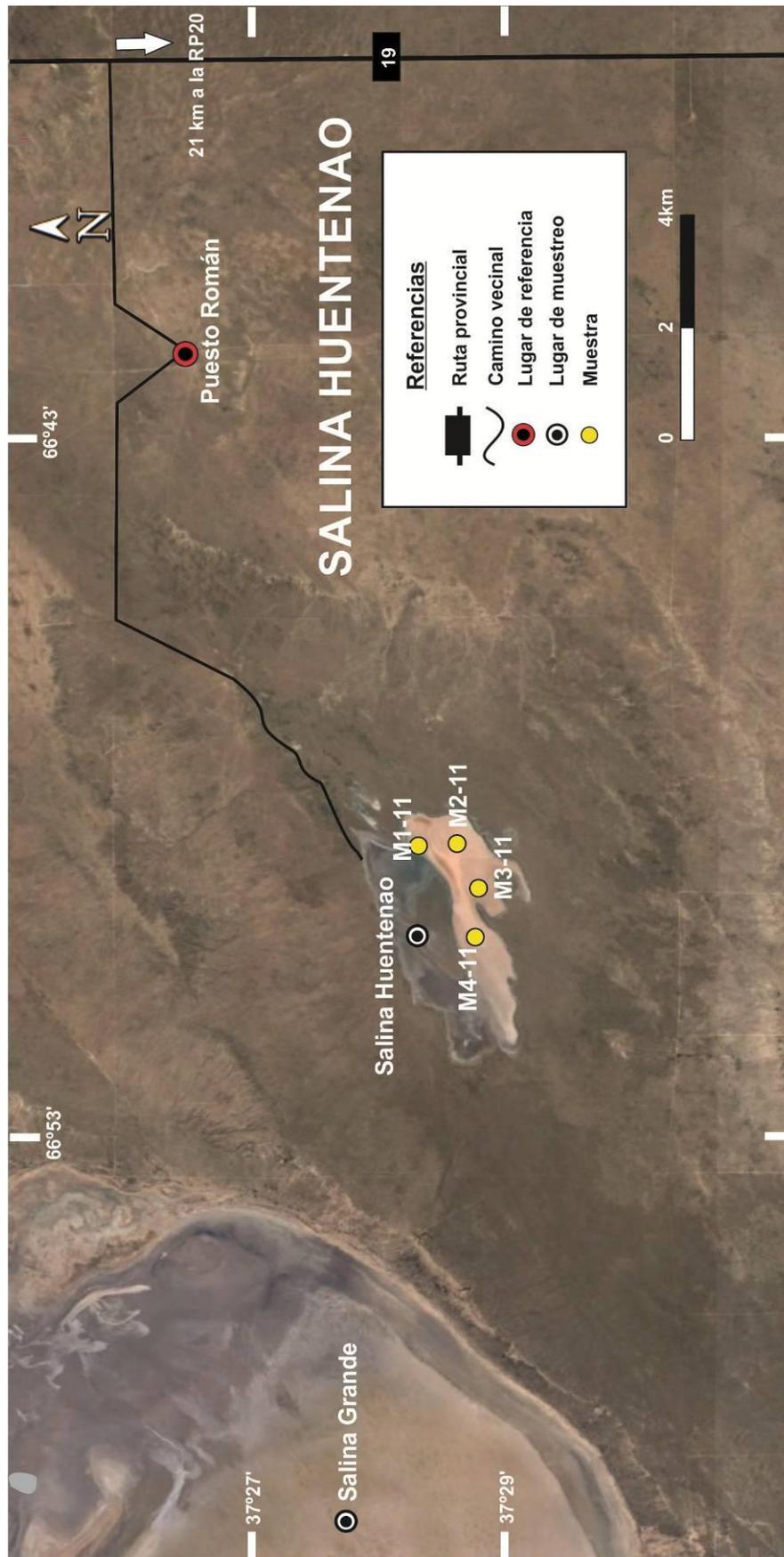


Figura 86. Salina Grande, composición porcentual de cationes en sales de fangos salinos.

El material clástico de los fangos salinos fue estudiado por el laboratorio Actlabs. Los resultados correspondientes se detallan en el cuadro 38.

|                       | Elemento            | Na   | Mg     | Ca     | K      | Fe   | Sr     | Mn     | Ba   | Li     |
|-----------------------|---------------------|------|--------|--------|--------|------|--------|--------|------|--------|
|                       | Unidad              | %    | %      | %      | %      | %    | ppm    | ppm    | ppm  | ppm    |
|                       | Límite de detección | 0,01 | 0,01   | 0,01   | 0,01   | 0,01 | 1      | 1      | 50   | 1      |
|                       | Técnica             | INAA | TD-ICP | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP |
| <b>Fangos salinos</b> |                     | 0,32 | 0,54   | 14,4   | 0,17   | 0,43 | 2040   | 203    | < 50 | 11     |

Cuadro 38. Salina Grande, resultados analíticos de cationes de los fangos salinos, expresados en porcentaje o partes por millón. INAA: activación neutrónica, TD-ICP: digestión total-plasma acoplado por inducción.



Mapa 12. **Sector 2**, Salina Huentenao. Ubicación de puntos de muestreo.

## Salina Huentenao (o Salinas Chicas)

La salina Huentenao se encuentra en el Departamento Limay Mahuida muy cercana al extremo SE de la Salina Grande. Para acceder a ella, se ingresa a la Ruta Provincial 19 desde la Ruta Provincial 20, a unos 40 km al oeste de la localidad de La Reforma. Se continúa por la RP 19 unos 21 km hacia el norte, se ingresa hacia el oeste y se continúa por caminos vecinales 18 km, siempre con la misma dirección (mapa 12).

Es una depresión de unos 4,5 km de largo en sentido SO-NE por unos 2,5 km de ancho, con una isla interna. Depósitos eólicos de 3-4 m de altura (con respecto al suelo de la salina), y vegetación espinosa, se hallan en todo su contorno y en la isla central (figura 87)



Figura 87. Salina Huentenao, vista del sector sur con costra salina y su entorno.

Tomando como referencia el diámetro mayor, la salina se divide en un sector con características de playa hacia el norte y otro sector hacia el sur, con costra salina en superficie.

El muestreo se realizó en febrero de 2017, trabajando en 4 puntos sobre el área sur. En cada punto se tomaron muestras de salmuera, se midió el pH, a temperatura ambiente (35°C) y se recolectó material en los pozos hasta una profundidad de 50 cm. La ubicación de las muestras se encuentran en el mapa 12 y los detalles y geo-referencias se describen en el cuadro 39.

| Fecha      | Denominación específica del lugar | Tipo de trabajo | Tipo de material recolectado | Nombre de la Muestra | Latitud       | Longitud      |
|------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| 10/02/2017 | salina Huentenao                  | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M1-11                | 37°28'31.49"S | 66°49'17.28"O |
| 10/02/2017 | salina Huentenao                  | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M2-11                | 37°28'51.57"S | 66°49'15.08"O |
| 10/02/2017 | salina Huentenao                  | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M3-11                | 37°29'05.85"S | 66°49'47.91"O |
| 10/02/2017 | salina Huentenao                  | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M4-11                | 37°29'03.34"S | 66°50'23.89"O |

Cuadro 39. Salina Huentenao, geo-referencias de las muestras.

El terreno hacia el norte de la salina, estaba cubierto parcialmente de mega polígonos con formas rectangulares con buen soporte para caminar, salvo algunos lugares en los extremos (figura 88).



Figura 88. Salina Huentenao, vista de la playa y su estructura salina.

En el área sur, se pudo observar una costra salina muy compacta y con alta capacidad portante que se extendía por toda la superficie. No se observó playa en el contorno, salvo una franja muy pequeña sin dificultad para caminar.

El crecimiento superficial de la costra era en patrón poligonal redondeado y crestas de agregados circulares de halita de 1-3 cm de diámetro (figura 89).



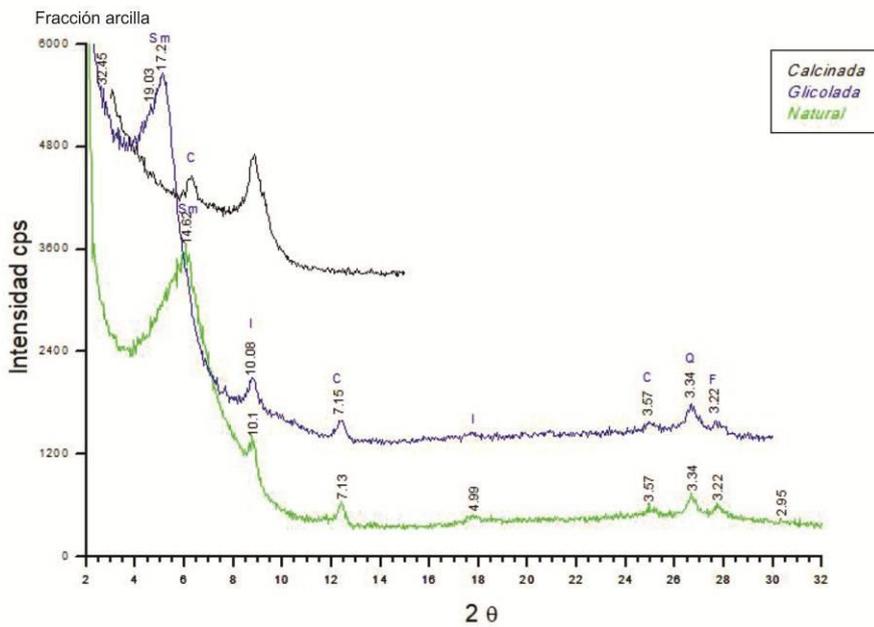
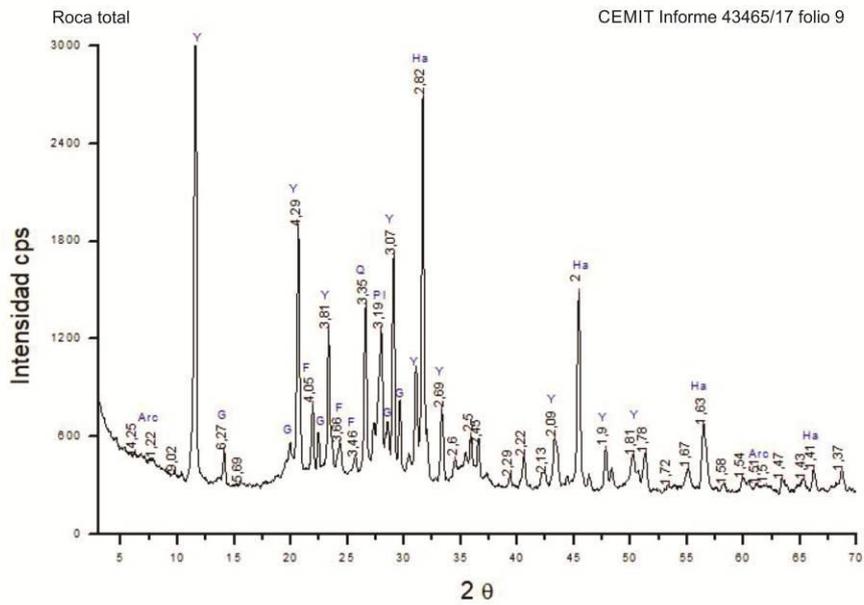
Figura 89. Salina Huentenao, aspecto de la costra superficial.

En las calicatas realizadas de aproximadamente 45 cm, se observaron 7-8 cm de costra salina en parte superficial y en parte sumergida, a la que subyacen arcillas arenosas o limosas con alto contenido de sales (figura 90).



Figura 90. Salina Huentenao, pozo cavado en el punto M2-11.

Los fangos recolectados se observaron con lupa binocular; están compuestos por sales con un porcentaje menor de material clástico. Con la técnica de Difractometría de Rayos X, se determinó que el material clástico suma un 34%, 32% en fracción arena y un 2% en arcilla de los tipos esmectita (principalmente), illita, clorita y escasas impurezas de cuarzo y feldespato. Las sales de yeso, halita y glauberita representan un 66% (figuras 91 y 92).



Figuras 91 y 92. Salina Huentenao, difractogramas de fangos salinos.

Los detalles de las estructuras sedimentarias, los componentes de los estratos (de mayor a menor porcentaje) y sus características texturales se describen en el perfil litológico generalizado (figura 93).

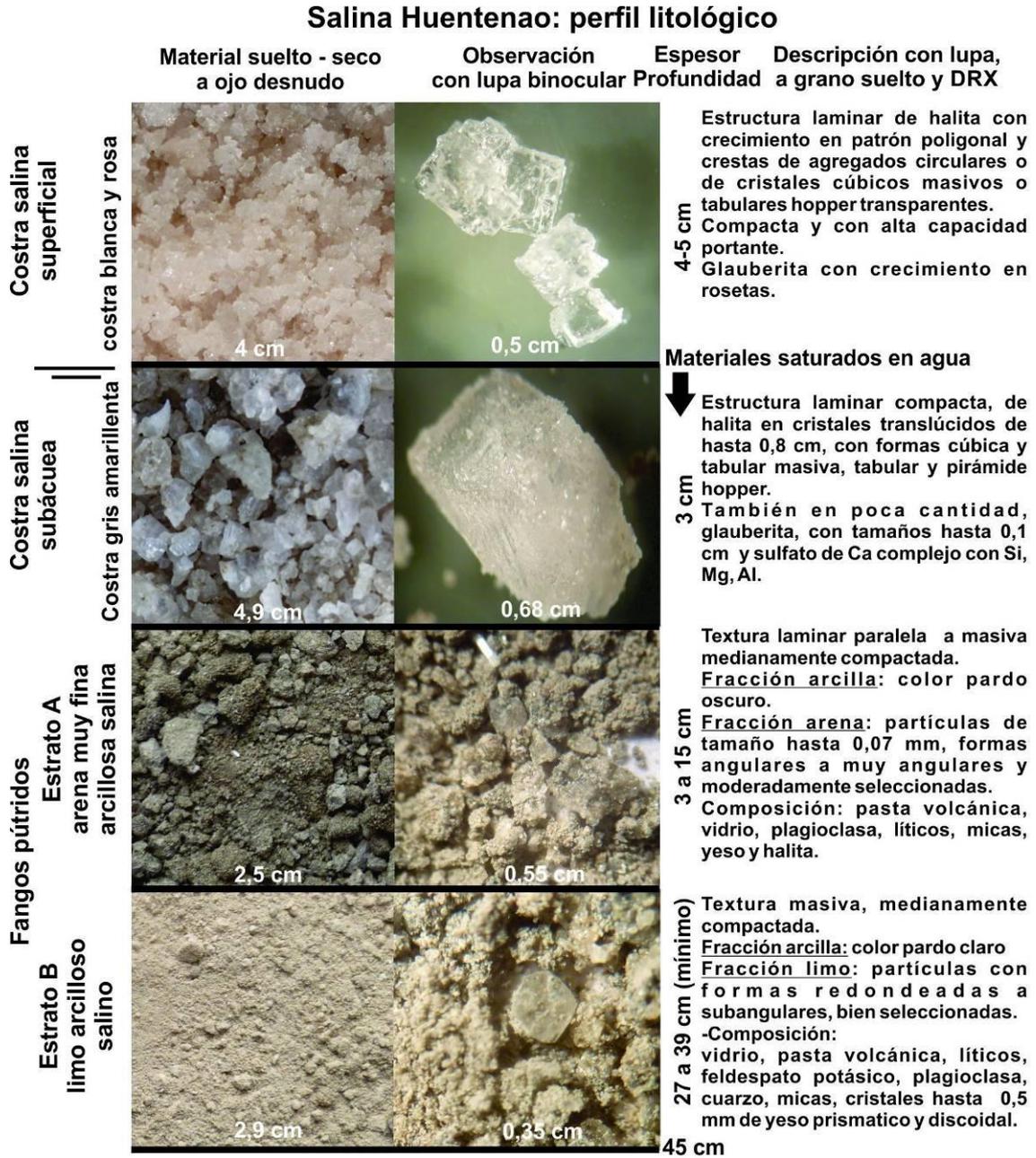


Figura 93. Salina Huentenao, perfil litológico generalizado.

Nota: el valor en cm, en la parte inferior de cada foto, corresponde a la base de la misma.

En la observación a la lupa y al microscopio con la técnica de grano suelto, se observaron fragmentos líticos de basalto, vidrio, pasta volcánica, individuos de feldespatos potásico y micas.

En la preparación para DRX, las muestras se pulverizan, por tanto el porcentaje de las plagioclasas identificadas mediante DRX, corresponde a la suma de los cristales sueltos en el sedimento más aquellos liberados de los líticos pulverizados. El vidrio inalterado está representado en el difractograma, por el fondo, y el vidrio alterado de la pasta volcánica como esmectita. El resto de los minerales observados en el microscopio, tales como feldespatos potásico y micas, como están en proporciones muy pequeñas, pudieron no haber sido incluidos en la muestra del DRX.

Durante la recolección de las salmueras, se les realizó in situ, una descripción del aspecto general. En el cuadro 40 se detallan las observaciones.

\*El color corresponde a la salmuera luego del precipitado natural de los sedimentos.

| Número   | Muestra         | Extraída de                                | Color        | Olor    | Aspecto     | pH campo |
|----------|-----------------|--|--------------|---------|-------------|----------|
| M1bis-11 | <b>Salmuera</b> | Agua madre debajo de la costra superficial | beige rosado | fétido  | translúcido | 6        |
| M2-11    | <b>Salmuera</b> | Intraporal en la costra superficial        | rosa pálido  | inodoro | translúcido |          |
| M2bis-11 | <b>Salmuera</b> | Agua madre debajo de la costra superficial | beige        | fétido  | translúcido |          |
| M3bis-11 | <b>Salmuera</b> | Agua madre debajo de la costra superficial | rosa fuerte  | fétido  | translúcido |          |
| M4bis-11 | <b>Salmuera</b> |  | rosa fuerte  | fétido  | translúcido | 6        |

Cuadro 40. Salina Huentenaó, observaciones en campo de las salmueras muestreadas.

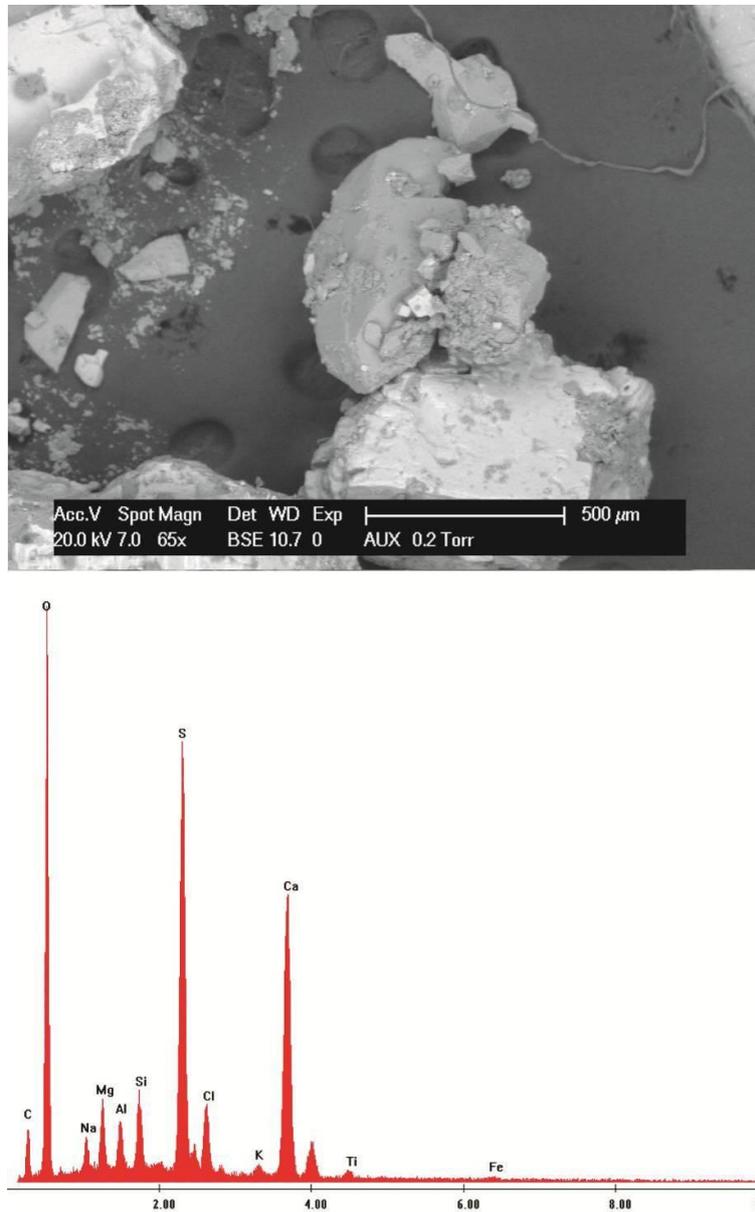


Figura 94. Salina Huentenao, sulfato de Ca con trazas de Si, Mg, Al, Na, K y Ti, encontrado en la costra subácnea de halita color gris amarillento (ver figura 93), imagen de microscopio electrónico.

Análisis químicos y caracterización de salmueras, costras y sedimentos.

En los cuadros 41, 42 y 43, se exponen los análisis químicos provistos por el laboratorio Alex Stewart S.A. correspondientes a salmueras y costras salinas.

En líneas generales las salmueras contienen alto contenido de sodio ( $\text{Na}^+$ , 123 g/l ), con baja a moderada cantidad de magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ , entre 2,5 y 7 g/l ) y potasio ( $\text{K}^+$  de 1 a 3 g/l). No se registró Li en las salmueras estudiadas. La relación porcentual de cationes se puede observar en el gráfico 95.

| Tipo de muestra       | número / ubicación | Elemento            | B         | Ba          | Ca         | Fe       | K           | Li            | Mg          | Mn       | Na            | Sr        |
|-----------------------|--------------------|---------------------|-----------|-------------|------------|----------|-------------|---------------|-------------|----------|---------------|-----------|
|                       |                    | Unidad              | mg/L      | mg/L        | mg/L       | mg/L     | mg/L        | mg/L          | mg/L        | mg/L     | mg/L          | mg/L      |
|                       |                    | Técnica             | ICP-OES   | ICP-OES     | ICP-OES    | ICP-OES  | ICP-OES     | ICP-OES       | ICP-OES     | ICP-OES  | ICP-OES       | ICP-OES   |
|                       |                    | Límite de detección | 1         | 0,01        | 2          | 0,3      | 2           | 1             | 1           | 0,01     | 2             | 0,5       |
| <b>Salmuera negra</b> | M1bis-11           |                     | 10        | 0,32        | 404        | 10,3     | 1174        | <10           | 2500        | 1,98     | 122354        | 13,8      |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M2-11              |                     | 30        | <0,10       | 226        | <3       | 2962        | <10           | 7059        | 5,56     | 110610        | 6,2       |
| <b>Salmuera negra</b> | M2bis-11           |                     | 25        | <0,10       | 271        | <3       | 2358        | <10           | 5487        | 3,54     | 120518        | <5        |
| <b>Salmuera negra</b> | M3bis-11           |                     | 13        | <0,10       | 330        | <3       | 1426        | <10           | 3091        | 0,79     | 121450        | 7,9       |
| <b>Salmuera negra</b> | M4bis-11           |                     | 16        | 0,21        | 291        | 5,5      | 1613        | <10           | 3768        | 2,50     | 122882        | 12,1      |
| <b>Promedio</b>       |                    |                     | <b>19</b> | <b>0,27</b> | <b>304</b> | <b>8</b> | <b>1907</b> | <b>&lt;10</b> | <b>4381</b> | <b>3</b> | <b>119563</b> | <b>10</b> |

Cuadro 41. Salina Huentenao, resultados analíticos de cationes en salmueras, expresados en miligramos/litro. Ubicación de sitios de muestreo en el mapa 12 .



Figura 95. Salina Huentenao, contenido porcentual de cationes en salmueras.

Con respecto a los aniones, se destaca la alta concentración de cloruro ( $\text{Cl}^-$ , 185 g/l) y un porcentaje moderado de sulfato ( $\text{SO}_4^{=}$  entre 17 y 38 g/l).

En la figura 96, se representa la relación porcentual de aniones.

| Tipo de Muestra       | número / ubicación | Det. | Sulfatos $\text{SO}_4^{=}$ | Cloruros $\text{Cl}^-$ | pH    | Conduct.         | Sólidos disueltos totales (secados a 180°) | Sólidos totales (secados a 103°) |
|-----------------------|--------------------|------|----------------------------|------------------------|-------|------------------|--|----------------------------------|
|                       |                    | U    | mg/l                       | mg/L                   | de pH | $\mu\text{S/cm}$ | mg/L                                       | mg/L                             |
|                       |                    | T    | Volum                      | Volum                  | ISE   | Instrum          | Grav.                                      | Grav.                            |
|                       |                    | LD   | 10                         | 5                      | 0,1   | 5                | 10   | 10                               |
| <b>Salmuera negra</b> | M1bis-11           |      | 16925                      | 184491                 | 6,7   | 237100           | 328880                                     | 336600                           |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M2-11              |      | 37653                      | 179245                 | 7,6   | 221000           | 353120                                     | 385960                           |
| <b>Salmuera negra</b> | M2bis-11           |      | 25025                      | 183617                 | 7     | 230400           | 337800                                     | 415860                           |
| <b>Salmuera negra</b> | M3bis-11           |      | 22803                      | 179245                 | 7     | 229100           | 333360                                     | 344260                           |
| <b>Salmuera negra</b> | M4bis-11           |      | 22638                      | 183617                 | 7,1   | 230400           | 334960                                     | 346900                           |
| <b>Promedio</b>       |                    |      | <b>25009</b>               | <b>182043</b>          |       |                  |  |                                  |

Cuadro 42. Salina Huentenao, resultados analíticos de aniones en salmueras, expresados en miligramos/litro,

U= unidades; T= técnica; LD= límite de detección inferior.

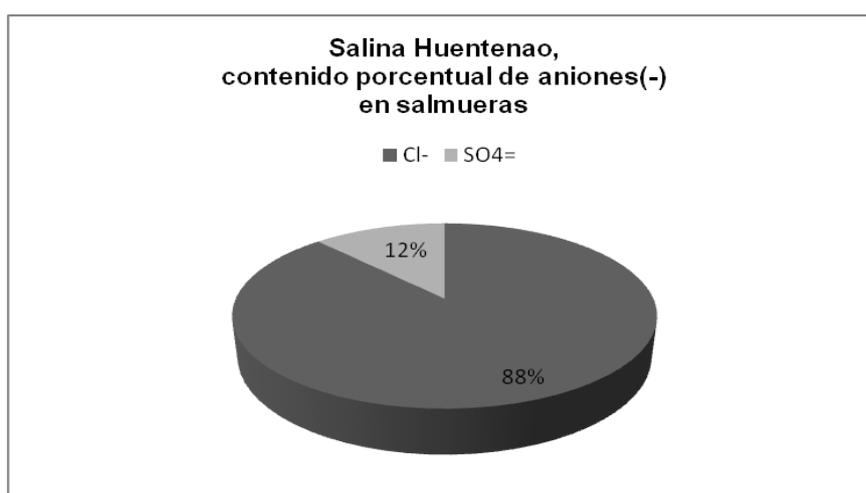


Figura 96. Salina Huentenao, contenido porcentual de aniones en salmueras.

Un esquema comparativo de composición y valor químico entre las muestras de los diferentes puntos muestreados, indica que no hay diferencias relevantes entre ellas. También se observa que no hay diferencias entre el agua intraporal de la costra superficial y la extraída debajo de la misma (figura 97).

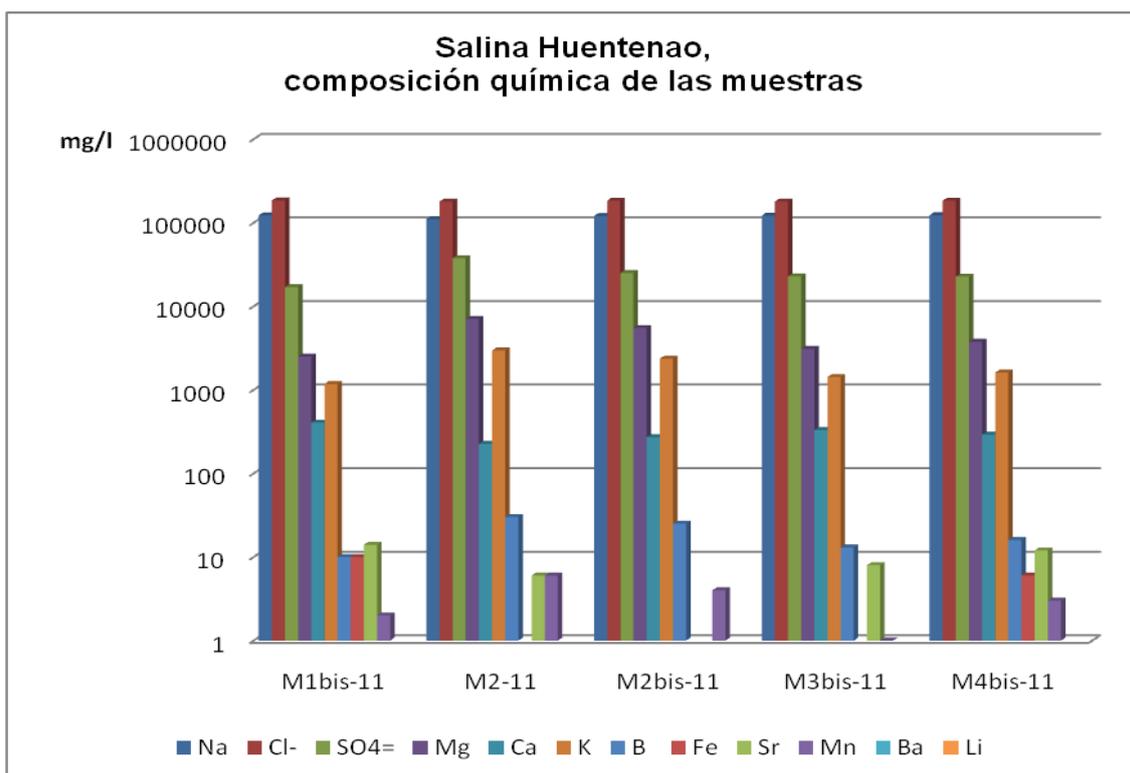


Figura 97. Salina Huentena, composición química de muestras.

Con respecto a las costras, los valores indican que la sal temporaria está formada casi exclusivamente con el catión  $\text{Na}^+$ .

Las sales de los fangos que forman la costra subácuea, son predominantemente sódicas con una proporción pequeña de calcio.

El  $\text{Na}^+$ , se presenta combinado con  $\text{Cl}^-$  formando halita ( $\text{NaCl}$ ) y el  $\text{Ca}^{2+}$  como yeso, glauberita y algún sulfato complejo. Esto se puso en evidencia por los minerales hallados. El  $\text{Li}^+$ , por su parte no se registró en las costras de la salina (cuadro 43 y figura 98).

| Tipo de muestra | número / ubicación | Elemento            | B        | Ba       | Ca       | Fe       | K        | Li       | Mg       | Mn       | Na       | Sr       |
|-----------------|--------------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                 |                    | Unidad              | mg/kg MS |
|                 |                    | Técnica             | ICP-OES  |
|                 |                    | Límite de detección | 50       | 0,5      | 2        | 15       | 2        | 50       | 1        | 0,01     | 2        | 25       |
| <b>Costra</b>   | superficial        |                     | <50      | <0,5     | 1397     | 24,5     | 664      | <50      | 509      | 3,28     | 352139   | 28,8     |
|                 | Sub-<br>ácuea      |                     | <50      | 4,25     | 25609    | <15      | 717      | <50      | 457      | 4,85     | 286253   | 244,5    |

Cuadro 43. Salina Huentenao, resultados analíticos de cationes en costras, expresados en miligramos/kilogramo.



Figura 98. Salina Huentenao, composición porcentual de cationes en costra temporaria.

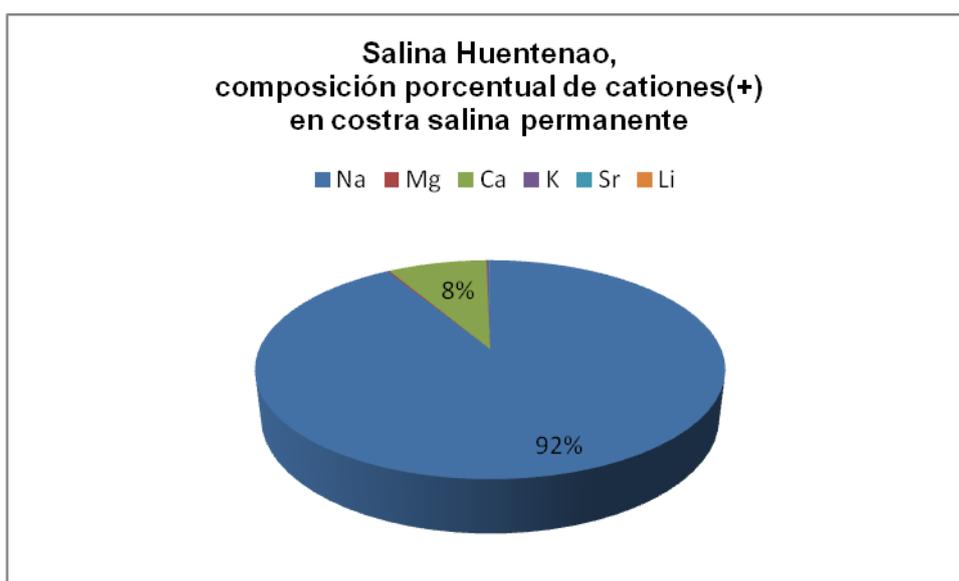


Figura 99. Salina Huentenao, composición química de cationes en costra permanente.

Los análisis químicos de la fracción clástica de los fangos salinos fueron realizados por el laboratorio Actlabs; los resultados se detallan en el cuadro 44.

|                       | Elemento            | Na   | Mg     | Ca     | K      | Fe   | Sr     | Mn     | Ba   | Li     |
|-----------------------|---------------------|------|--------|--------|--------|------|--------|--------|------|--------|
|                       | Unidad              | %    | %      | %      | %      | %    | ppm    | ppm    | ppm  | ppm    |
|                       | Límite de detección | 0,01 | 0,01   | 0,01   | 0,01   | 0,01 | 1      | 1      | 50   | 1      |
|                       | Técnica             | INAA | TD-ICP | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP |
| <b>Fangos salinos</b> |                     | 1,84 | 1,43   | 6,33   | 1,17   | 2,94 | 646    | 534    | 350  | 28     |

Cuadro 44. Salina Huentenao, resultados analíticos de cationes de los fangos salinos, expresados en porcentaje o partes por millón. INAA: activación neutrónica, TD-ICP: digestión total-plasma acoplado por inducción.

## Análisis general de los datos químicos para el Sector 2

Para la interpretación de los valores químicos de las salmueras recolectadas en los salitrales y salinas del Sector 2, se utilizó la información provista por el laboratorio Alex Stewart S.A., calculando los valores promedio en cada cuerpo (cuadro 45). Además se realizó un gráfico comparativo entre salinas, con los valores de cationes y aniones absolutos acumulados, con el fin de diferenciar gráficamente la carga iónica total (figura 100).

| Locación              | mg/l   | Na     | Cl-   | SO4=  | Mg  | Ca    | K   | B    | Fe  | Sr  | Mn  | Ba | Li |
|-----------------------|--------|--------|-------|-------|-----|-------|-----|------|-----|-----|-----|----|----|
| salitral La Salinilla | 96539  | 160446 | 81077 | 21851 | 69  | 10101 | 97  | --   | --  | 1,2 | --  | -- | -- |
| salitral De la perra  | 97972  | 160717 | 44667 | 13060 | 132 | 9730  | 132 | 10,1 | 6,3 | 0,1 | --  | -- | -- |
| salina Grande         | 109804 | 183617 | 23031 | 8620  | 385 | 3272  | 29  | 7,3  | 10  | --  | 0,2 | -- | -- |
| salina Huentenao      | 119563 | 182043 | 25009 | 4381  | 304 | 1907  | 19  | 8    | 10  | --  | --  | -- | -- |

Cuadro 45. Sector 2, valores promedio de cationes y aniones en salmueras.

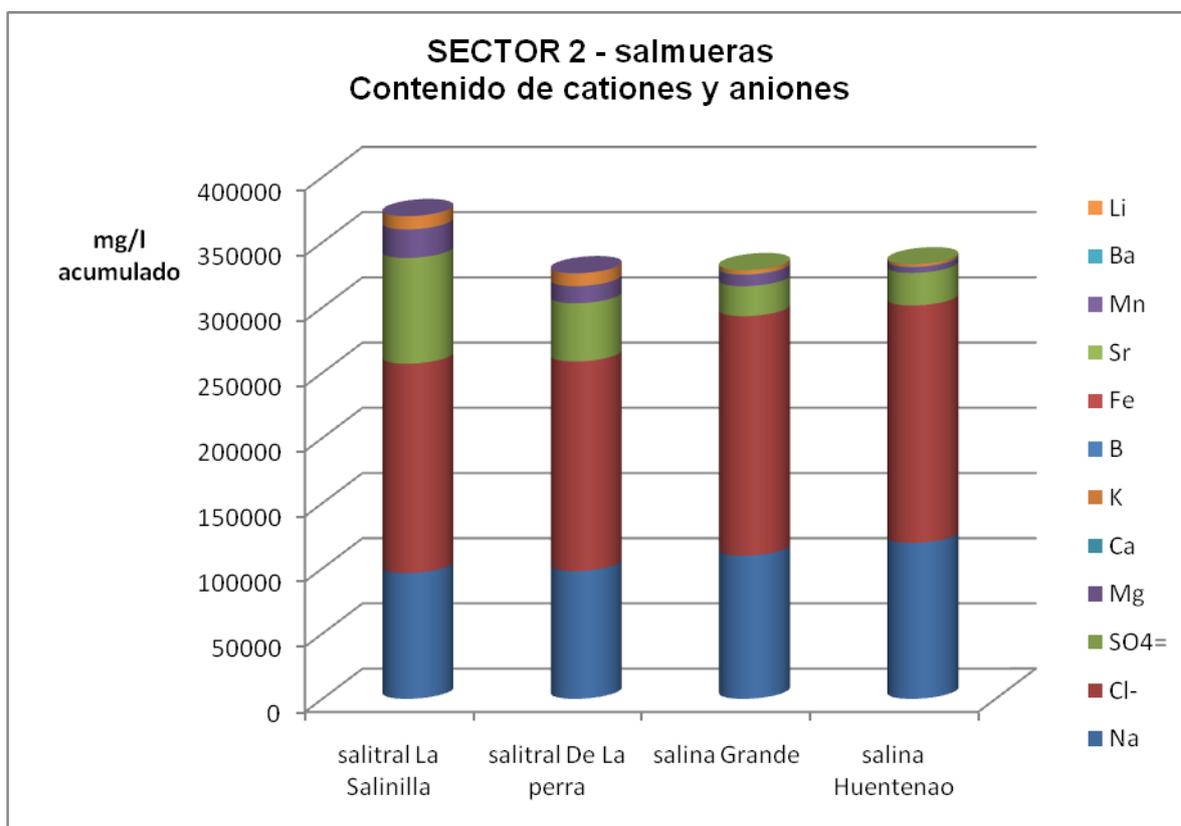


Figura 100. Sector 2, contenido acumulado de cationes y aniones en salinas.

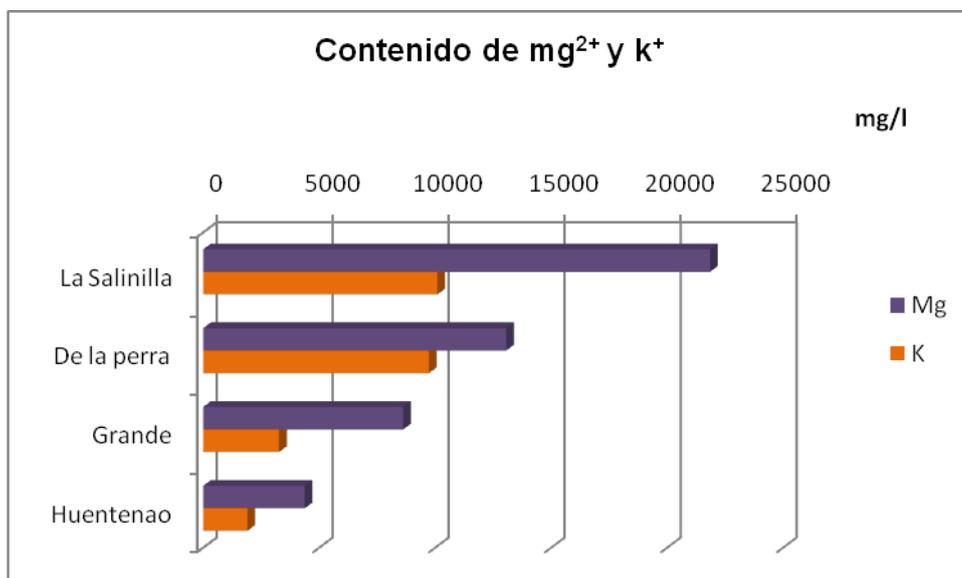


Figura 101. Sector 2, detalle del contenido de magnesio y potasio.

Con respecto al Li no se ha detectado en las salmueras analizadas de este Sector.

Las salmueras estudiadas en todos los casos están formadas casi exclusivamente por  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ .

Sobre los contenidos relativos, La Salinilla y La Perra, ambos salitales, tienen una concentración de  $\text{Cl}^-$  (160g/l) menor que las salinas Grande y Huentenao (180 g/l) mientras que el contenido de  $\text{SO}_4^{2-}$ , en ambos salitales denota una marcada diferencia con las salinas, ya que duplican y hasta cuadruplican sus contenidos (de La Perra y La Salinilla respectivamente).

En referencia a los cationes, la concentración del  $\text{Na}^+$ , es casi similar en los 4 cuerpos pero el contenido de  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  es alto, específicamente en La Salinilla y La Perra (figura 100b).

Una observación general es que, los valores de sulfato así como de magnesio, potasio y boro, van disminuyendo de oeste a este del Sector mientras se incrementan las cantidades de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ .

Si se evalúan las diferencias entre muestras de un mismo cuerpo, las salinas del sector tienen, a prima facie, una constitución química semejante en

casi toda su extensión. Sobre los salitrales no se puede realizar una evaluación ya que no se obtuvo información suficiente debido a la imposibilidad de acceder a ellos.

Para la interpretación de los valores químicos de las costras, se utilizó la información del laboratorio Alex Stewart S.A, diferenciando costra salina temporaria (superficial) y costra salina permanente (costras y minerales en fangos subácueos). Luego se trataron con esquemas comparativos.

| Locación     | Tipo de costra    | Na                   | Mg    | Ca   | K    | Sr |
|--------------|-------------------|----------------------|-------|------|------|----|
|              |                   | miligramos/kilogramo |       |      |      |    |
| La Salinilla | costra temporaria | 268542               | 32640 | 167  | 2868 |    |
| La Perra     | costra temporaria | 329166               | 3602  | 1802 | 2790 | 89 |
| Grande       | costra temporaria | 368432               | 1336  | 1567 | 1006 | 26 |
| Huentenao    | costra temporaria | 352139               | 509   | 1397 | 664  | 29 |

Cuadro 46, Sector 2, resumen de los resultados analíticos en costras salinas.

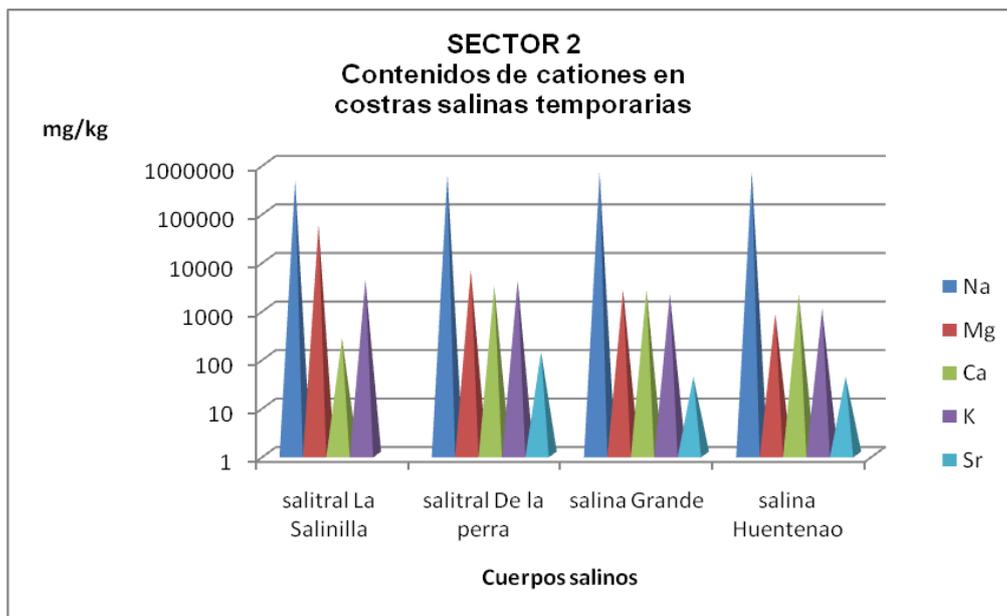


Figura 102. Sector 2, esquema comparativo entre costras temporarias.

Las costras superficiales, temporarias muestran un contenido diferenciado de  $\text{Na}^+$  entre los cuerpos. Salina Huentenao y salina Grande tienen una concentración de  $\text{Na}^+$  promedio de 360 g/kg, mientras que La Perra, tiene 330 g/kg y La Salinilla 269 g/kg. En el caso del  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  las relaciones son inversas con mayor concentración en las costra de La Salinilla.

Esto refleja variaciones en la solubilidad que permiten el reemplazo de cationes  $\text{Na}^+$  por otros elementos para formar redes cristalinas compuestas como por ejemplo la formación de bloedita ( $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ).

Si bien las aguas madre de los 4 cuerpos tienen iguales cationes y concentraciones similares, las costras temporarias muestran una evolución de oeste a este en espesor, potencia y compacidad.

La presencia de mayor cantidad de sulfatos hacia el oeste es, en primera instancia, causa de la variación. Si bien el disponible de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  es similar en todos los cuerpos, a medida que vamos hacia La Salinilla, la formación de sulfatos se hace más factible por la mayor disponibilidad, esto es evidente por la presencia de bloedita-astracanita (sulfato de Na y Mg) en las costras de La Salinilla y el salitral de La Perra.

El aporte de cationes de  $\text{Ca}^{2+}$  en la costra superficial, está directamente relacionada a la importante presencia de yeso, glauberita y otros sulfatos compuestos, en los fangos salinos de todas estas cuencas. En el caso del salitral de La Perra, no se realizó el estudio de los sedimentos salinos en el interior del salitral pero en la playa salina, la presencia de yeso y glauberita es mayoritaria.

El estudio del contenido catiónico en los sedimentos y rocas, se realizó con el fin de conocer la cantidad total de litio que contiene el material clástico en, o en los alrededores de los cuerpos estudiados (cuadro 47). Este es el contenido máximo potencial, que estaría disponible en el caso de meteorización de los minerales que lo portan. En relación a esto, mediante observación petrográfica y por difracción de RX, se determinó que la mineralogía dominante en estas muestras es plagioclasa, acompañada de vidrio volcánico y arcillas.

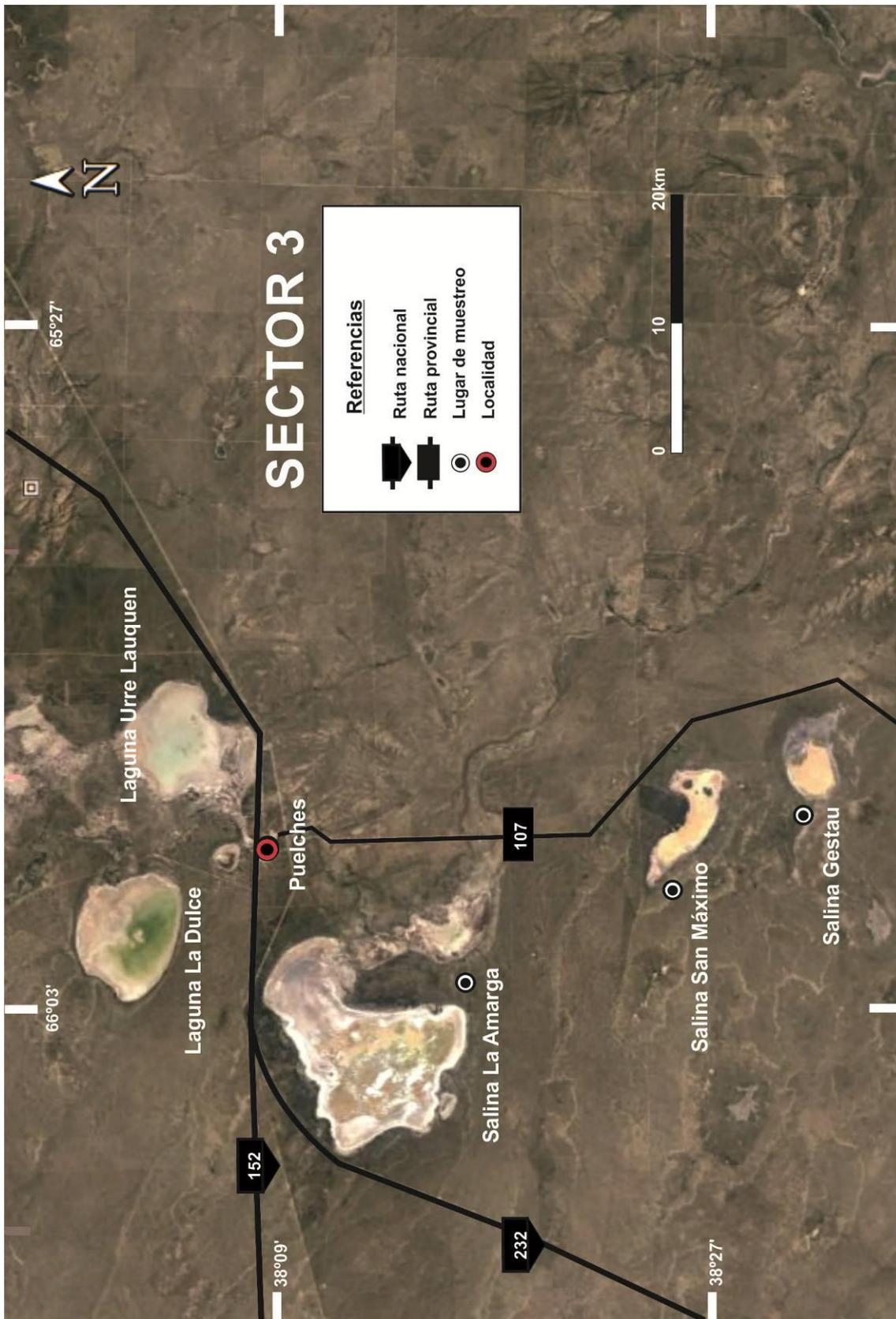
| <b>Cuerpos del Sector 2</b>  | <b>Contenido de Li<br/>en sedimentos<br/>(ppm)</b> |
|------------------------------|--|
| <b>Salitral La Salinilla</b> | 26   |
| <b>Salitral de La Perra</b>  | 23   |
| <b>Salina Grande</b>         | 11   |
| <b>Salina Huentenao</b>      | 28   |

Cuadro 47. Sector 2, resumen de valores de Li en sedimentos, expresados en partes por millón.

Los valores registrados para el Sector 2 están en un rango entre 11 y 29 ppm. Como ya se ha expuesto, los sedimentos y rocas que rodean y sustentan a las salinas del sector, son loess, riolitas y basaltos.

Este rango de valores es coincidente con el hallado en depósitos de loess desértico y de riolitas y basaltos de varios sectores de la Tierra según Sauzéat *et al.*, 2015 y la base de datos GEOROC: <http://georoc.mpch-mainz.gwdg.de/georoc/Start.asp>.

A partir de los valores obtenidos se concluye que los mismos no representan interés, ya que incluso en el caso hipotético (poco probable) de que esté todo disponible, los mismos no llegan a constituir una anomalía significativa.



Mapa 13. **Sector 3.** Ubicación de los lugares de muestreo.

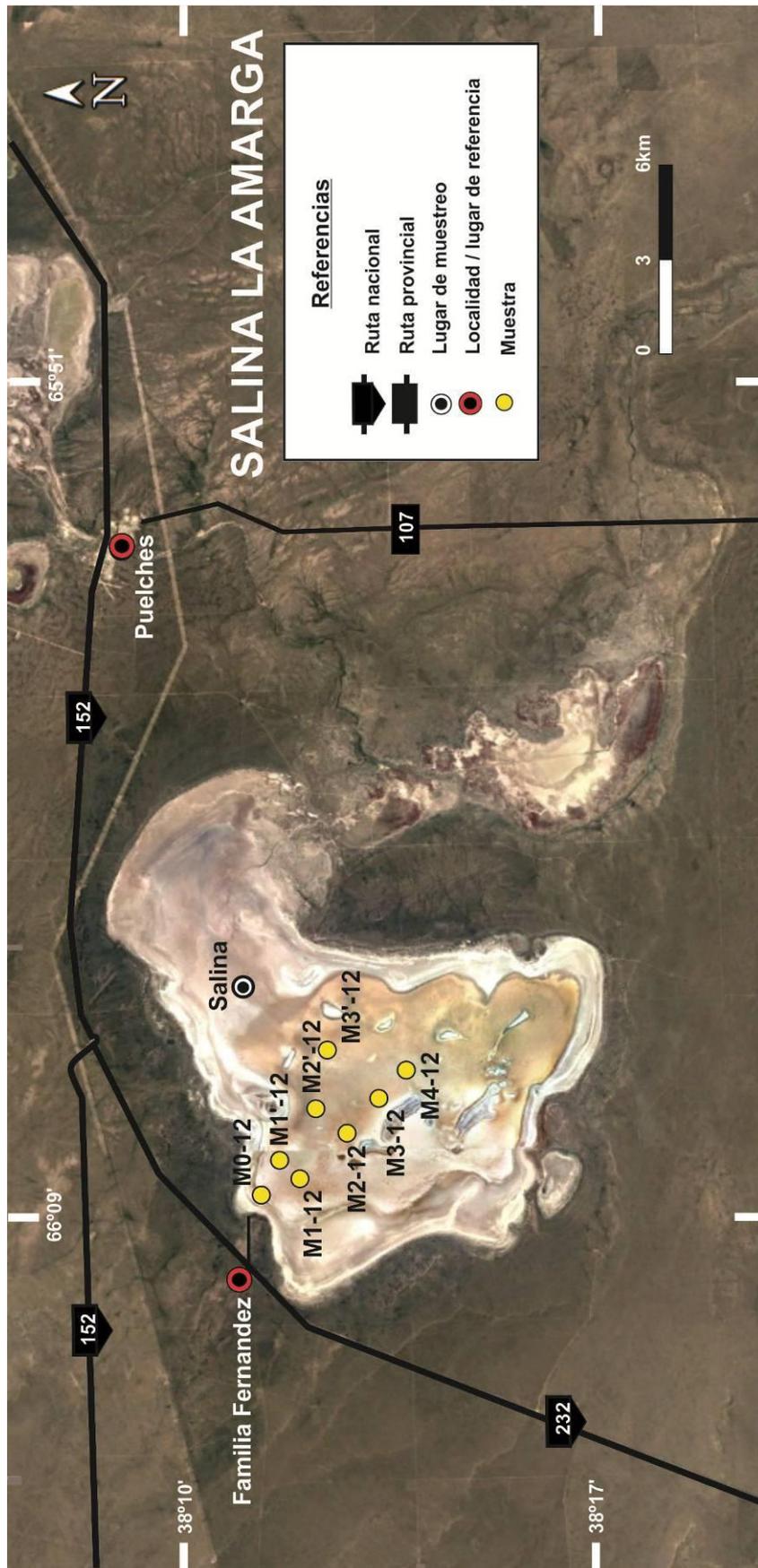
### **SECTOR 3**

El "Sector 3", está comprendido entre las coordenadas geográficas 38°00'S-66°12'O y 38°35'S-65°44'O, ubicadas en el Departamento Curacó y tiene como referencia la localidad de Puelches. Se seleccionaron para el estudio, las salinas La Amarga, San Máximo y Gestau, a las que se puede acceder desde esa localidad por las Rutas Nacionales 152 o 232 y la Ruta Provincial 107.

Las salinas están formadas por sedimentos detríticos y evaporíticos de edad Holocena. Comparten el ambiente geológico con depósitos coluviales también holocenos, sedimentos de las Formaciones Tehuelche (Plioceno-Pleistoceno) y Río Negro (Plioceno superior) o rocas de las Formaciones Choique Mahuida y Centinela (Grupo Choiyoi) de edad permo-triásica (Espejo y Silva Nieto, 1996 y 2007).

En este Sector, 2 de las 3 salinas seleccionadas están en producción por cloruro de sodio (NaCl), la salina San Máximo y la salina Gestau.

Los muestreos para el presente estudio se llevaron a cabo entre el 20 de diciembre de 2016 y el 22 de marzo de 2017.



Mapa 14. **Sector 3**, Salina La Amarga. Ubicación de puntos de muestreo.

## La Amarga

La salina La Amarga es el segundo cuerpo evaporítico de mayor tamaño en la provincia de La Pampa, con una superficie aproximada de 192 km<sup>2</sup>.

Es un cuerpo con reserva pero no explotado, ubicado a 10 km de la localidad de Puelches. Uno de los accesos principales, se ubica en el km 206 de la Ruta Nacional 232 (a 24 km de Puelches) (mapa 14).



Figura 103. Salina La Amarga, vista de la costra salina y su entorno.

Posee un largo de 16 km en sentido noreste-sudoeste y un ancho promedio de 12 km. Es una cubeta cerrada, con cota 231 msnm y forma semicircular, salvo en el sector noreste. Hasta hace algunos años recibía aporte superficial del río Salado.

Está situada en el fondo de una cuenca limitada por barrancas de diversas alturas, formadas por rocas del Grupo Choiyoi de edad permo-triásica acompañadas en algunos sectores por sedimentitas de la Formación Río Negro de edad pliocena y depósitos cuaternarios (Espejo y Silva Nieto, 1996).

En el margen norte y noroeste, afloran ignimbritas de la Formación Choique Mahuida, con aproximadamente, 15 m de altura. En el margen este de la salina, afloran ignimbritas y brechas andesíticas de la Formación Centinela y

sedimentitas de la Formación Río Negro, en este caso con alturas hasta 8 metros y en el Sur, granitos de grano grueso y fino, de tipo aplítico, de la Formación Zúñiga, de 15 metros de altura.

Los muestreos se realizaron en dos etapas, una primera el 20-12-2016 con una transecta central y un recorrido de 10 km hacia el interior de la salina y la segunda el 22-3-2017 recorriendo la salina por su costado norte unos 6 km hacia el interior.

Se cavaron en total 8 pozos, con diferencia entre ellos de aproximadamente 2 km. En cada punto se tomaron muestras de salmuera, se midió el pH, a temperatura ambiente (41°C en diciembre y 25°C en marzo) y se recolectó material en los pozos hasta una profundidad de 80 cm. La ubicación de las muestras se encuentra en el mapa 14 y los detalles y geo-referencias se describen en el cuadro 48.

| Fecha      | Denominación específica del lugar | Tipo de trabajo | Tipo de material recolectado | Nombre de la Muestra | Latitud       | Longitud      |
|------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| 20/12/2016 | salina La Amarga                  | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M1-12                | 38°11'58.77"S | 66°08'12.63"O |
| 20/12/2016 | salina La Amarga                  | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M2-12                | 38°12'46.18"S | 66°07'18.93"O |
| 20/12/2016 | salina La Amarga                  | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M3-12                | 38°13'16.95"S | 66°06'32.28"O |
| 20/12/2016 | salina La Amarga                  | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M4-12                | 38°13'44.51"S | 66°05'55.27"O |
| 22/03/2017 | salina La Amarga                  | pozo cavado     | sedimentos                   | M0-12                | 38°11'19.47"S | 66°08'46.45"O |
| 22/03/2017 | salina La Amarga                  | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M1'-12               | 38°11'47.23"S | 66°07'44.55"O |
| 22/03/2017 | salina La Amarga                  | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M2'-12               | 38°12'16.28"S | 66°06'45.14"O |
| 22/03/2017 | salina La Amarga                  | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M3'-12               | 38°12'28.01"S | 66°05'34.63"O |

Cuadro 48. Salina La Amarga, geo-referencias de las muestras.

La depresión central está rodeada de playas que en algunos sectores llegan a medir 2 km; en general permiten el ingreso sin dificultad.

Las playas estaban cubiertas por una costra de yeso de superficie irregular, con elevaciones "dómicas" de 5 a 15 cm de diámetro que se pueden definir como estructuras "tepee" (Assereto y Kendall, 1977) (figura 106). Un aspecto a observar es la bioturbación producida por las hormigas, que genera acumulación de cristales de yeso prismático de 0,8 cm de largo sobre la superficie, por encima de sus hormigueros (figura 104 y 105).



Figura 104. Salina La Amarga, vista general de la playa externa.



Figura 105. Salina La Amarga, izq. cristales de yeso prismático de la bioturbación originada por las hormigas, (base de la imagen 6 cm),  
der. cristales de yeso a lupa binocular (diámetro de la imagen 1 cm).



Figura 106. Salina La Amarga, costra superficial en la playa externa con estructura *tepee*.

El punto muestreado M0-12 corresponde a la calicata realizada en la playa (figura 107) hasta una profundidad de 50 cm. Se observó una sucesión de capas onduladas, donde alternan arenas finas color pardo amarillento claro y oscuro, constituidas fundamentalmente por yeso en variados tamaños, sulfatos complejos de calcio, sodio y magnesio, carbonato de calcio (como sales criptocristalinas) líticos volcánicos (basaltos e ignimbritas), cuarzo y valvas de moluscos. Los estratos más oscuros (ej. estrato 2 de la figura 107), tienen buena selección y gran cantidad de líticos.

En la figura 108 se muestran los distintos materiales separados del perfil y secos, y en la figura 109 los mismos materiales observados a lupa binocular: en el caso del Estrato 1 se observan las partículas "sucias" debido a la presencia de sales criptocristalinas adheridas. En el Estrato 2, las partículas se ven limpias y medianamente seleccionadas. En el caso del Estrato 3, sobresalen los fragmentos de yeso con poca selección.

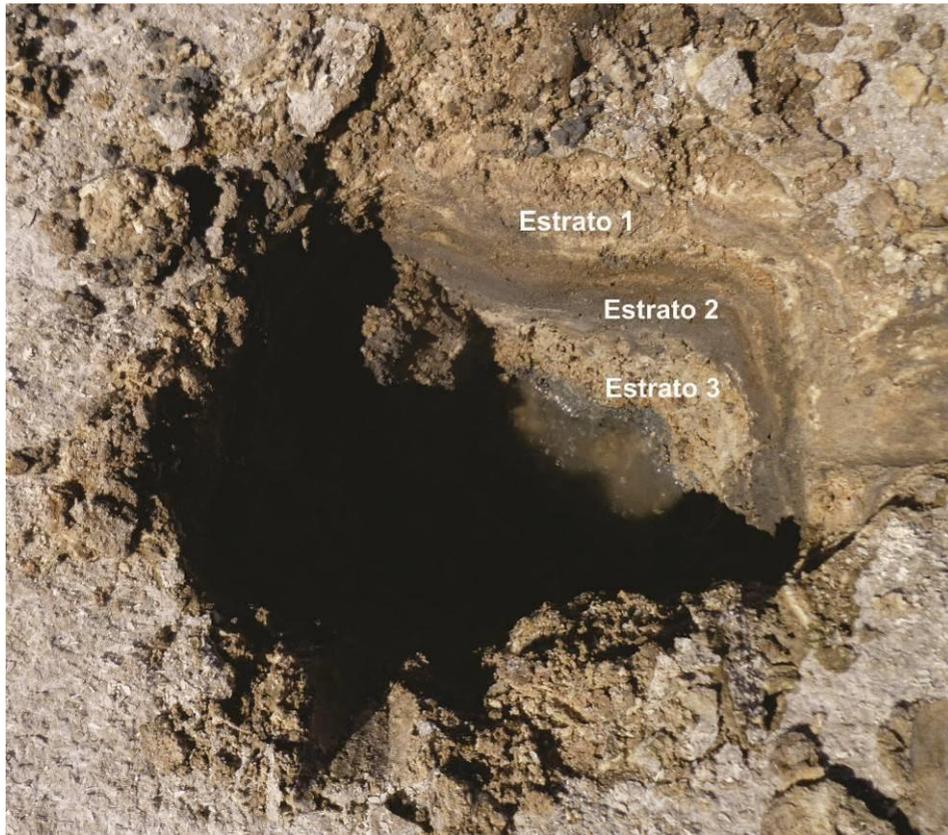


Figura 107. La Amarga, perfil de la calicata en el punto M0-12.



Figura 108. La Amarga, materiales secos de M0-12, observados a ojo desnudo, (base de cada imagen 3,7 cm).

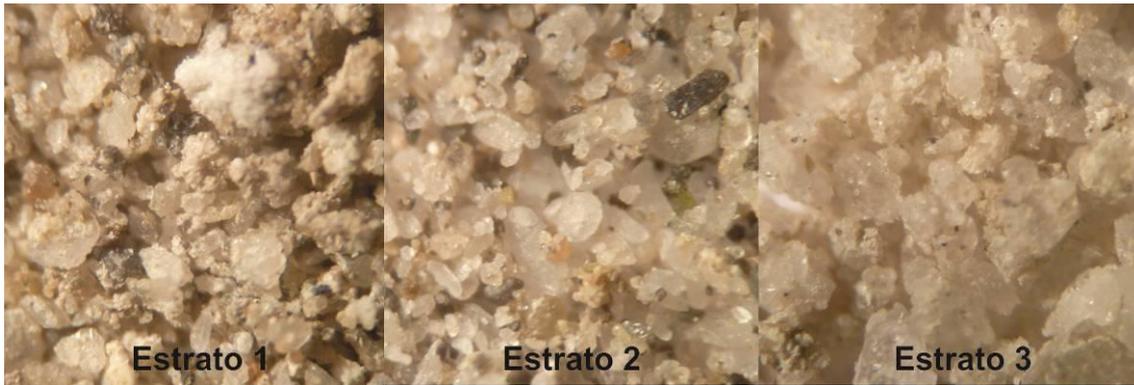


Figura 109. La Amarga, observación a la lupa binocular de los materiales en M0-12, (base de cada imagen 0,3 cm).

#### Otras especies que conforman el conjunto mineral



Figura 110. La Amarga, sulfatos presentes junto al yeso en el perfil de la playa (longitud total de la imagen 0,3 cm).

A) Sulfato de Ca con Si, Al, Na, Mg y trazas de K ver imagen de microscopio electrónico en figura 111.

B) Sulfato de Ca con Na, Mg, Al, Si y trazas de K, ver imagen de microscopio electrónico en figura 112.

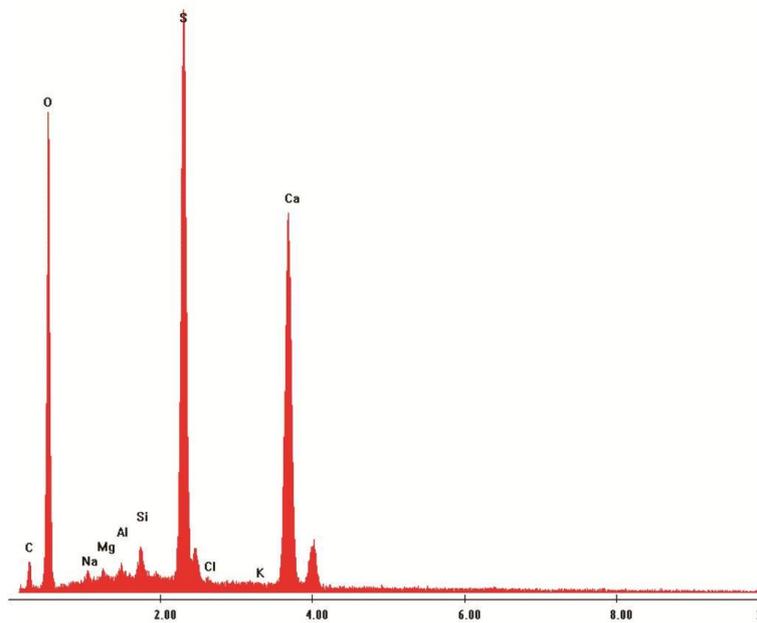
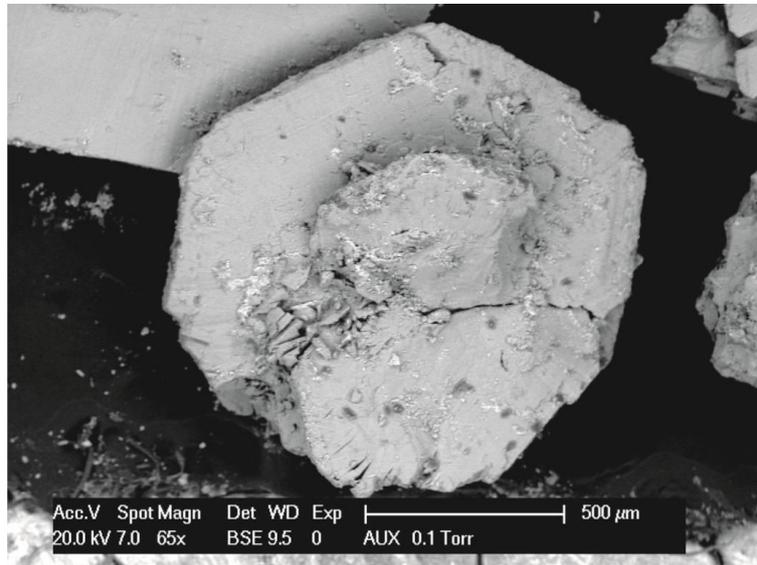


Figura 111. Salina La Amarga, cristales de yeso con trazas de Si, Al, Mg, Na y K, imagen de microscopio electrónico, (corresponde a la imagen del mineral A, de lupa binocular en fig. 110).

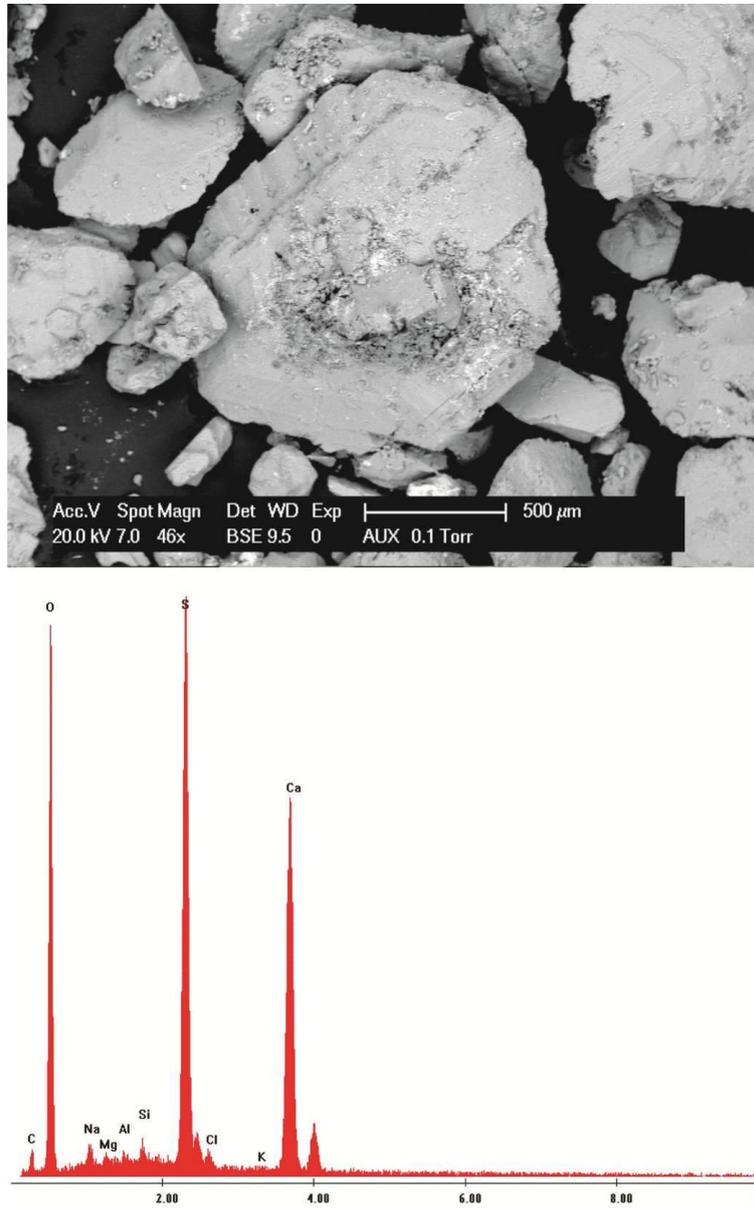


Figura 112. Salina La Amarga, cristal de yeso con trazas de Si, Na, Mg, Al y K, imagen al microscopio electrónico, (corresponde a la imagen del mineral A, de lupa binocular en fig. 110).

Al ingresar a la salina se observó una costra extendida en todo el cuerpo, compacta, con crestas de crecimiento formadas por agregados circulares de hasta 5 cm de diámetro. La capacidad portante era, en apariencia, muy buena pero hay que considerar la presencia de múltiples ojos de agua o canales de aporte (figuras 113 y 114) que se hallan en mayor cantidad hacia los bordes de la salina. En etapa de crecimiento de la costra superficial, estos "ojos" quedan escondidos bajo montículos de sal, que al pisarlos se rompen y se hundien. Cuando las condiciones climáticas cambian, los procesos de disolución se inician en estos puntos.



Figura 113. La Amarga, vista de la costra salina superficial, con agregados circulares, al costado de la pala montículo formado por un ojo de agua (diciembre 2016).



Figura 114. La Amarga, ojos de agua sobre la superficie (marzo 2017).

En los pozos realizados en el interior de la salina (figura 115 y 119), se observó una costra superficial (costra temporaria) con estructura laminar de 6 cm, a la que subyacen, sales en estratos paralelos compactos o friables con o sin fango salino hasta los 80 cm de profundidad. En el perfil litológico de la figura 118 se describen las estructuras sedimentarias, los componentes de los sedimentos (de mayor a menor proporción) y sus texturas.

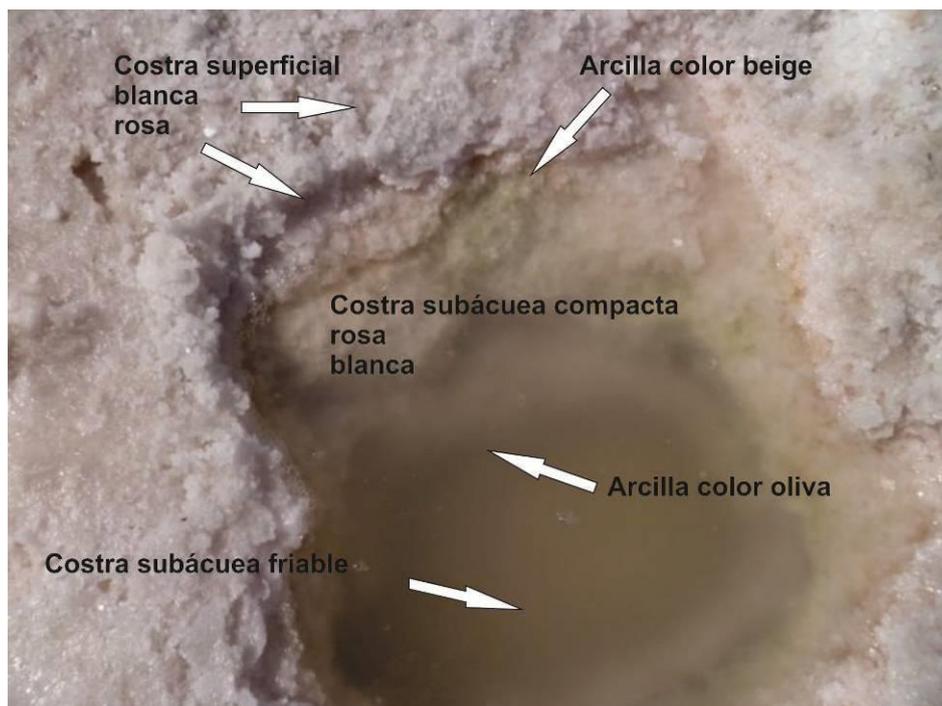


Figura 115. La Amarga, vista del perfil del pozo en el interior de la salina.

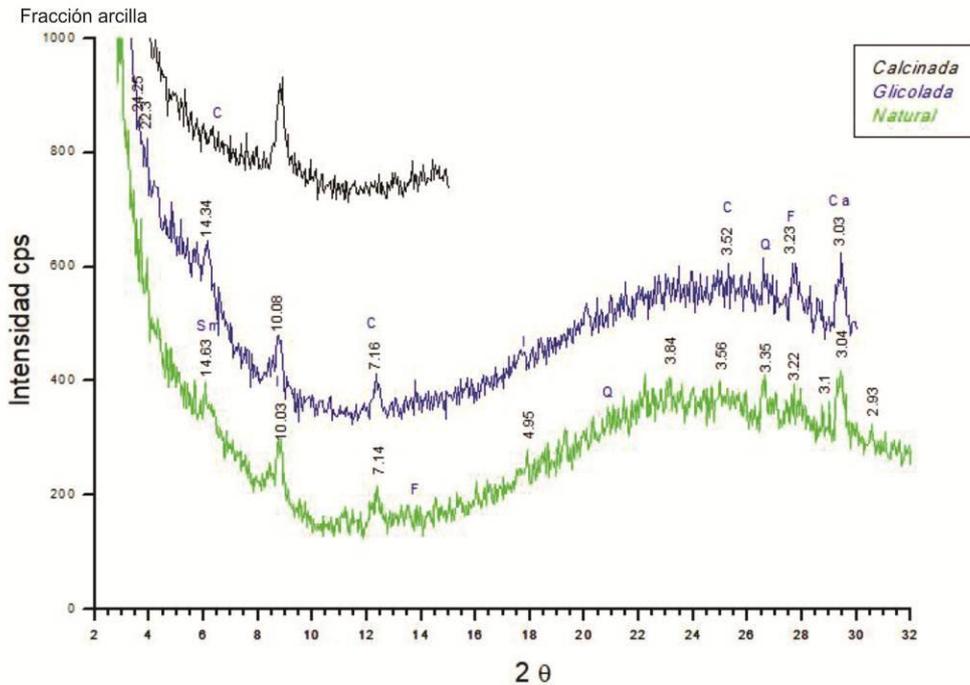
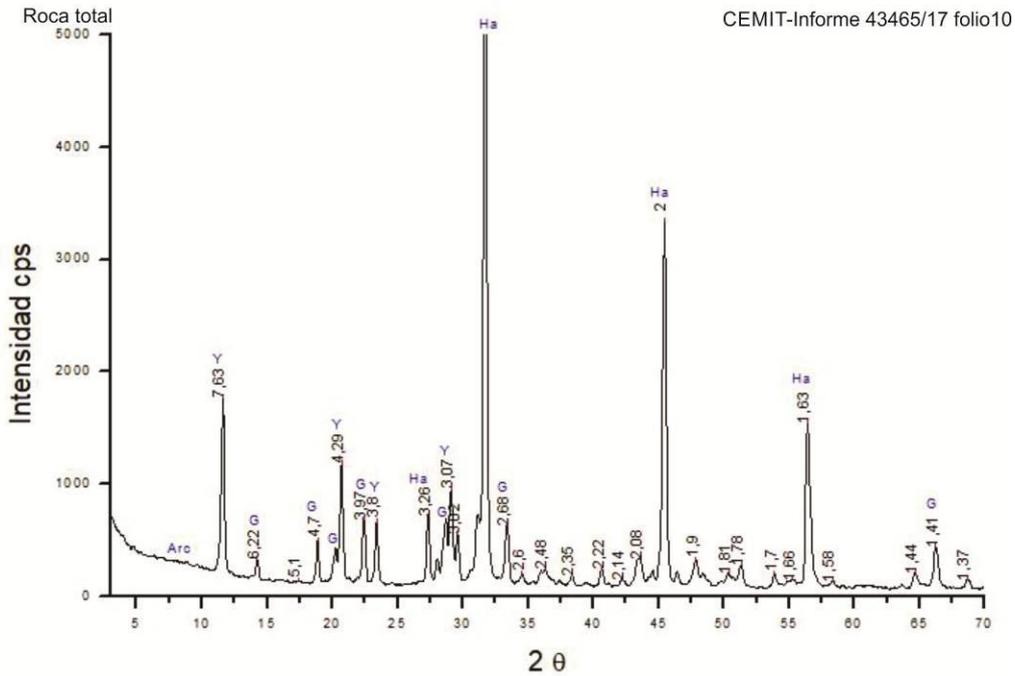
Durante la recolección de las salmueras, se les realizó in situ, una descripción del aspecto general. En el cuadro 49 se detallan las observaciones.

\*El color corresponde a la salmuera luego del precipitado natural de los sedimentos.

| Número   | Muestra         | Extraída de                                | Color          | Olor    | Aspecto     | pH campo |
|----------|-----------------|--|----------------|---------|-------------|----------|
| M1-12    | <b>Salmuera</b> | Intraporal en la costra superficial        | rosa pálido    | inodora | translúcido | 6        |
| M2-12    | <b>Salmuera</b> |  | rosa pálido    |         | translúcido |          |
| M3-12    | <b>Salmuera</b> |  | rosa pálido    |         | translúcido |          |
| M4-12    | <b>Salmuera</b> |  | rosa pálido    |         | translúcido |          |
| M1bis-12 | <b>Salmuera</b> | Agua madre debajo de la costra superficial | beige grisáceo | fétido  | translúcido | 6        |
| M2bis-12 | <b>Salmuera</b> |  | beige claro    |         | translúcido |          |
| M3bis-12 | <b>Salmuera</b> |  | beige claro    |         | translúcido |          |

Cuadro 49. Salina La Amarga, observaciones en campo de las salmueras muestreadas.

Los fangos recolectados, se estudiaron con la técnica de Difractometría de Rayos X, que determinó una composición de 2% de carbonato de Ca ( $\text{CaCO}_3$ ), 23% de glauberita ( $\text{CaNaSO}_4$ ), 24% de yeso, 50% de halita ( $\text{NaCl}$ ), y 1% de arcilla compuesta por 30% de clorita y 70% de illita con impurezas de cuarzo, feldespato y calcio (figuras 116 y 117).



Figuras 116 y 117. La Amarga, difractograma de Rayos X del fango salino.

Salina La Amarga: perfil litológico

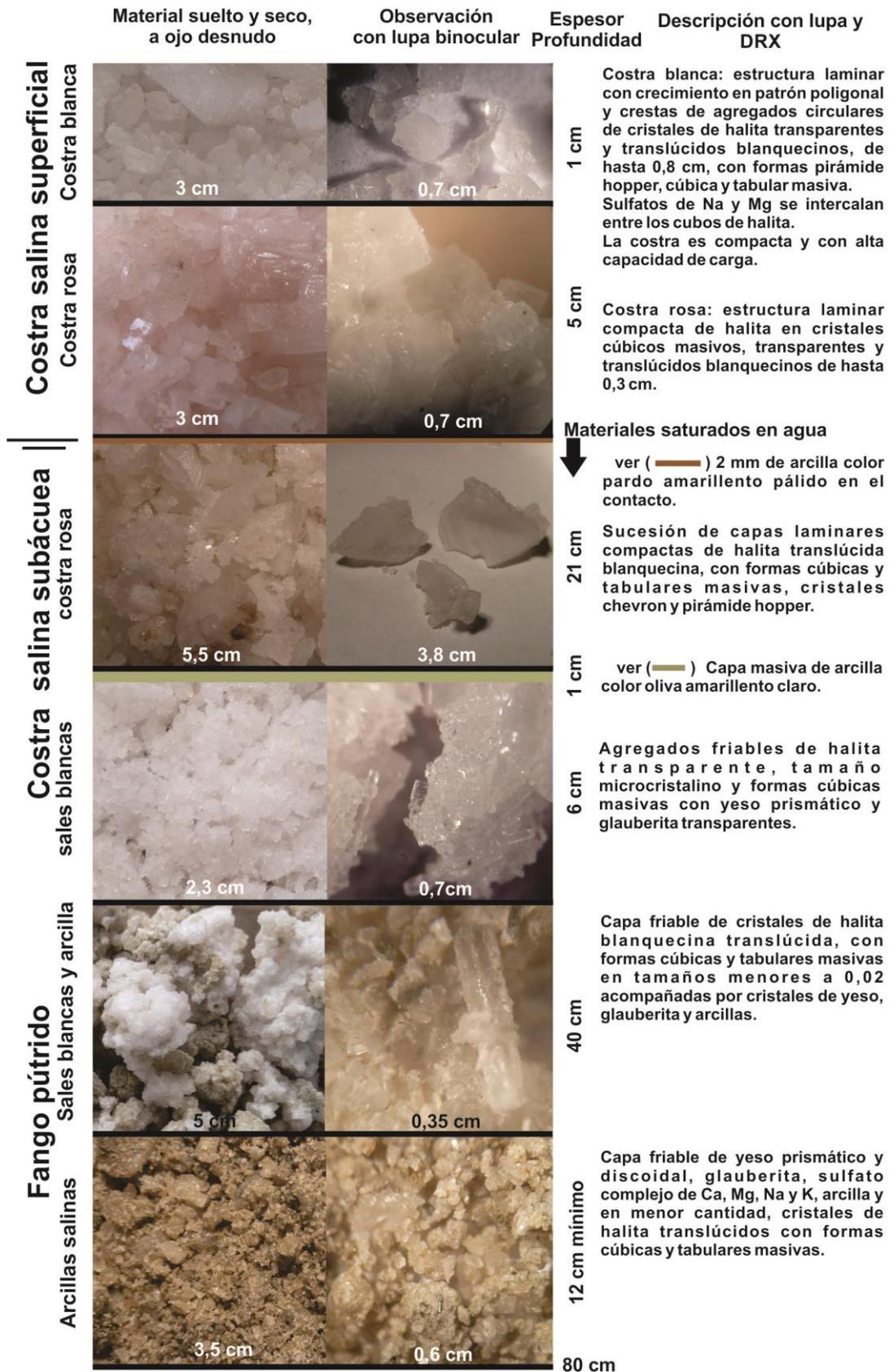


Figura 118. La Amarga, perfil litológico representativo del interior de la salina.

Nota: el valor en cm, en la parte inferior de cada foto, corresponde a la base de la misma.



Figura 119. La Amarga, vista de la costra salina subánea rosada estratificada.

Imágenes de minerales formadores de los distintos estratos

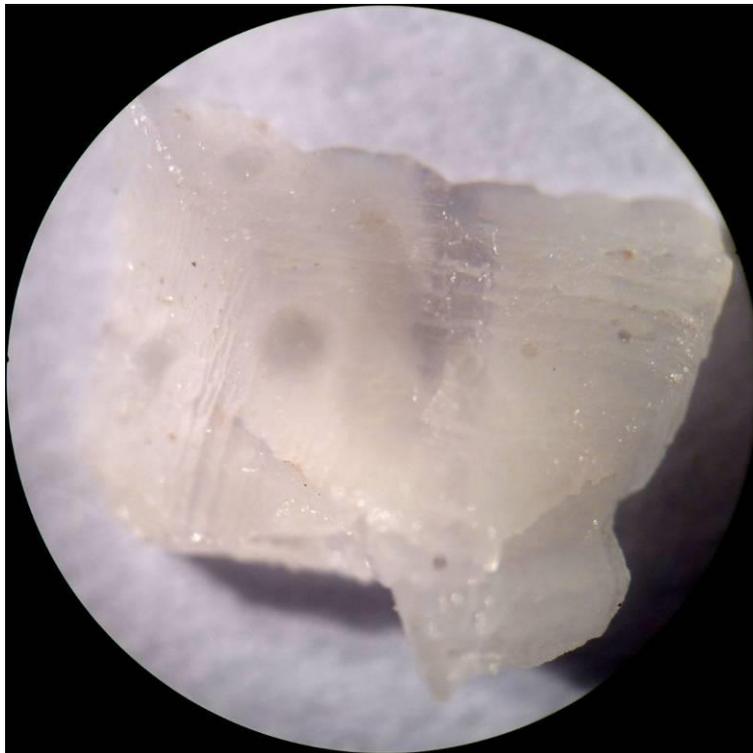


Figura 120. La Amarga, cristal de halita con textura en pirámide hopper de la costra superficial (diámetro de la imagen 1 cm).

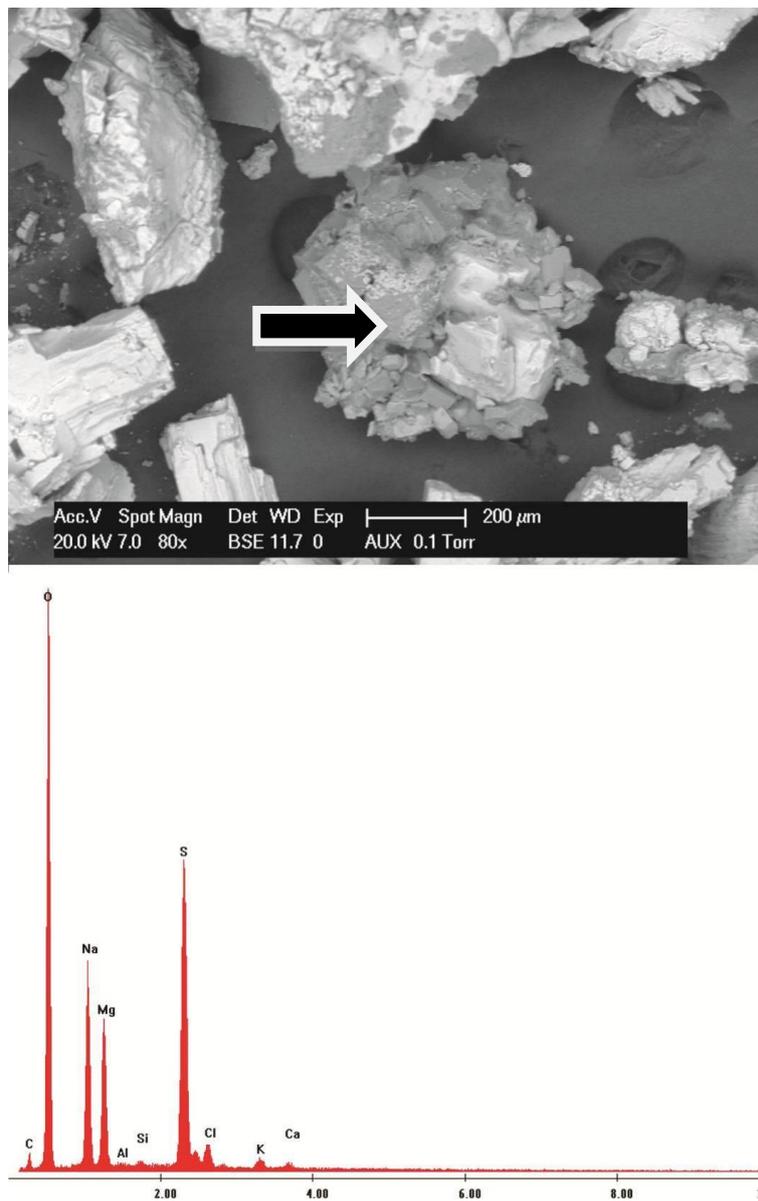


Figura 121. La Amarga, cristales de astracanita con trazas de K, Ca, Si y Al de la costra salina superficial (indicado con flecha), Imagen de microscopio electrónico.



Figura 122. La Amarga, cristal de halita con textura chevron de la costra subácuea (base de la imagen 1 cm).

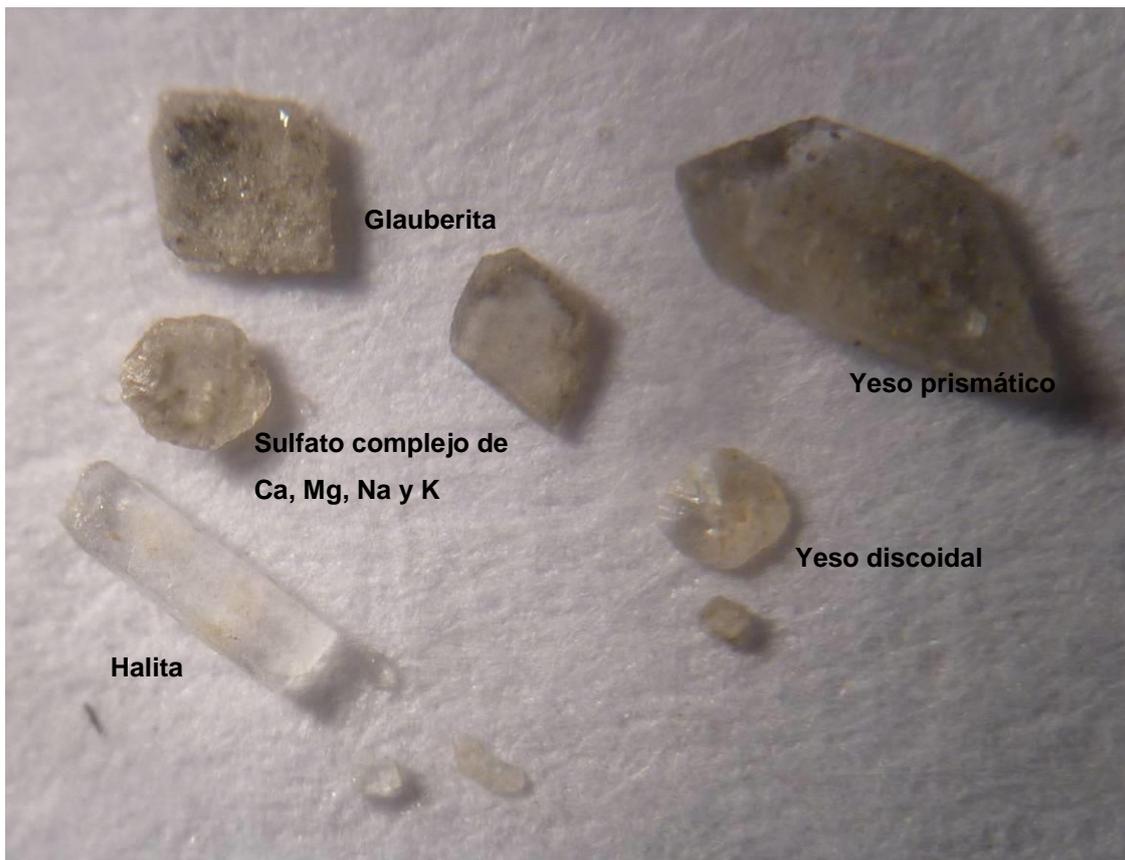


Figura 123. La Amarga minerales en estratos con arcillas, observación a lupa binocular, base de la imagen 0,6 cm.

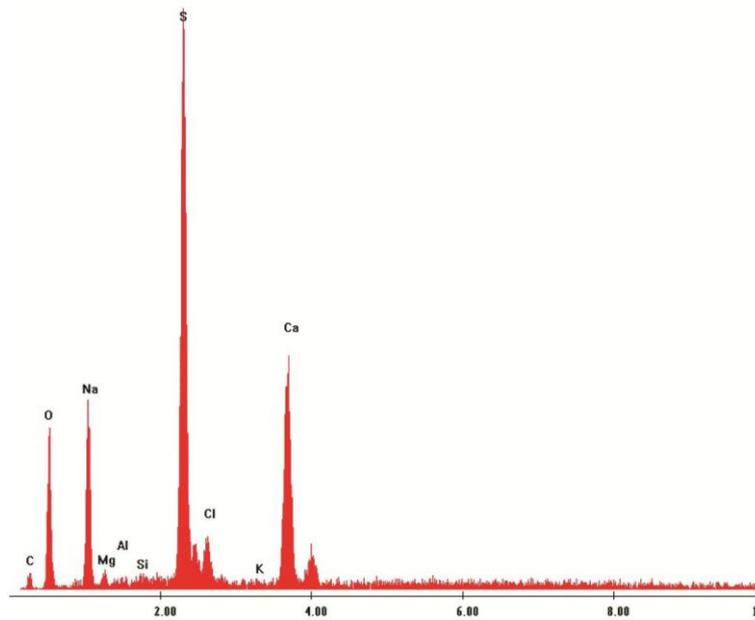
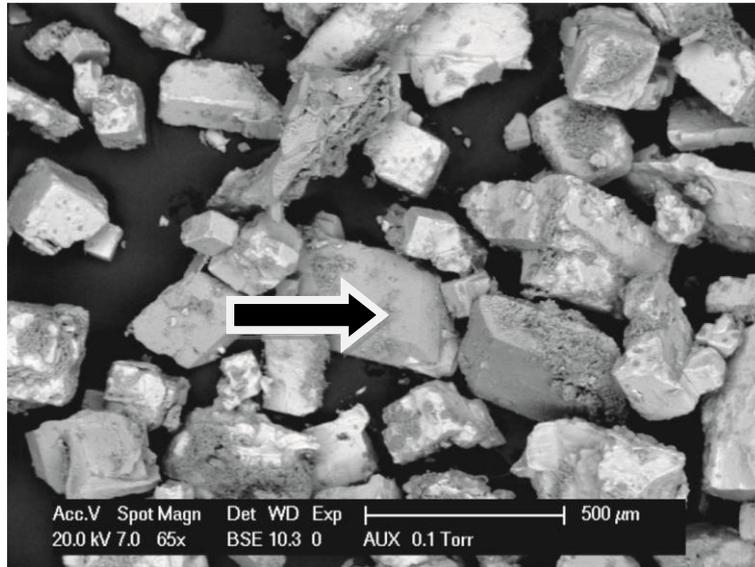


Figura 124. La Amarga, cristal de glauberita con trazas de Mg, K, Al y Si en costra salina sub-ácuea, imagen de microscopio electrónico.

Análisis químicos y caracterización de salmueras, costras y sedimentos.

Los resultados de los análisis de salmueras y costras salinas realizados en el laboratorio Alex Stewart S.A. se detallan en los cuadros 50, 51 y 52.

En general las salmueras muestran alto contenido de sodio ( $\text{Na}^+$ , entre 96 y 107 g/l) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ , entre 16 y 23 g/l) con un contenido medio de potasio ( $\text{K}^+$ , entre 4,3 y 6,2 g/l). En el caso particular del Li, se registró en todas las salmueras pero en baja concentración (hasta 37 ppm 0,037 g/l). En la figura 125 se observa la relación porcentual de cada catión.

Con respecto a los aniones, se destaca la alta concentración de cloruro ( $\text{Cl}^-$ , entre 172 y 185 g/l) y también de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ , entre 50 y 64 g/l). Si bien para el presente informe no se han realizado análisis para otros aniones, en estudios previos se ha detectado el anión bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), con valores aproximados a 1 g/l (Espejo y Silva Nieto, 1996) que serán tomados como referencia. En la figura 126, se representa la relación porcentual de aniones.

| Tipo de muestra       | número / ubicación | Elemento            | B          | Ba        | Ca         | Fe         | K           | Li        | Mg           | Mn         | Na            | Sr         |
|-----------------------|--------------------|---------------------|------------|-----------|------------|------------|-------------|-----------|--------------|------------|---------------|------------|
|                       |                    | Unidad              | mg/L       | mg/L      | mg/L       | mg/L       | mg/L        | mg/L      | mg/L         | mg/L       | mg/L          | mg/L       |
|                       |                    | Técnica             | ICP-OES    | ICP-OES   | ICP-OES    | ICP-OES    | ICP-OES     | ICP-OES   | ICP-OES      | ICP-OES    | ICP-OES       | ICP-OES    |
|                       |                    | Límite de detección | 1          | 0,01      | 2          | 0,3        | 2           | 1         | 1            | 0,01       | 2             | 0,5        |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M1-12              |                     | 181        | <0,10     | 146        | 3,2        | 4331        | 24        | 15977        | 1,22       | 103020        | <5         |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M2-12              |                     | 199        | <0,10     | 123        | 3,4        | 4606        | 26        | 16795        | 1,35       | 99424         | <5         |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M3-12              |                     | 197        | <0,10     | 125        | 3,4        | 4752        | 27        | 16975        | 1,28       | 110304        | <5         |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M4-12              |                     | 221        | <0,10     | 147        | 3,2        | 5281        | 30        | 18479        | 1,41       | 106798        | 5,4        |
| <b>Salmuera negra</b> | M1bis-12           |                     | 183        | <0,10     | 148        | <3         | 4767        | 28        | 17745        | 1,19       | 101388        | <5         |
| <b>Salmuera negra</b> | M2bis-12           |                     | 224        | <0,10     | 134        | <3         | 5624        | 34        | 21049        | 1,27       | 99537         | <5         |
| <b>Salmuera negra</b> | M3bis-12           |                     | 240        | <0,10     | 97         | <3         | 6193        | 37        | 23048        | 1,30       | 96256         | <5         |
| <b>Promedio</b>       |                    |                     | <b>206</b> | <b>--</b> | <b>131</b> | <b>3,3</b> | <b>5079</b> | <b>30</b> | <b>18581</b> | <b>1,3</b> | <b>102390</b> | <b>5,4</b> |

Cuadro 50. Salina La Amarga, resultados analíticos de cationes en salmueras, expresados en miligramos/litro. Ubicación de sitios de muestreo en el mapa 14.

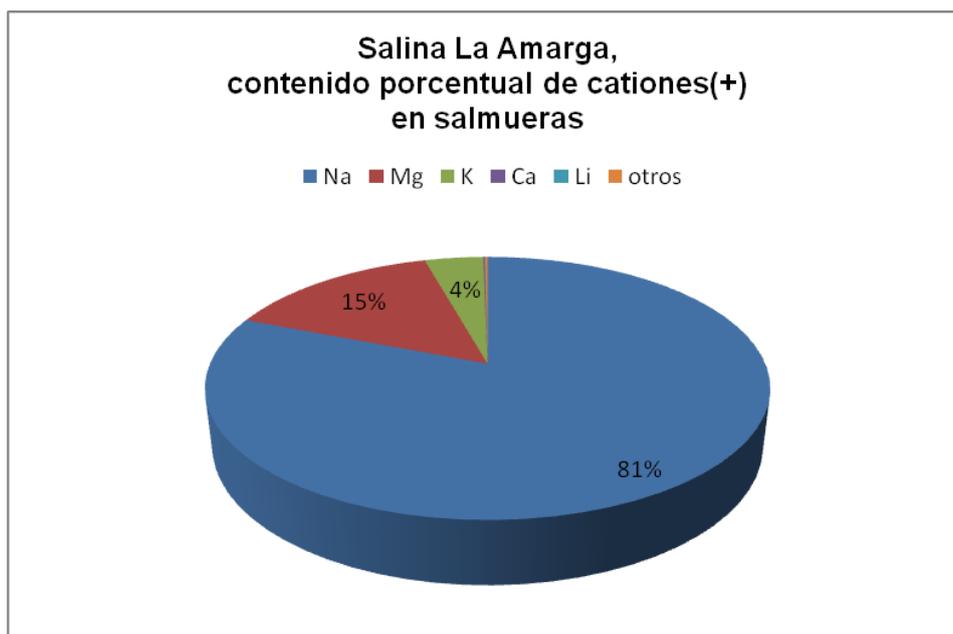


Figura 125. Salina La Amarga, contenido porcentual de cationes en salmueras.

| Tipo de Muestra | número / ubicación | Det. | Sulfatos SO <sub>4</sub> = | Cloruros Cl <sup>-</sup> | pH    | Conduct. | Sólidos disueltos totales (secados a 180°) | Sólidos totales (secados a 103°) |
|-----------------|--------------------|------|----------------------------|--------------------------|-------|----------|--|----------------------------------|
|                 |                    | U    | mg/l                       | mg/L                     | de pH | μS/cm    | mg/L                                       | mg/L                             |
|                 |                    | T    | Volum                      | Volum                    | ISE   | Instrum  | Grav.                                      | Grav.                            |
|                 |                    | LD   | 5                          | 5                        | 0,1   | 5        | 10   | 10                               |
| Salmuera rosa   | M1-12              |      | 57904                      | 184491                   | 7,2   | 200100   | 384720                                     | 425900                           |
| Salmuera rosa   | M2-12              |      | 59336                      | 182742                   | 7,1   | 197700   | 384800                                     | 440820                           |
| Salmuera rosa   | M3-12              |      | 58612                      | 172250                   | 7,2   | 198800   | 350680                                     | 467300                           |
| Salmuera rosa   | M4-12              |      | 58233                      | 177496                   | 7     | 196700   | 378120                                     | 428420                           |
| Salmuera Negra  | M1bis-12           |      | 50067                      | 178370                   | 7,1   | 202300   | 370920                                     | 102460                           |
| Salmuera Negra  | M2bis-12           |      | 55253                      | 174873                   | 6,9   | 196100   | 376760                                     | 400820                           |
| Salmuera Negra  | M3bis-12           |      | 63765                      | 173124                   | 6,9   | 189000   | 383760                                     | 433960                           |
| Promedio        |                    |      | <b>57596</b>               | <b>177621</b>            |       |          |  |                                  |

Cuadro 51. Salina La Amarga, resultados analíticos de aniones en salmueras, expresados en miligramos/litro, (U= unidades; T= técnica; LD= límite de detección inferior).

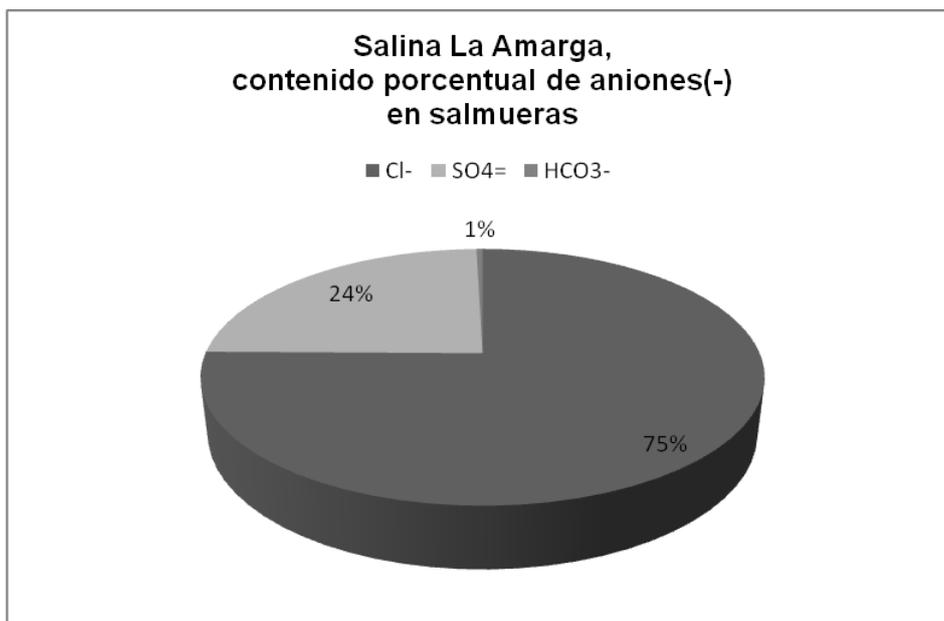


Figura 126. Salina La Amarga, porcentaje de aniones en salmueras.

Un esquema comparativo de composición y valor químico entre las distintas muestra de La Amarga, indica que no hay diferencias relevantes entre ellas, tanto si se toma en cuenta la diferente posición dentro de la salina, de las dos transectas realizadas, así como a lo largo de ellas. Tampoco en cuanto al tipo de salmuera, intraporal o inferior a la costra superficial (figura 127).

En referencia a la composición química de las costras salinas (cuadro 52), la superficial (o temporaria) está formada por  $\text{Na}^+$  con un contenido pequeño, (2%) de  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ . Dada la mineralogía observada, el  $\text{Na}^+$  se combina mayoritariamente con  $\text{Cl}^-$  para formar halita, y una pequeña cantidad forma astracanita con  $\text{Mg}^{2+}$ . En el caso del  $\text{K}^+$  no se identificaron minerales de este catión, pudo haber sido porque estaban, en muy pequeña proporción, enmascarados entre los cristales de halita, o están como trazas dentro de la estructura cristalina de los minerales hallados.

Por su parte, la costra salina sub-ácuea, (permanente), está constituida mayoritariamente por  $\text{Na}^+$  formando halita ( $\text{NaCl}$ ), con un 13% de calcio que se presenta como yeso, glauberita con trazas de diversos cationes y carbonatos.

No se registró  $\text{Li}^+$  en ambas costras (figuras 128 y 129).

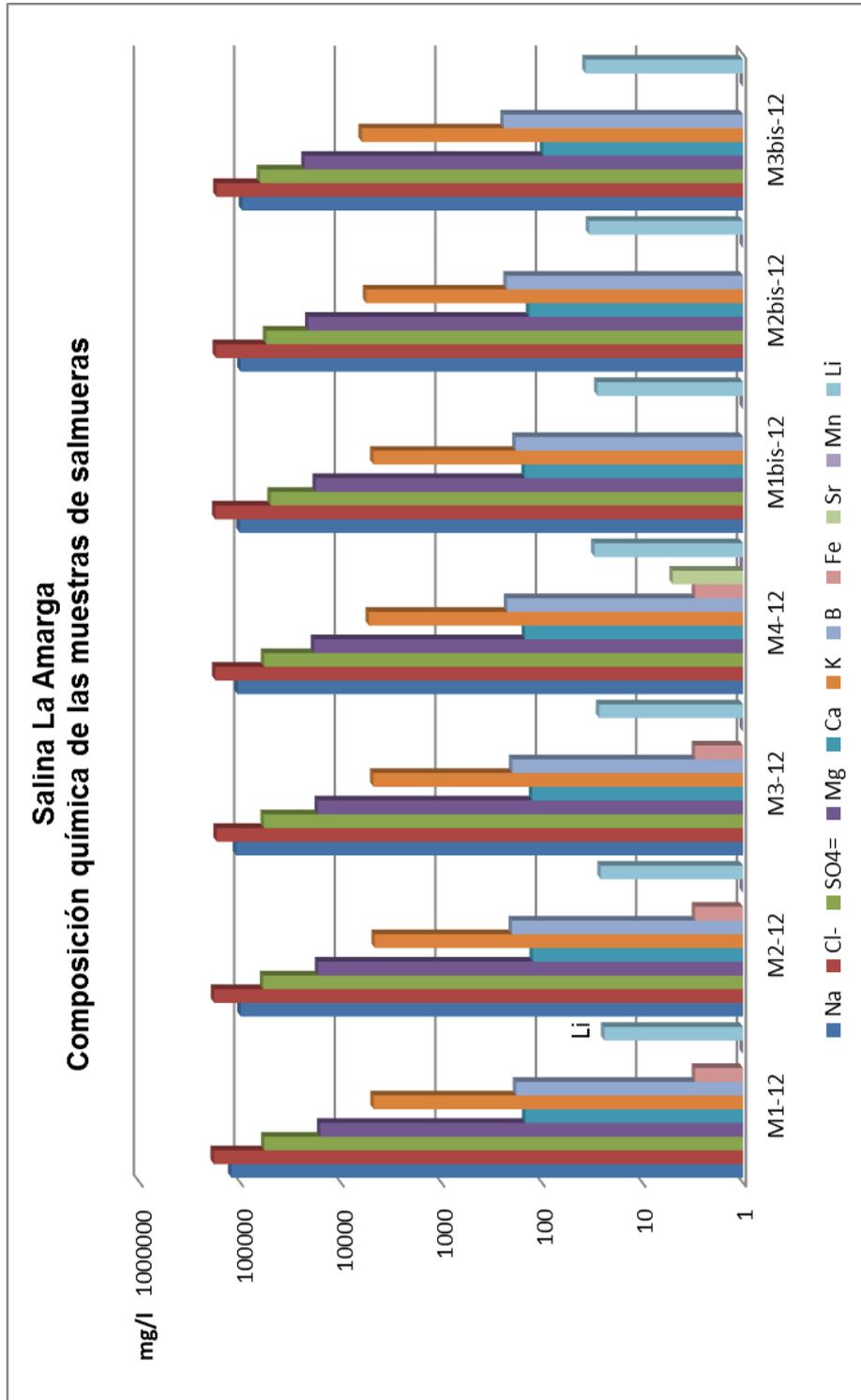


Figura 127. Salina La Amarga, composición química de las muestras de salmueras.

| Tipo de muestra | número / ubicación | Elemento            | B        | Ba       | Ca       | Fe       | K        | Li       | Mg       | Mn       | Na       | Sr       |
|-----------------|--------------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                 |                    | Unidad              | mg/kg MS |
|                 |                    | Técnica             | ICP-OES  |
|                 |                    | Límite de detección | 50       | 0,5      | 2        | 15       | 2        | 50       | 1        | 0,01     | 2        | 25       |
| <b>Costra</b>   | superficial        |                     | <50      | <0,5     | 891      | <15      | 1524     | <50      | 3864     | 2,16     | 359603   | 26       |
| <b>Costra</b>   | Sub-<br>ácea       |                     | 88       | 2,40     | 44350    | <15      | 1584     | <50      | 4163     | 3,05     | 292286   | 690,1    |

Cuadro 52. Salina La Amarga, resultados analíticos de cationes en costras salinas, expresados en miligramos/kilogramo.

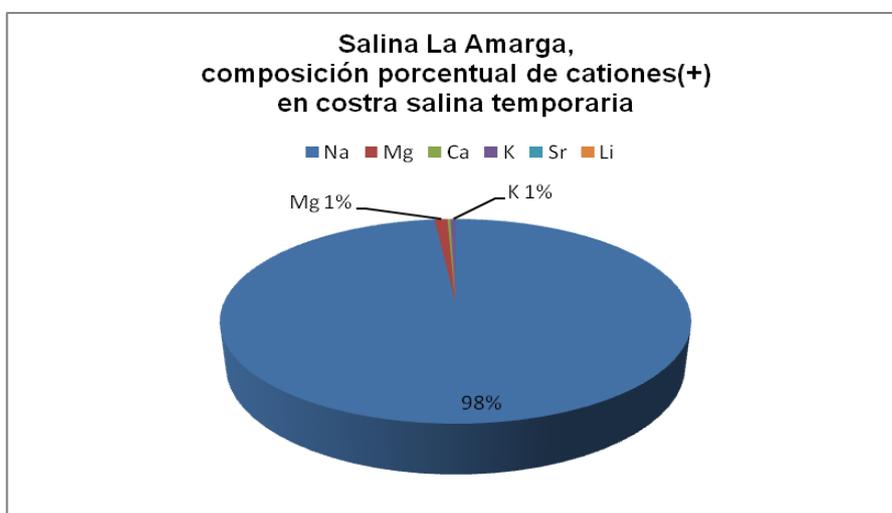


Figura 128. Salina La Amarga, porcentaje de cationes en costra salina superficial.

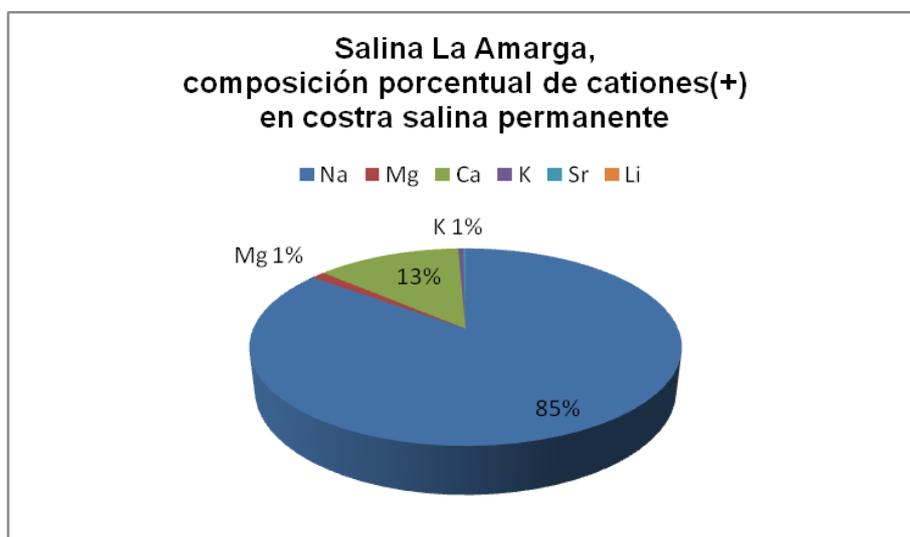
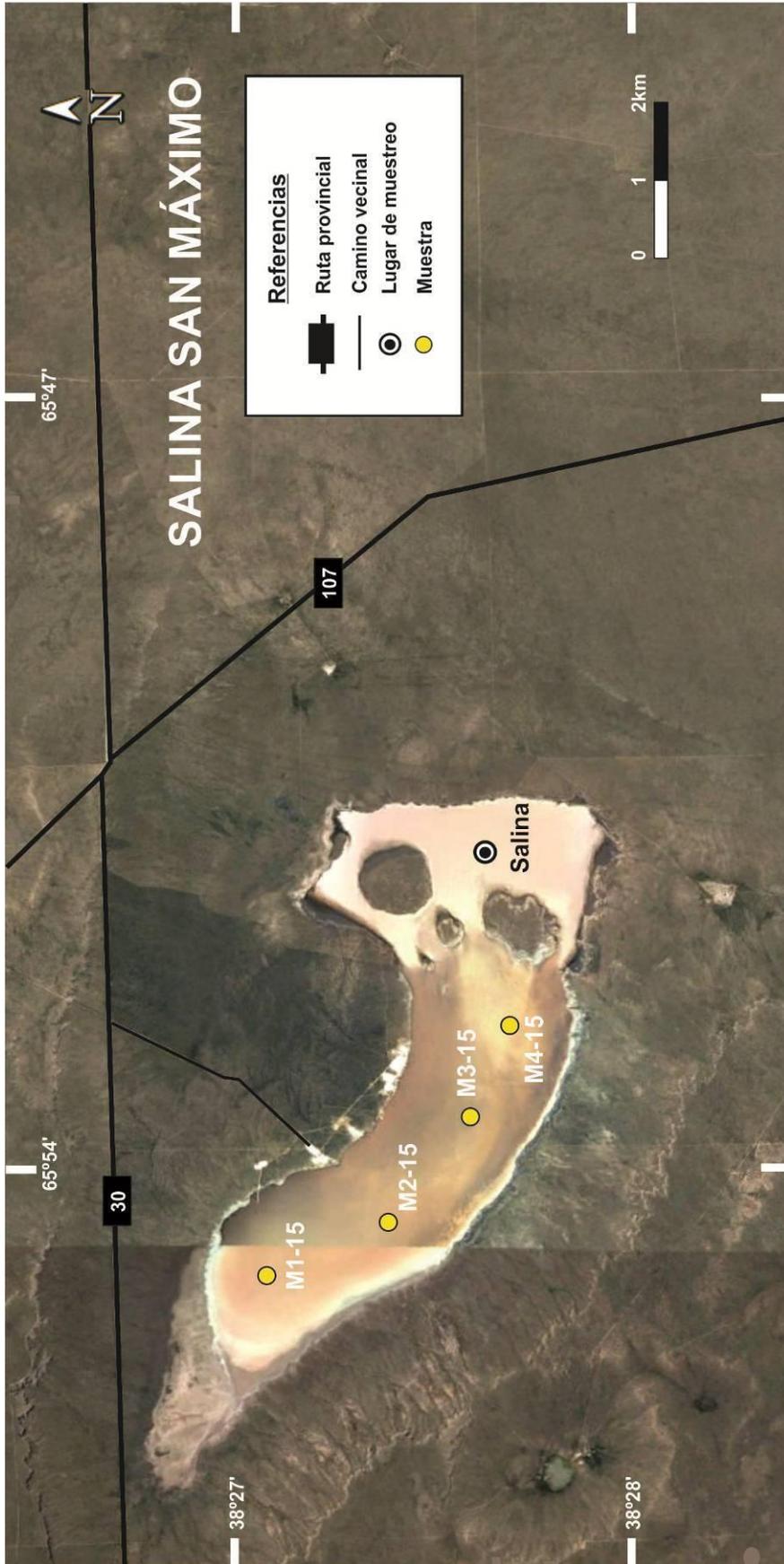


Figura 129. Salina La Amarga, porcentaje de cationes en costra salina permanente.

Los análisis químicos provistos por el laboratorio Actlabs, corresponden a muestras del material clástico de los fangos salinos (obtenidos con barreno hasta los 80 cm de profundidad) luego del lavado con agua del material soluble (sales) y también de rocas que rodean a la salina (cuadro 53).

|                           | Elemento            | Na   | Mg     | Ca     | K      | Fe   | Sr     | Mn     | Ba   | Li     |
|---------------------------|---------------------|------|--------|--------|--------|------|--------|--------|------|--------|
|                           | Unidad              | %    | %      | %      | %      | %    | ppm    | ppm    | ppm  | ppm    |
|                           | Límite de detección | 0.01 | 0.01   | 0.01   | 0.01   | 0.01 | 1      | 1      | 50   | 1      |
|                           | Técnica             | INAA | TD-ICP | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP |
| <b>Fangos salinos</b>     |                     | 0,36 | 0,43   | 14,4   | 0,11   | 0,33 | 2390   | 142    | < 50 | 11     |
| <b>Ignimbritas del NO</b> |                     | 0,15 | 0,05   | 0,6    | 0,25   | 0,78 | 58     | 149    | 580  | 96     |
|                           |                     | 2,97 | 0,19   | 0,55   | 4,19   | 1,82 | 157    | 367    | 880  | 15     |
| <b>Granitos del S-SE</b>  |                     | 2,22 | 0,09   | 0,21   | 4,52   | 1,07 | 81     | 764    | 620  | 8      |
|                           |                     | 1,73 | 0,02   | 0,13   | 3,53   | 0,72 | 38     | 236    | 440  | 11     |
| <b>Ignimbritas del E</b>  |                     | 2,36 | 0,12   | 0,49   | 4,79   | 1,04 | 92     | 423    | 530  | 20     |
|                           |                     | 2,39 | 0,11   | 0,51   | 4,47   | 0,99 | 83     | 430    | 100  | 17     |

Cuadro 53. Salina La Amarga, resultados analíticos de cationes de fangos salinos y rocas, expresados en porcentaje o partes por millón. INAA: activación neutrónica, TD-ICP: digestión total-plasma acoplado por inducción.



Mapa 15. Sector 3, Salina San Máximo. Ubicación de puntos de muestreo.

## Salina San Máximo

Salina en producción, ubicada en la Sección XV, Fracción D, Lote 20.

Se accede a ella desde la localidad de Puelches recorriendo la Ruta Provincial 107 hacia el sur, hasta la Ruta Provincial 30. De allí se dirige hacia el oeste 5 km, donde se encuentra la entrada de la salina (mapa 15).



Figura 130. Salina San Máximo, vista de la salina desde una de las islas interiores, con afloramientos de granitos.

La superficie aproximada es de 22 Km<sup>2</sup>, de los cuales son explotables 17 km<sup>2</sup>. Tiene forma de media luna ensanchada hacia el este, con su diámetro mayor alineado NO-SE en concordancia con los lineamientos N50O, inferidos para la región. El bajo está desarrollado sobre sedimentitas de la Formación Río Negro, pero su profundización dejó al descubierto el basamento preterciario. La Formación Río Negro, en este caso, permanece aflorando en los alrededores de la cuenca (Espejo y Silva Nieto, 1996).

Al sureste de la salina afloran granitos rosados correspondientes a la Formación Zúñiga (Pérmico superior). En la costa nor-noreste se destacan riolitas y pórfiros de la Formación Choique Mahuida (Triásico inferior) y en las islas interiores de la salina, diques graníticos de edad aún no identificada. La depresión está rodeada de sedimentos coluviales de edad holocena que se continúan hacia el oeste con los conglomerados de la Formación Tehuelche y hacia el este por limos, arcillas y rodados de volcanitas de la Formación Puesto Alí (Pleistoceno superior).

Los muestreos se realizaron el 22-12-2016, con una transecta que recorre a la salina por sus puntos medios (mapa 15).

Se cavaron 4 pozos (M1-15, M2-15 y M3-15 y M4-15), cuyas geo-referencias y características están descriptas en el cuadro 54.

En cada punto se tomaron muestras de salmueras a las que se les midió el pH a temperatura ambiente (38°C), se observó color, olor y aspecto. También se recolectaron muestras de costras, sales y sedimentos en los pozos hasta una profundidad (en donde fue posible) de 60 cm.

| Fecha      | Denominación específica del lugar | Tipo de trabajo | Tipo de material recolectado | Nombre de la Muestra | Latitud       | Longitud      |
|------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| 22/12/2016 | salina San Máximo                 | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M1-15                | 38°25'23.65"S | 65°54'57.10"O |
| 22/12/2016 | salina San Máximo                 | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M2-15                | 38°26'15.68"S | 65°54'26.80"O |
| 22/12/2016 | salina San Máximo                 | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M3-15                | 38°26'48.83"S | 65°53'31.08"O |
| 22/12/2016 | salina San Máximo                 | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M4-15                | 38°27'05.75"S | 65°52'41.90"O |

Cuadro 54. Salina San Máximo, geo-referencias de las muestras.

La costra salina temporaria se extendía por toda la superficie, muy compacta, inclusive en los bordes de la salina, permitiendo el ingreso sin dificultad. La superficie tenía un intenso color rosa y estaba cubierta por agregados circulares (grumos) de sales color blanco (figura 131) o, en algunos sectores, con agregados de cristales en posición horizontal laminar (figura 132 y 133).



Figura 131. Salina San Máximo, vista de la costra salina superficial rosa cubierta de agregados circulares.



Figura 132. Salina San Máximo, vista de un fragmento de costra laminar con agregados de cristales euédrales de halita en textura hopper (base de la imagen 5 cm).

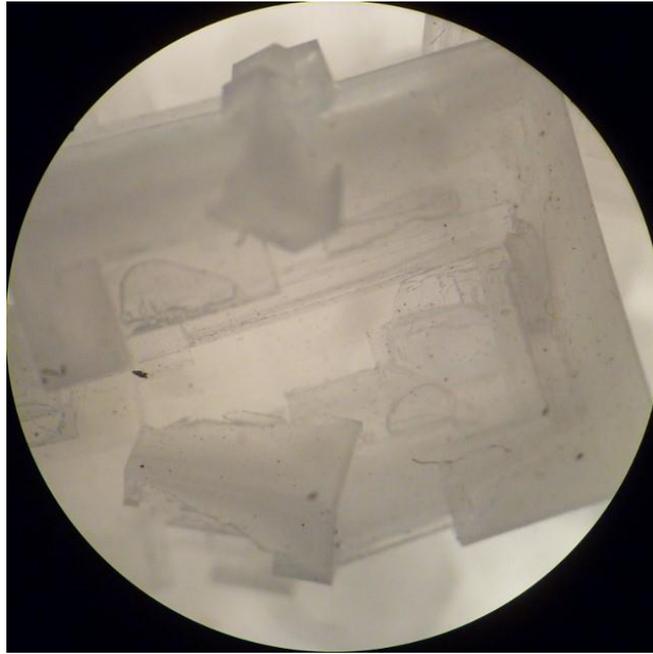


Figura 133. Salina San Máximo, imagen a la lupa binocular de un cristal de halita con textura tabular hopper (diámetro de la imagen 0,5 cm).

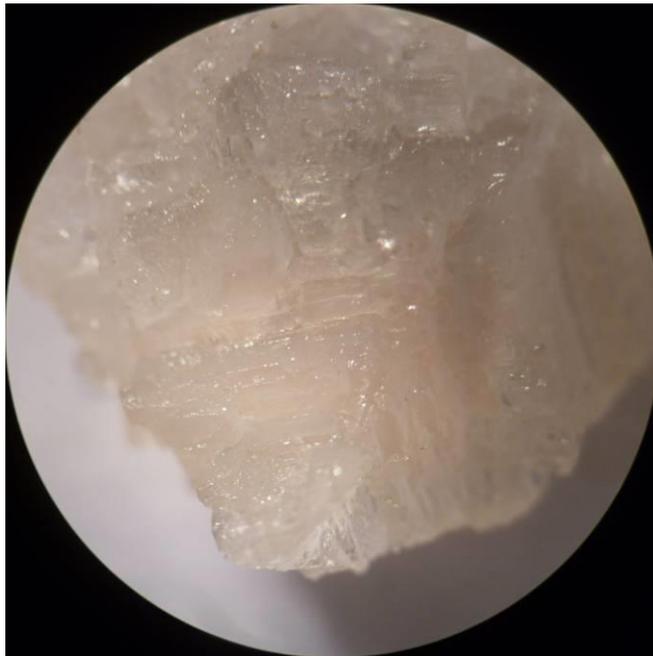


Figura 134. Salina San Máximo, cristal de halita con textura en pirámide hopper (diámetro de la imagen 1 cm).

La costra salina superficial rosa, de estructura laminar, estaba formada por cristales euhedrales de color rosa. Las crestas de crecimiento eran agrupaciones de círculos de 1 cm de diámetro. A la lupa, estos círculos se ven formados por agregados de cubos dispuestos radialmente con textura en tolva cúbica y burbujas de aire y agua (figura 135).



Figura 135. Salina San Máximo,  
 izq. fragmento de costra salina superficial rosa (base de la imagen 7 cm),  
 der. crestas de crecimiento de la costra salina superficial (base de la imagen 7 cm).

En los pozos cavados, se pudo reconocer que la costra superficial tenía una potencia de 9 cm aproximadamente, de los cuales 3 cm, estaban sumergidos en el agua, luego continuaba una sucesión de fangos y costras salinas sub-ácueas, que variaban en espesor y dureza según el lugar de muestreo (figuras 136 y 137). Se hallaron niveles de minerales sueltos con arcilla, niveles de minerales compactados y niveles con minerales soldados.

El perfil litológico en la figura 140, presenta una descripción generalizada de las estructuras sedimentarias, los componentes (descriptos de mayor a menor proporción) y texturas observadas, en las secciones verticales prospectadas.

A las salmueras recolectadas, se les realizó in situ, una descripción del aspecto general. En el cuadro 55 se detallan las observaciones.

\*El color corresponde a la salmuera luego del precipitado natural de los sedimentos.

| Número   | Muestra               | Extraída de                                | Color *                    | Olor    | Aspecto     | pH campo |
|----------|-----------------------|--|----------------------------|---------|-------------|----------|
| M1-15    | <b>salmuera</b>       | Intraporal en la costra superficial        | rosa intenso               | inodoro | translúcido | 6        |
| M2-15    | <b>salmuera</b>       |  | rosa intenso               |         | translúcido |          |
| M3-15    | <b>salmuera</b>       |  | rosa intenso               |         | translúcido |          |
| M3bis-15 | <b>salmuera negra</b> | Agua madre debajo de la costra superficial | beige<br>grisáceo<br>claro | fétido  | translúcido | 6        |

Cuadro 55. Salina San Máximo, observaciones en campo de las salmueras muestreadas.



Figura 136. Salina San Máximo, pozo cavado en el M4-15.

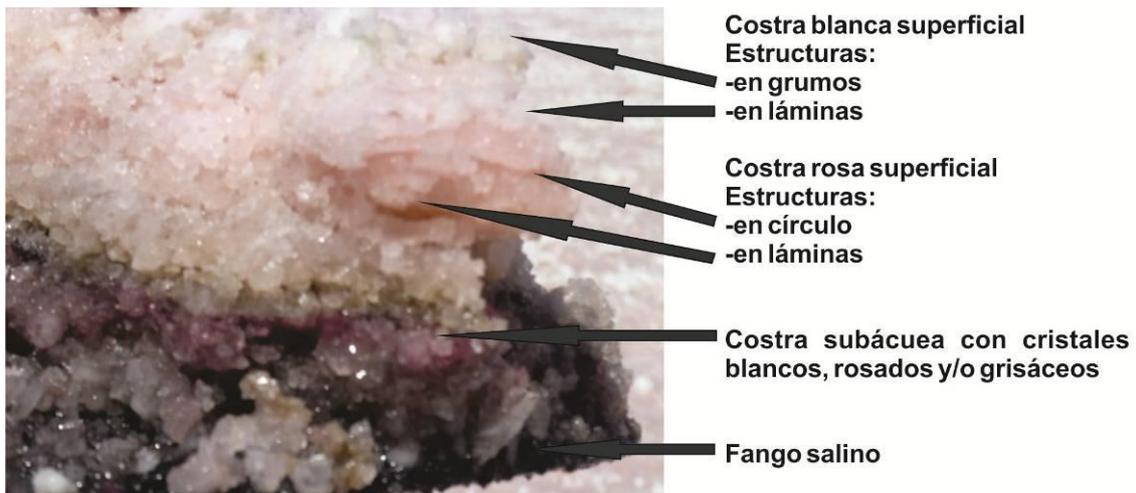


Figura 137. Salina San Máximo, costra superficial parcialmente saturada en agua, en el pozo M1-15 se define una estratificación por color.

Los fangos recolectados, se estudiaron con la técnica de Difractometría de Rayos X, que determinó una composición de material clástico de 5% formado por 1% de cuarzo, 3% de plagioclasa y 1% de arcillas) el 96% restante son sales del tipo halita, (NaCl 68%), 27% de yeso y 1% de glauberita.

Las arcillas son de los tipos esmectita e illita y van acompañadas de escasas impurezas de cuarzo y feldespato (figuras 138 y 139).

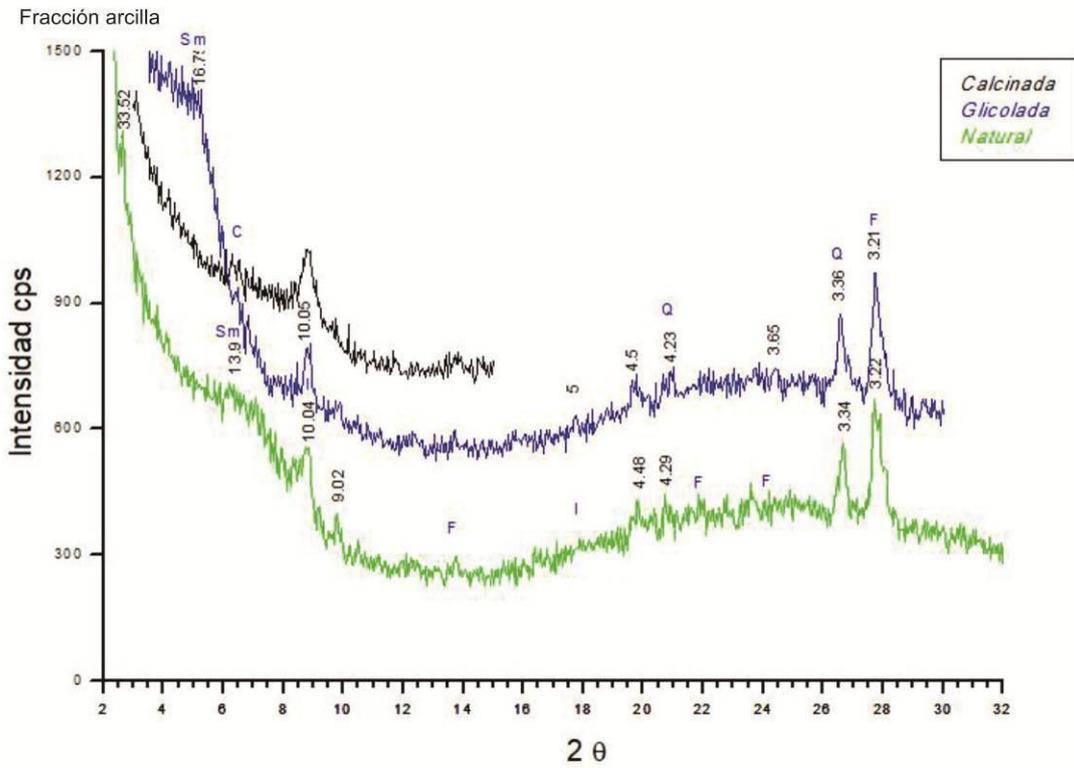
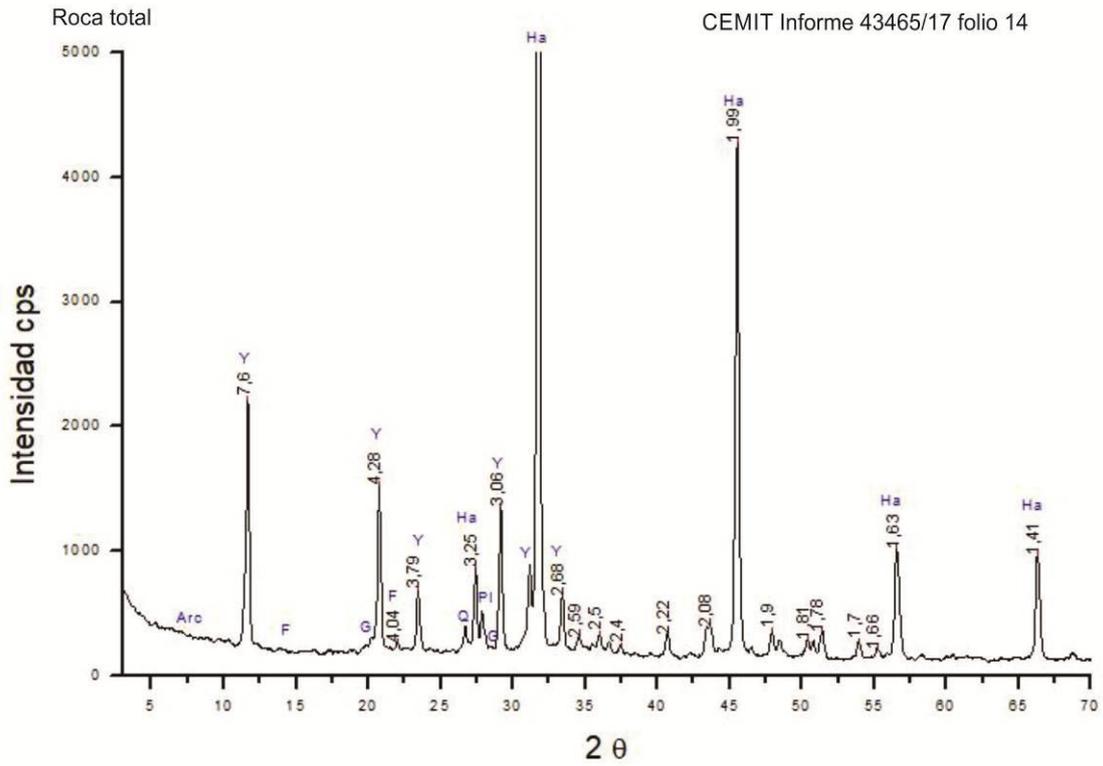
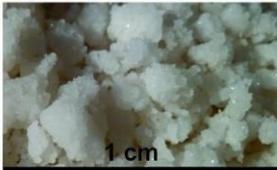
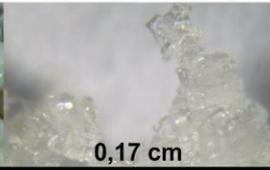
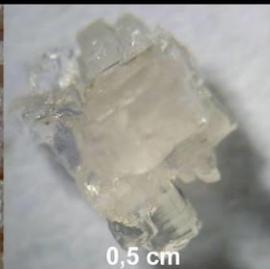
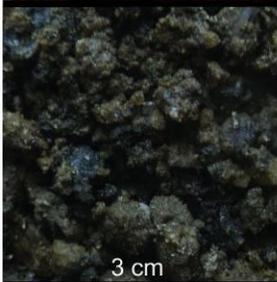


Figura 138 y 139. San Máximo, difractograma de Rayos X del fango salino.

**Salina San Máximo: perfil litológico**

|                           | Material suelto y seco, a ojo desnudo | Observación con lupa binocular  | Espesor Profundidad   | Descripción con lupa y DRX  |
|---------------------------|---------------------------------------|---|---|---|
| Costra salina superficial | Costra blanca                         |    |    | 1 cm<br>Cristales de halita con estructuras en grumo o laminar plana. Los grumos están formados por micro-cristales cúbicos masivos y transparentes. La estructura laminar, muy compacta, está formada por cristales tabulares (tabular hopper) translúcidos blanquecinos.  |
|                           | Costra rosa                           |    |    | 5 cm<br>3 cm de cristales de halita translúcidos, con estructura en círculos de 1 cm de diámetro y textura de cubos en tolva cúbica, burbujas de aire y agua.<br>2 cm de cristales en estructura laminar compacta de halita transparentes o translúcidos, de tamaño hasta 1 cm y texturas tabular (tabular hopper), tolva (pirámide hopper), en cubo macizo, en cubos con caras deprimidas y escalonadas, (tolva cúbica). |
| Costra salina subácuea    | Costra morada                         |   |   | 3 cm<br>materiales saturados en agua<br>ver (—) 3 mm de arcilla pardo amarillenta<br>Estructura laminar compacta de cristales de halita con tamaño hasta 2,5 cm rosado morado o beige y texturas en cubo macizo, tolva cúbica sobrecrecida (pirámide trihedral, cristal chevron), y tolva (pirámide hopper).  |
| Fango pútrido             | Arcilla salina                        |  |  | 2 cm<br>Estructura laminar paralela, medianamente compactada, con cristales de halita, yeso, sulfatos complejos y arcilla color pardo oscuro y negro. Los cristales de halita son de color translúcidos beige de hasta 1,5 cm y los sulfatos complejos y el yeso, son transparentes y con tamaños menores a 1mm.  |
| Costra salina subácuea    | Costra soldada                        |  |  | 2 cm<br>Estructura tabular soldada de cristales transparentes de halita, glauberita y yeso menores a 1 mm. Los cristales de halita forman cubos y masas irregulares en la que se observan orificios generados por el paso del agua.   |

Se repiten las capas de fango y costra, por lo menos hasta los 60 cm, en algunos sectores con más fango que costra.

60 cm

Figura 140. San Máximo, perfil litológico representativo del sector interior de la salina.

Nota: el valor en cm, en la parte inferior de cada foto, corresponde a la base de la misma.

Vista en detalle de la costra soldada sub-ácuea y ejemplos de minerales hallados en los fangos salinos.



Figura 141. Salina San Máximo, fragmento de costra con halita soldada (base de la imagen 9,5 cm).



Figura 142. Salina San Máximo, vista con lupa binocular de la costra soldada (base de la imagen 0,4 cm).



Figura 143. Salina San Máximo, minerales recolectados del fango salino, observación a lupa binocular, (base de la imagen 0,23 cm).

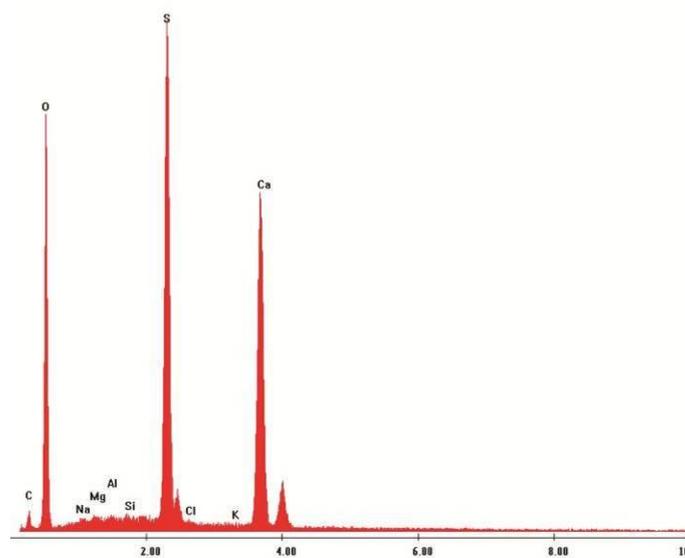
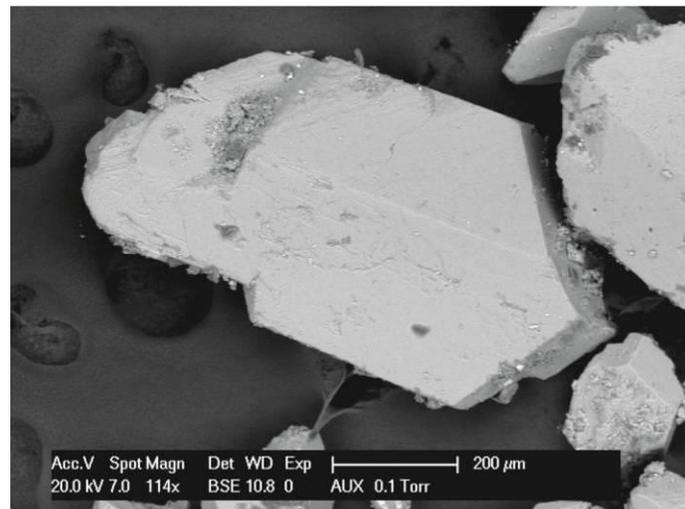


Figura 144. Salina San Máximo, cristal de yeso con trazas de Na, Mg, Al y K, imagen de microscopio electrónico.

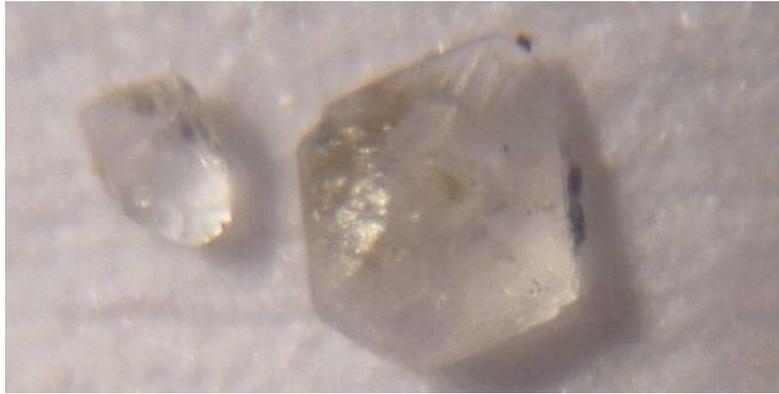


Figura 145. San Máximo, cristal de yeso del fango salino (base de la imagen 0,1 cm).

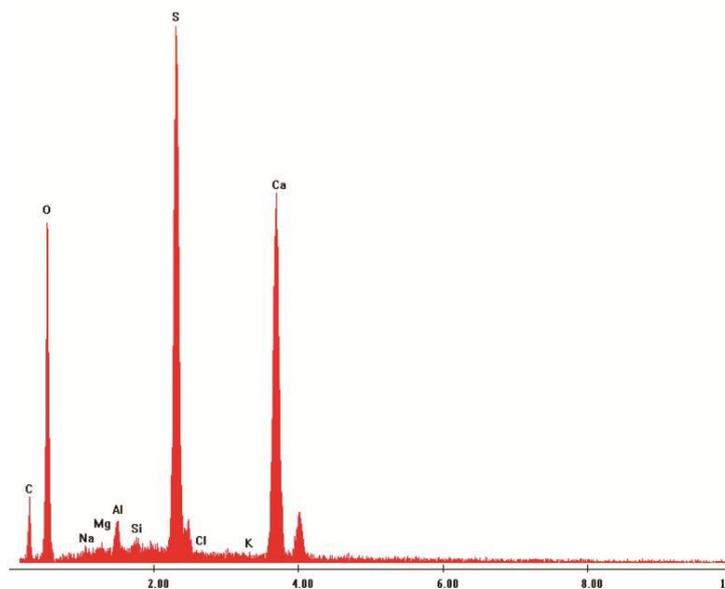
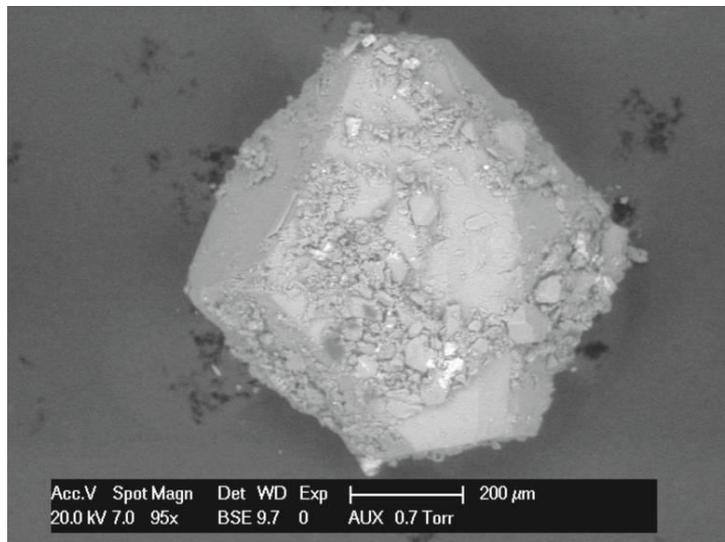


Figura 146. Salina San Máximo, cristal de yeso con trazas de Al, Si, Na Mg y K, imagen de microscopio electrónico.

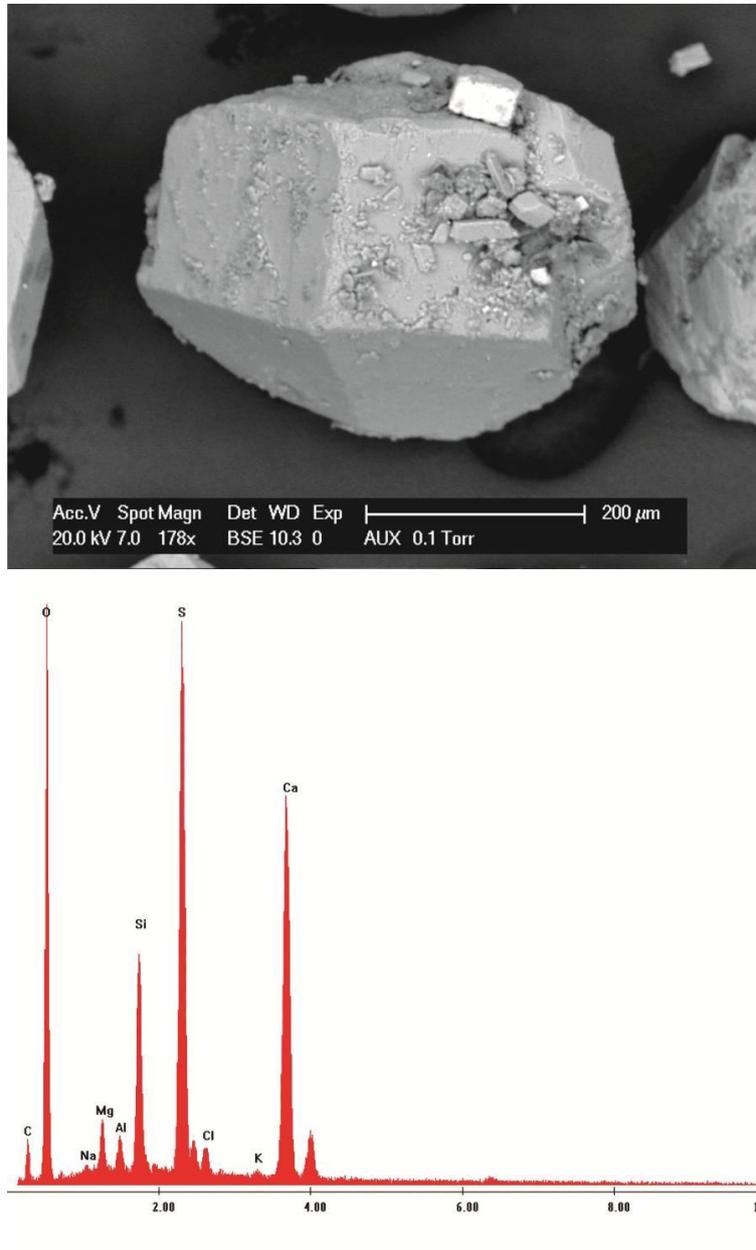


Figura 147. Salina San Máximo, sulfato de Ca y Si con trazas de Mg, Al, Na y K, imagen de microscopio electrónico.

### Análisis químicos y caracterización de salmueras, costras y sedimentos

Los análisis químicos realizados por el laboratorio Alex Stewart S.A. sobre las muestras de salmueras y costras salinas, arrojaron los valores detallados en los cuadros 56, 57 y 58.

Se observa un alto contenido de sodio ( $\text{Na}^+$ , entre 67 y 95 g/l ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ , entre 17 y 29 g/l) con valores de potasio medios (entre 2,8 y 5 g/l). En el caso particular del Li, el catión está presente pero en una concentración muy baja (hasta 0,018 g/l).

En la figura 148 se observa la relación porcentual de cada catión.

Con respecto a los aniones, se destaca la alta concentración de cloruro ( $\text{Cl}^-$ , entre 185 y 202 g/l) con una concentración de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) entre 17 y 36 g/l. Si bien para el presente informe no se han realizado análisis para otros aniones, en estudios previos ( Espejo y Silva Nieto, 1996) se ha detectado solamente el anión bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), con valores menores a 200 mg/l.

En la figura 149 se representa la relación porcentual de aniones.

| Tipo de muestra       | número / ubicación | Elemento            | B         | Ba         | Ca         | Fe         | K           | Li        | Mg           | Mn         | Na           | Sr           |
|-----------------------|--------------------|---------------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|-----------|--------------|------------|--------------|--------------|
|                       |                    | Unidad              | mg/L      | mg/L       | mg/L       | mg/L       | mg/L        | mg/L      | mg/L         | mg/L       | mg/L         | mg/L         |
|                       |                    | Técnica             | ICP-OES   | ICP-OES    | ICP-OES    | ICP-OES    | ICP-OES     | ICP-OES   | ICP-OES      | ICP-OES    | ICP-OES      | ICP-OES      |
|                       |                    | Límite de detección | 1         | 0,01       | 2          | 0,3        | 2           | 1         | 1            | 0,01       | 2            | 0,5          |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M1-15              |                     | 28        | <10        | 411        | 3,6        | 2784        | <10       | 16943        | 4,62       | 94565        | 21,8         |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M2-15              |                     | 41        | <10        | 293        | 3,8        | 4146        | 14        | 22755        | 1,3        | 84853        | 18,1         |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M3-15              |                     | 52        | <10        | 226        | 4,1        | 5081        | 18        | 29034        | 1,36       | 73324        | 16,2         |
| <b>Salmuera negra</b> | M3bis-15           |                     | 48        | 0,16       | 234        | 9,8        | 4761        | 17        | 26151        | 1,90       | 67447        | 15,4         |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M4-15              |                     | 43        | <0,10      | 298        | 4,2        | 4116        | 15        | 22393        | 1,05       | 83307        | 16,8         |
| <b>Promedio</b>       |                    |                     | <b>42</b> | <b>0,2</b> | <b>292</b> | <b>5,3</b> | <b>4178</b> | <b>16</b> | <b>23455</b> | <b>2,3</b> | <b>80699</b> | <b>17,19</b> |

Cuadro 56. Salina San Máximo, resultados analíticos de cationes en salmueras, expresados en miligramos/litro. Ubicación de sitios de muestreo en el mapa 15 .

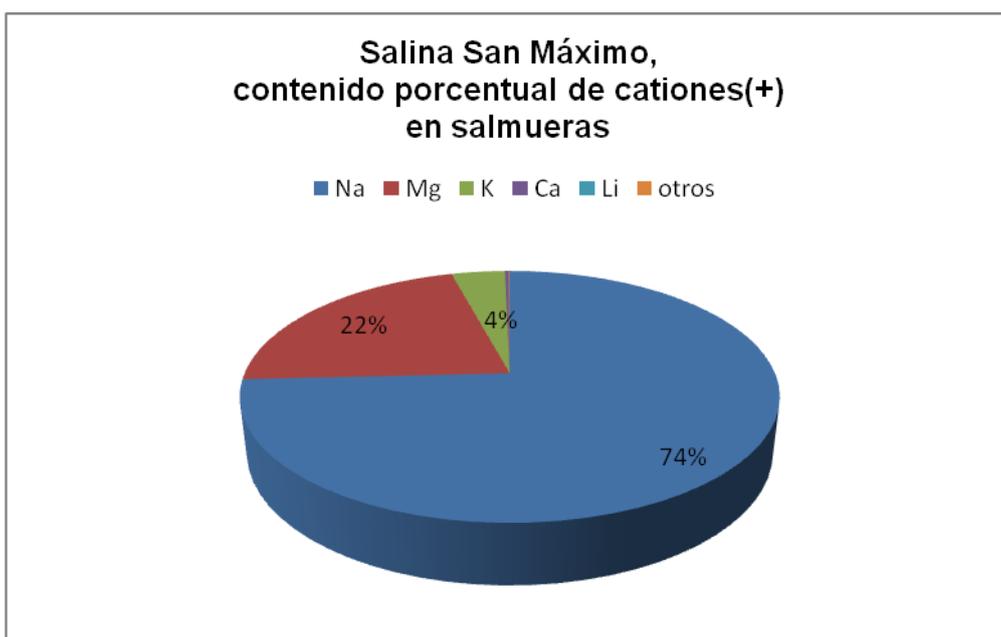


Figura 148. Salina San Máximo, porcentaje de cationes en salmueras.

| Tipo de Muestra | número / ubicación | Det. | Sulfatos SO <sub>4</sub> = | Cloruros Cl <sup>-</sup> | pH    | Conduct. | Sólidos disueltos totales (secados a 180°) | Sólidos totales (secados a 103°) |
|-----------------|--------------------|------|----------------------------|--------------------------|-------|----------|--|----------------------------------|
|                 |                    | U    | mg/l                       | mg/L                     | de pH | μS/cm    | mg/L                                       | mg/L                             |
|                 |                    | T    | Volum                      | Volum                    | ISE   | Instrum  | Grav.                                      | Grav.                            |
|                 |                    | LD   | 5                          | 5                        | 0,1   | 5        | 10   | 10                               |
| Salmuera rosa   | M1-15              |      | 17682                      | 185365                   | 6,6   | 219400   | 336880                                     | 467340                           |
| Salmuera rosa   | M2-15              |      | 27841                      | 194983                   | 6,8   | 204500   | 342920                                     | 424920                           |
| Salmuera rosa   | M3-15              |      | 35365                      | 190612                   | 6,7   | 188100   | 355960                                     | 458040                           |
| Salmuera negra  | M3bis-15           |      | 33346                      | 194983                   | 6,6   | 191700   | 350480                                     | 442880                           |
| Salmuera rosa   | M4-15              |      | 27577                      | 201978                   | 6,8   | 201100   | 345840                                     | 445020                           |
| <b>Promedio</b> |                    |      | <b>28362</b>               | <b>193584</b>            |       |          |  |                                  |

Cuadro 57. Salina San Máximo, resultados analíticos de aniones en salmueras, expresados en miligramos/litro, (U= unidades; T= técnica; LD= límite de detección inferior).

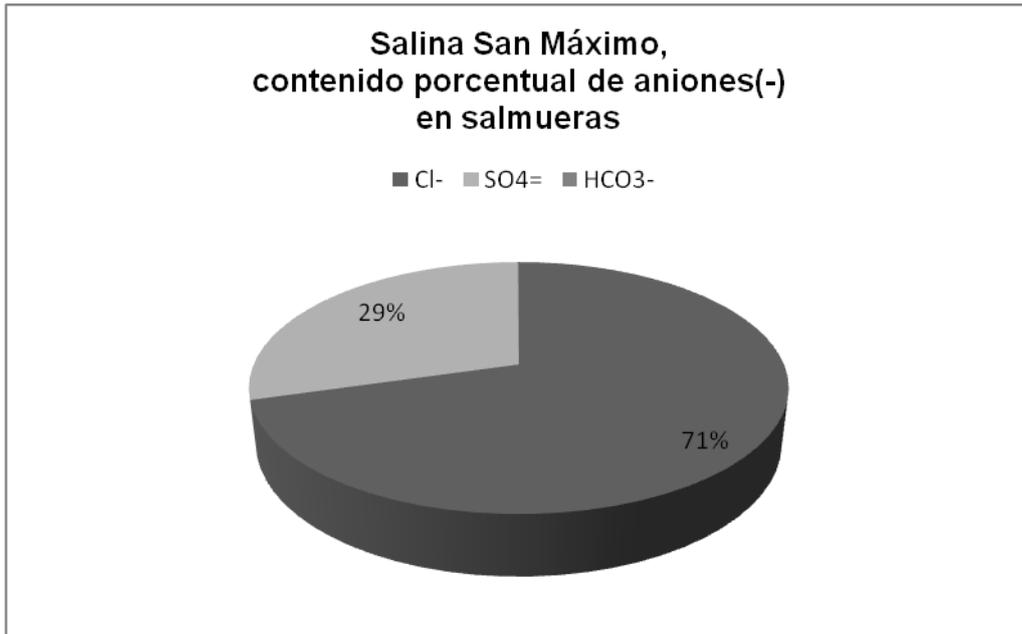


Figura 149. Salina San Máximo, porcentaje de aniones en salmueras.

Con un cuadro comparativo se refleja que la composición y valor de los cationes y aniones, se mantienen semejantes en todas las muestras. El litio no se registró en el extremo NO, y los valores mayores (aunque con muy pequeñas diferencias) se registraron en las muestras del centro de la salina. El magnesio y el potasio siguen una tendencia similar.

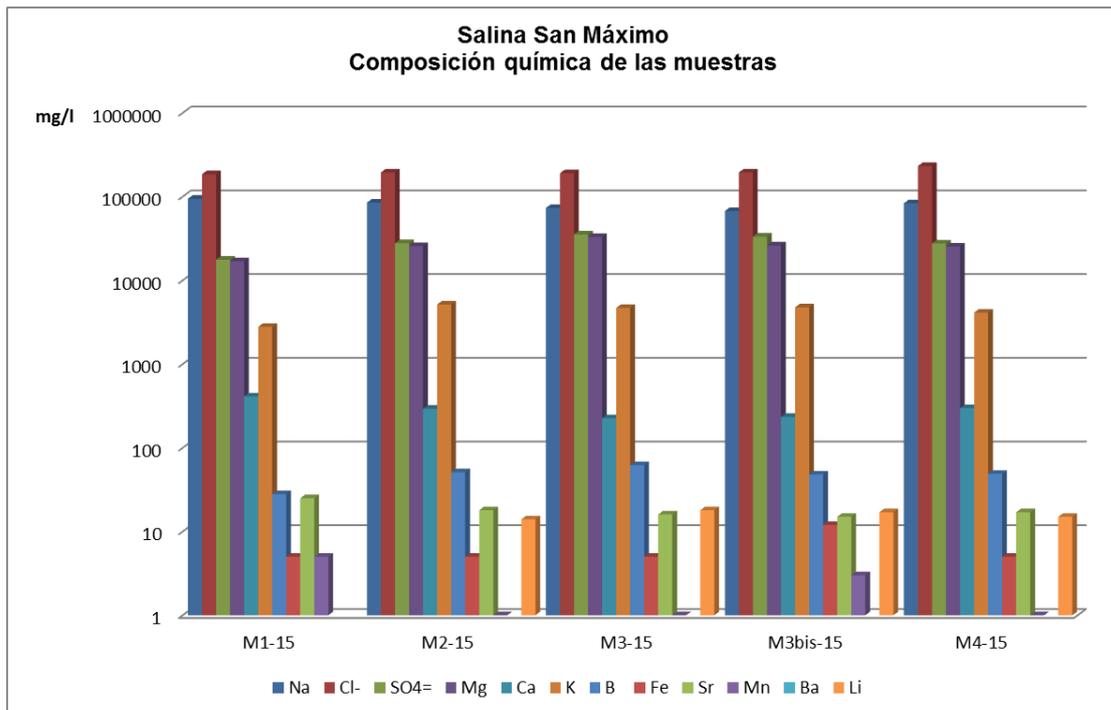


Figura 150. Salina San Máximo, composición química de las muestras de salmueras.

La costra salina superficial, temporaria, está formada casi en su totalidad por  $\text{Na}^+$ , con un 2% de  $\text{Mg}^+$  y 1% de  $\text{Ca}^+$ . La mayor parte del  $\text{Na}^+$  se combina con el  $\text{Cl}^-$  y forma halita, como se evidencia en los minerales encontrados. En el caso del  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  no se han observado a la lupa minerales específicos, ello puede ser por la baja proporción de estos cationes o porque están como trazas dentro de la halita. No se registró litio en la costra superficial (cuadro 58 y figura 151).

| Tipo de muestra          | número / ubicación | Elemento            | B        | Ba       | Ca       | Fe       | K        | Li       | Mg       | Mn       | Na       | Sr       |
|--------------------------|--------------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                          |                    | Unidad              | mg/kg MS |
|                          |                    | Técnica             | ICP-OES  |
|                          |                    | Límite de detección | 50       | 0.5      | 2        | 15       | 2        | 50       | 1        | 0,01     | 2        | 25       |
| <b>Costra</b>            | superficial        |                     | <50      | <0,5     | 3147     | 36,7     | 1635     | <50      | 6802     | 2,65     | 327337   | 54,7     |
| <b>Costra</b>            | subácuea           |                     | <50      | 1,06     | 5805     | <15      | 606      | <50      | 1781     | 3,47     | 349722   | 67,3     |
|                          | subácuea           |                     | <50      | 4,88     | 24950    | 19,3     | 968      | <50      | 2877     | 12,76    | 311394   | 239,1    |
| <b>Promedio subácuea</b> |                    |                     |          | 2,97     | 15378    | 28       | 787      |          | 2329     | 6,29     | 330558   | 153      |

Cuadro 58. Salina San Máximo, resultados analíticos de cationes en costras salinas, expresados en miligramos/kilogramo.



Figura 151. Salina San Máximo, porcentaje de cationes en costra salina superficial.

En referencia a la costra salina permanente subácuea, se presentan 3 tipos, una constituida por agregados de cristales de halita puros formando un estrato compacto, otra con cristales de halita soldados entre sí, y un tercero constituido por los minerales dispersos en los fangos salinos. La costra soldada está formada por un 98% de  $\text{Na}^+$  en la forma de halita y un 2% de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  como glauberita y sulfatos complejos. Los minerales dispersos en los fangos salinos son halita, yeso y sulfatos Ca complejos. No hay minerales de potasio, por lo cual, este elemento junto a otros presentes en muy pequeña concentración deben encontrarse sólo como trazas en los minerales hallados. El litio no se registró tampoco en la costra salina permanente (cuadro 58 y figuras 152 y 153)



Figura 152. Salina San Máximo, porcentaje de cationes en costra salina soldada.

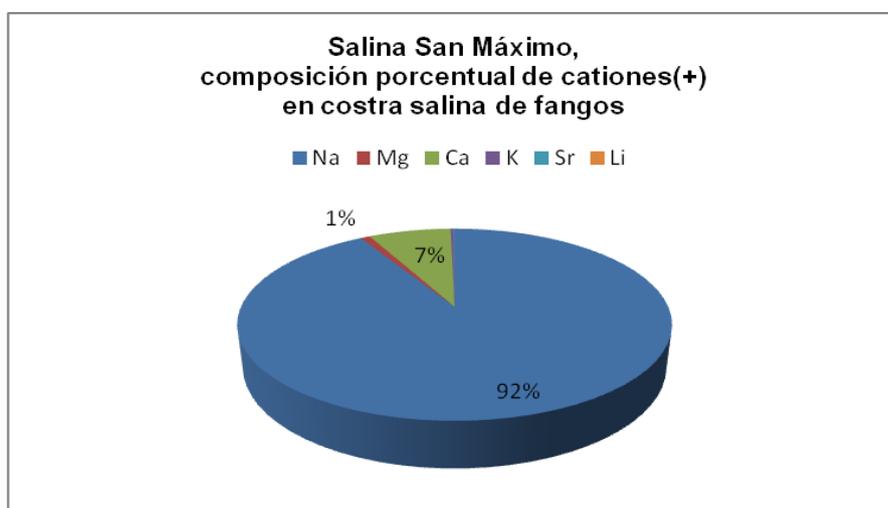
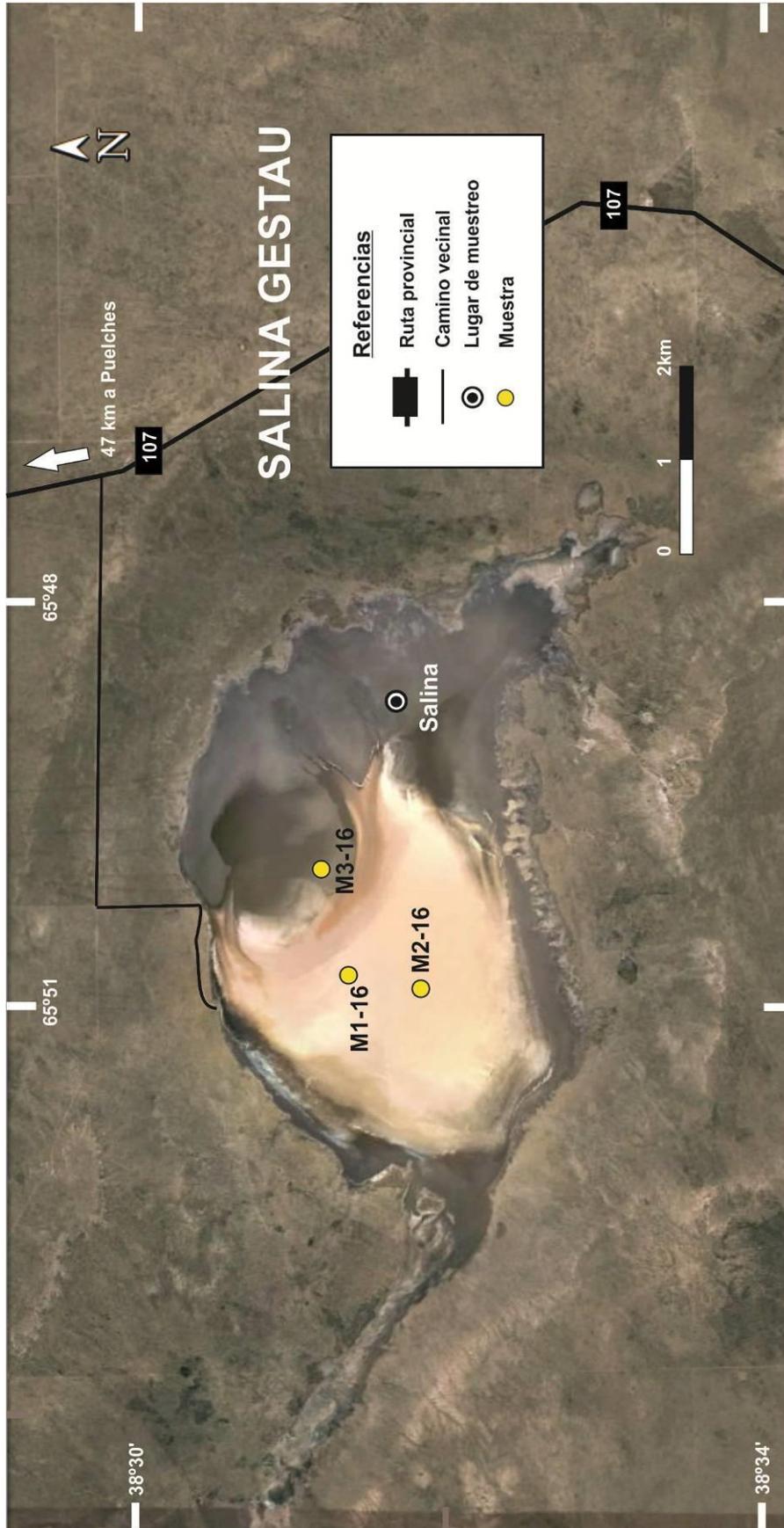


Figura 153. Salina San Máximo, porcentaje de cationes de sales en fangos salinos.

Los análisis de contenido de Li total del material clástico de los fangos salinos y rocas de los alrededores, que fueron realizados por el laboratorio Actlabs, arrojaron los valores que se detallan en el cuadro 59.

|                          | Elemento            | Na   | Mg     | Ca     | K      | Fe   | Sr     | Mn     | Ba   | Li     |
|--------------------------|---------------------|------|--------|--------|--------|------|--------|--------|------|--------|
|                          | Unidad              | %    | %      | %      | %      | %    | ppm    | ppm    | ppm  | ppm    |
|                          | Límite de detección | 0.01 | 0.01   | 0.01   | 0.01   | 0.01 | 1      | 1      | 50   | 1      |
|                          | Técnica             | INAA | TD-ICP | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP |
| <b>Fangos salinos</b>    |                     | 1,15 | 1,20   | 12,3   | 0,52   | 2,18 | 1080   | 409    | <50  | 19     |
| <b>Granitos internos</b> |                     | 2,26 | 0,18   | 0,21   | 2,66   | 1,13 | 93     | 278    | 340  | 10     |
|                          |                     | 2,08 | 0,12   | 0,28   | 2,64   | 1,03 | 162    | 264    | 480  | 8      |
|                          |                     | 3,89 | 0,43   | 1,10   | 1,33   | 2,29 | 169    | 663    | 260  | 29     |
|                          |                     | 2,22 | 0,04   | 0,32   | 2,83   | 0,76 | 69     | 161    | 180  | 6      |
|                          |                     | 2,80 | 0,03   | 0,21   | 3,06   | 0,72 | 35     | 141    | <50  | 4      |
| <b>Venilla de cuarzo</b> |                     | 0,2  | 0,06   | 0,08   | 0,37   | 0,87 | 55     | 84     | 560  | 73     |
| <b>lava</b>              |                     | 1,95 | 0,08   | 0,36   | 2,24   | 1,1  | 167    | 188    | 780  | 31     |
| <b>Granito externo</b>   |                     | 2,42 | 0,07   | 0,08   | 4,47   | 0,82 | 62     | 249    | 560  | 8      |

Cuadro 59. Salina San Máximo, resultados analíticos de cationes de los fangos salinos y rocas, expresados en porcentaje o partes por millón. INAA: activación neutrónica, TD-ICP: digestión total-plasma acoplado por inducción.



Mapa 16. **Sector 3**, Salina Gestau. Ubicación de puntos de muestreo.

## Salina Gestau

Salina en producción ubicada en la Sección XV, Fracción D, Lote 22. Se accede a ella por la ruta 107 partiendo desde la localidad de Puelches hacia el sur. Desde la Ruta Provincial 30, se continúa 12 km, se dobla hacia el oeste y se ingresa a un camino vecinal que se recorre por 5 km; se dobla hacia el sur para encontrar el acceso a la salina (mapa 16).



Figura 154. Salina Gestau, vista general de la laguna y su entorno.

Tiene forma ovoide con una superficie aproximada de 18 Km<sup>2</sup>, de los cuales son explotables 9 km<sup>2</sup>, con sectores de playa que varían en tamaño según el aporte de agua.

La observación de las imágenes satelitales, sugiere que la cuenca se dispone en la apertura de una falla de inflexión, generada por los lineamientos N50O que controlan la región. Como en el caso de la salina San Máximo, el bajo está labrado sobre sedimentitas de la formación Río Negro que fueron erosionándose hasta dejar al descubierto el granito rosado de la Formación Zúñiga (Pérmico superior) que cubre el piso de la salina (Espejo y Silva Nieto, op.cit). Por su parte la Formación Río Negro queda relegada a escarpas

alrededor de la laguna. Hacia el suroeste de la salina se destacan lomadas de ignimbritas de la Formación Choique Mahuida, mientras que el resto del contorno, está cubierto por depósitos coluviales de edad holocena. Completan el ambiente geológico los conglomerados de la Formación Tehuelche (Plioceno-Pleistoceno) en el sector noroeste y las sedimentos de la Formación Puesto Ali (Plioceno superior) por el este-sureste.

El muestreo fue realizado el 21-12-2016, en 3 pozos cavados a pala (M1-16, M2-16 y M3-16), cuyas ubicaciones se pueden ver en el mapa 16, y sus geo-referencias y características en el cuadro 60.

En todos los casos se obtuvieron salmueras intraporales y profundas, registrándose sus pH, color, olor y aspecto; también se colectaron sales y sedimentos.

| Fecha      | Denominación específica del lugar | Tipo de trabajo | Tipo de material recolectado | Nombre de la Muestra | Latitud       | Longitud      |
|------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| 21/12/2016 | salina Gestau                     | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M1-16                | 38°31'14.05"S | 65°50'45.01"O |
| 21/12/2016 | salina Gestau                     | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M2-16                | 38°31'39.27"S | 65°50'49.66"O |
| 21/12/2016 | salina Gestau                     | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M3-16                | 38°31'06.07"S | 65°49'57.72"O |

Cuadro 60. Salina Gestau, geo-referencias de las muestras.



Figura 155. Salina Gestau, imagen de la costra salina y su entorno el 21-12-2016.



Figura 156. Salina Gestau, sectores con agua en la superficie el 21-12-2016.

La costra blanca superficial estaba aún en formación con la presencia de salmuera de color rosa intenso. En las áreas en crecimiento el avance se observaba como agregados circulares de hasta 5 cm de diámetro o grumos de 1 cm (figura 157).



Figura 157. Salina Gestau, vista de la costra superficial temporaria en formación.

En los pozos realizados en el interior de la salina se pudo observar que la costra superficial tenía 10 cm de potencia y era subyacente, por fangos negros, saturados en agua, constituidos por limos y arcillas salinas, hasta por lo menos 80 cm de profundidad (figura 158).

En el perfil generalizado de la figura 161, se describen las estructuras sedimentarias, los minerales hallados (de mayor a menor proporción) y sus texturas.



Figura 158. Salina Gestau, pozo cavado en el punto M3-16.

A las salmueras recolectadas, se les realizó in situ, una descripción del aspecto general. En el cuadro 61 se detallan las observaciones.

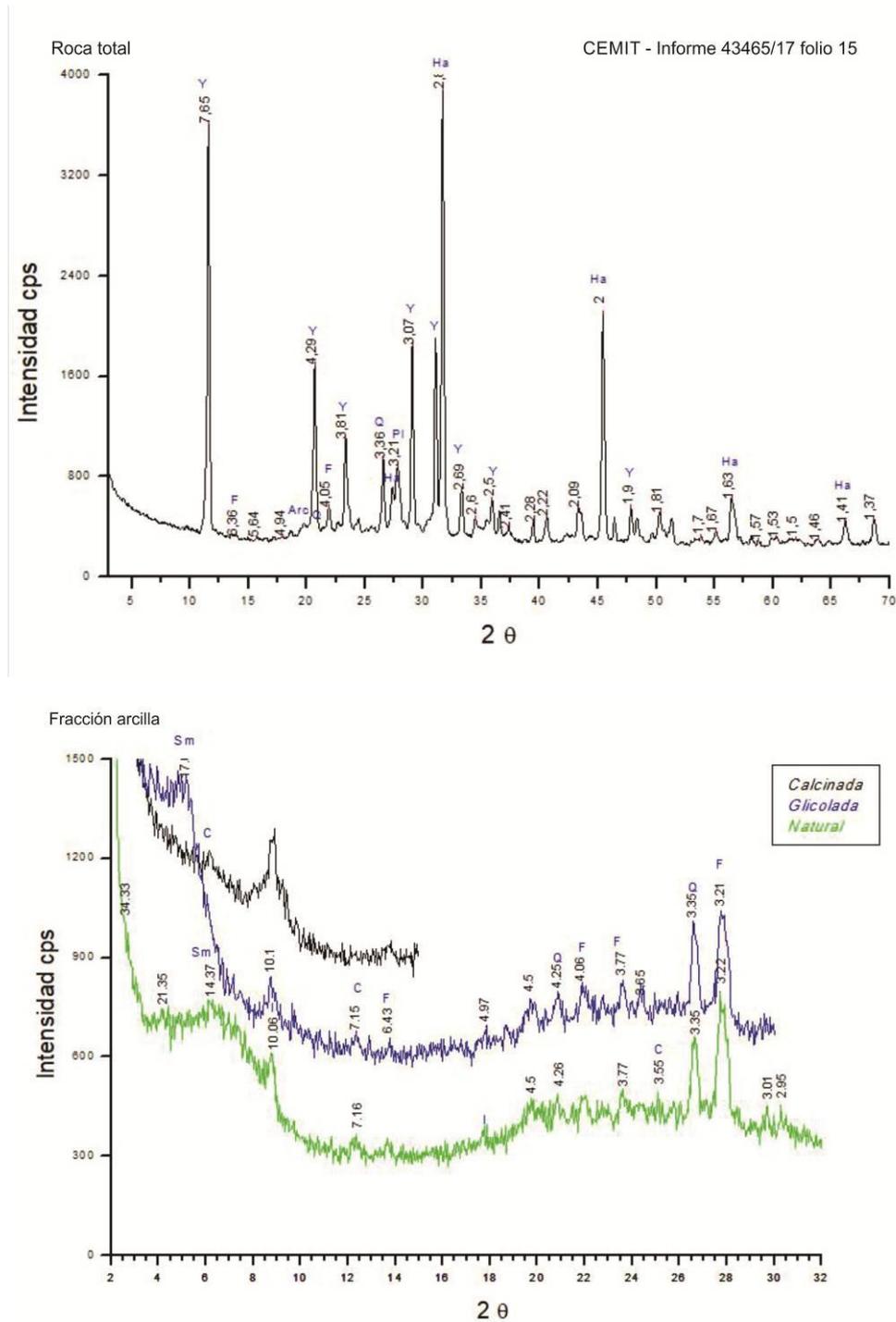
\*El color corresponde a la salmuera luego del precipitado natural de los sedimentos.

| Número   | Muestra               | Extraída de                         | Color              | Olor    | Aspecto     | ph campo               |
|----------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------|---------|-------------|------------------------|
| M1bis-16 | <b>Salmuera negra</b> | Por debajo de la costra superficial | beige rojizo claro | fétido  | translúcido | 6<br>(temperatura 20°) |
| M2-16    | <b>salmuera</b>       | Intraporal a la costra superficial  | rosa intenso       | inodoro | translúcido |                        |
| M3bis-16 | <b>Salmuera negra</b> | Por debajo de la costra superficial | beige rojizo claro | fétido  | translúcido |                        |

Cuadro 61. Salina Gestau, observaciones en campo de las salmueras muestreadas.

Los fangos obtenidos, fueron estudiados, con la técnica de Difractometría de Rayos X, que determinó una composición de material clástico de 20% constituido por 4% de cuarzo, 15 % de plagioclasa y 1% de arcillas. El 80% restante lo constituyen las sales: 34% de halita, 46% de yeso.

Las arcillas son del tipo esmectita, clorita e illita, con escasas impurezas de cuarzo y feldespato (figuras 159 y 160).



Figuras 159 y 160. Salina Gestau, difractograma de Rayos X en fango salinos.

### Salina Gestau: perfil litológico

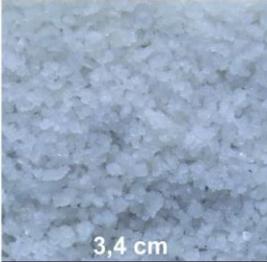
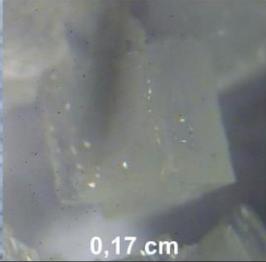
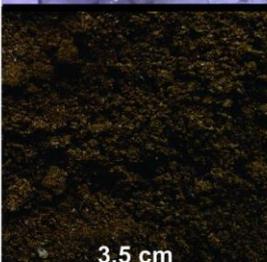
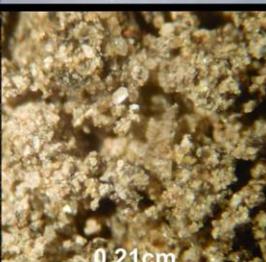
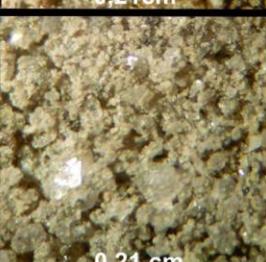
|                           | Material suelto - seco<br>a ojo desnudo | Observación<br>con lupa binocular   | Espesor<br>Profundidad              | Descripción con lupa,<br>a grano suelto y DRX                                       |         |                |  |
|---------------------------|---|---|-------------------------------------|---|---------|----------------|--|
| Costra salina superficial | Costra blanca                           |    | 3,4 cm                              |    | 0,17 cm | 3 cm           | Estructura laminar compacta, con crecimiento en patrón circular de halita en cristales translúcidos blanquecinos de tamaño hasta 0,3 cm y formas cúbica masiva.<br>Muy buena capacidad portante.                 |
|                           | Costra rosa                             |    | 3,7 cm                              |    | 0,55 cm | 7 cm           | Estructura laminar compacta de halita en cristales translúcidos de tamaño hasta 1,5 cm, con formas cúbica masiva, pirámide hopper y chevron.   |
| Fangos pútridos           |   |   | <b>Materiales saturados en agua</b> |   |         |                |  |
|                           | Estrato A<br>Limo salino                |   | 3,5 cm                              |   | 0,21 cm | 60 cm          | ↓<br>Limo color pardo oscuro en capas muy compactadas, con laminación paralela.<br>-Composición del limo: pasta volcánica, vidrio, líticos de basalto y granito, cuarzo y plagioclasa.                           |
|                           | Estrato B<br>Arcilla salina             |  | 2,9 cm                              |  | 0,21 cm | 20 cm (mínimo) | Cristales transparentes de sulfato de Ca y Mg en tamaños hasta 0,2 cm, halita en masas irregulares, yeso tabular, en tamaños no mayor a 0,05 cm.<br>Hacia abajo aumenta la cantidad de yeso acicular-prismático. |
|                           |   |   |                                     |   |         | 80 cm          |  |

Figura 161. Salina Gestau, perfil litológico generalizado.

Nota: el valor en cm, en la parte inferior de cada foto, corresponde a la base de la misma.

En la observación a la lupa binocular y al microscopio con la técnica de grano suelto, se observaron fragmentos líticos de basalto, pasta volcánica y vidrio.

En la preparación para DRX, las muestras se pulverizan, por tanto el porcentaje de las plagioclasas identificadas mediante DRX, corresponde a la suma de los cristales sueltos en el sedimento, más aquellos liberados de los

líticos pulverizados. El vidrio sin alterar, se corresponde con el aumento del fondo en el difractograma, y el vidrio alterado de la pasta volcánica y fragmentos líticos se corresponde con las esmectitas identificadas.

Imágenes de los componentes del limo salino al microscopio con técnica de grano suelto.

Referencias:

**Np**: Nícoles paralelos; **Nx**: Nícoles cruzados

**PI**: plagioclasa; **Pv**: pasta volcánica; **L**: fragmento lítico; **Y**: yeso

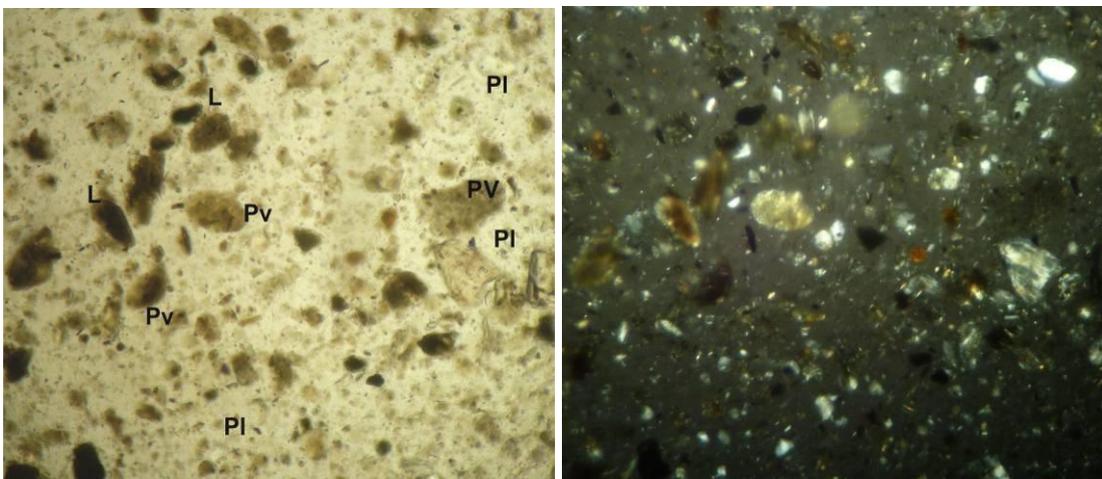


Figura 162. Salina Gestau, fotos de grano suelto al microscopio, Izq: Np; Der: Nx, (base de cada imagen 0,19 cm).

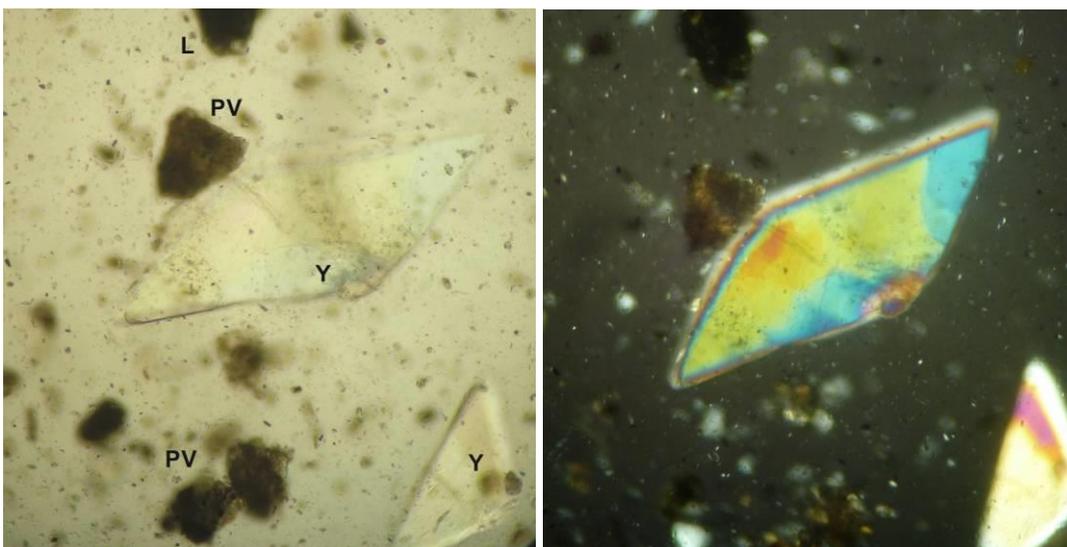


Figura 163. Salina Gestau, fotos de grano suelto al microscopio, Izq: Np; Der: Nx, (base de cada imagen 0,16 cm).



Figura 164. Salina Gestau, observación a lupa binocular (base de la imagen 0,35 cm).

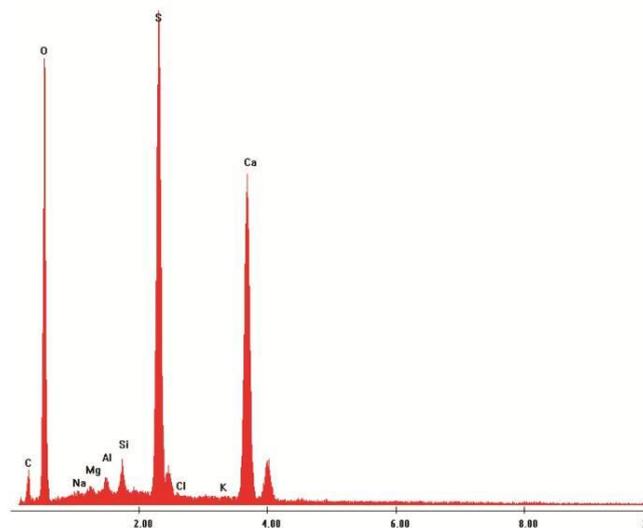
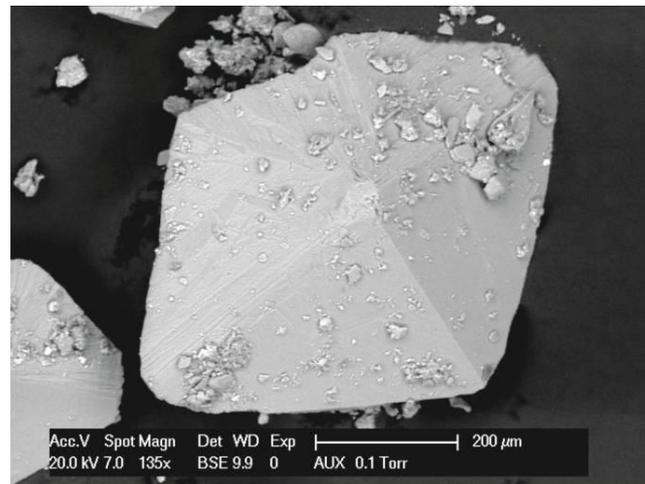


Figura 165. Salina Gestau, cristal de yeso con trazas de Si, Al, Mg, Na y K, imagen de microscopio electrónico.

### Análisis químicos y caracterización de salmueras, costras y sedimentos

Los análisis químicos de las salmueras y costras obtenidas en los pozos se realizaron en el laboratorio Alex Stewart S.A. y se resumen en los cuadros 62, 63 y 64.

Las salmueras tienen alta concentración de sodio ( $\text{Na}^+$ , entre 96 y 103 g/l) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ , entre 11 y 16 g/l), con una cantidad moderada de potasio ( $\text{K}^+$  entre 2 y 3,6 g/l). Con respecto al litio, no se registró en estas salmueras.

En la figura 166 se observa la relación porcentual de cada catión.

Con respecto a los aniones, se destaca la alta concentración de cloruro ( $\text{Cl}^-$ , entre 186 y 189 g/l) acompañado por poca concentración de sulfato ( $\text{SO}_4^{=}$ , entre 4,6 y 5,1 g/l). Si bien para el presente informe no se han realizado análisis para otros aniones, se tomó (por analogía con las salinas del área y la mineralogía presente) una cantidad de  $\text{HCO}_3^-$  equivalente al promedio de las dos salinas del mismo Sector ( $\text{HCO}_3^-$  500 mg/l) según información en la Hoja Geológica Puelches. De esta manera se pueden generar los gráficos con los mismos parámetros y compararlos posteriormente.

En la figura 167 se representa la relación porcentual de aniones.

| Tipo de muestra       | número / ubicación | Elemento            | B         | Ba         | Ca          | Fe         | K           | Li        | Mg           | Mn        | Na           | Sr        |
|-----------------------|--------------------|---------------------|-----------|------------|-------------|------------|-------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
|                       |                    | Unidad              | mg/L      | mg/L       | mg/L        | mg/L       | mg/L        | mg/L      | mg/L         | mg/L      | mg/L         | mg/L      |
|                       |                    | Técnica             | ICP-OES   | ICP-OES    | ICP-OES     | ICP-OES    | ICP-OES     | ICP-OES   | ICP-OES      | ICP-OES   | ICP-OES      | ICP-OES   |
|                       |                    | Límite de detección | 1         | 0,01       | 2           | 0,3        | 2           | 1         | 1            | 0,01      | 2            | 0,5       |
| <b>Salmuera negra</b> | M1bis-16           |                     | 12        | 0,84       | 1462        | 4,8        | 2571        | <10       | 11569        | 19,54     | 99306        | 83,9      |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M2-16              |                     | 18        | 0,81       | 1320        | 4,5        | 3597        | <10       | 15763        | 5,94      | 96661        | 114       |
| <b>Salmuera negra</b> | M3bis-16           |                     | 11        | 0,69       | 1391        | 3,8        | 2182        | <10       | 11376        | 6,73      | 102969       | 72,7      |
| <b>Promedio</b>       |                    |                     | <b>14</b> | <b>0,8</b> | <b>1391</b> | <b>4,4</b> | <b>2783</b> | <b>--</b> | <b>12903</b> | <b>11</b> | <b>99645</b> | <b>90</b> |

Cuadro 62. Salina Gestau, resultados analíticos de cationes en salmueras, expresados en miligramos/litro. Ubicación de sitios de muestreo en el mapa 16 .

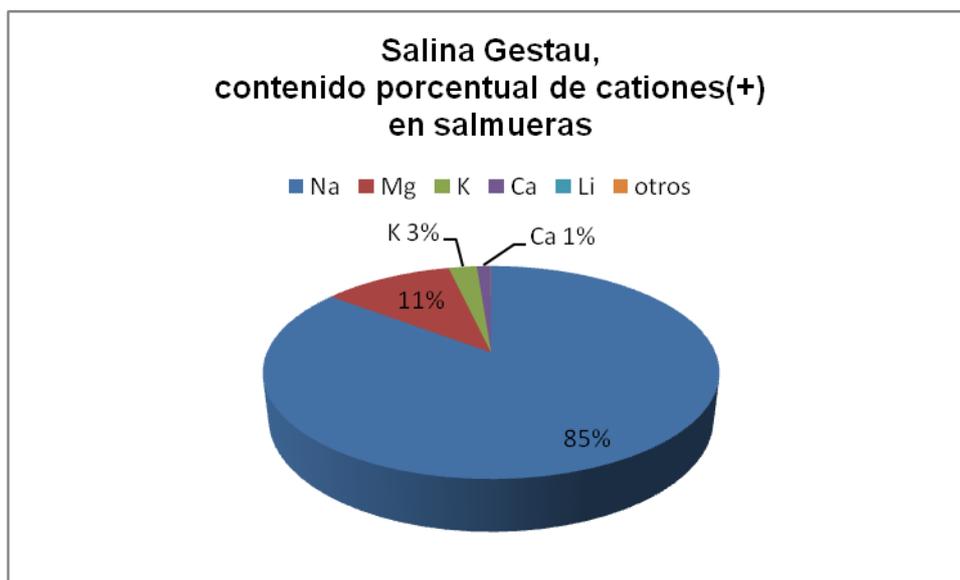


Figura 166. Salina Gestau, contenido porcentual de cationes en salmueras.

| Tipo de Muestra | número / ubicación | Det. | Sulfatos SO <sub>4</sub> = | Cloruros Cl-  | pH    | Conduct. | Sólidos disueltos totales (secados a 180°) | Sólidos totales (secados a 103°) |
|-----------------|--------------------|------|----------------------------|---------------|-------|----------|--|----------------------------------|
|                 |                    | U    | mg/l                       | mg/L          | de pH | µS/cm    | mg/L                                       | mg/L                             |
|                 |                    | T    | Volum                      | Volum         | ISE   | Instrum  | Grav.                                      | Grav.                            |
|                 |                    | LD   | 5                          | 5             | 0,1   | 5        | 10   | 10                               |
| Salmuera negra  | M1bis-16           |      | 4840                       | 188863        | 6,3   | 236000   | 326920                                     | 367540                           |
| Salmuera rosa   | M2-16              |      | 5104                       | 188863        | 6,5   | 227800   | 327000                                     | 390640                           |
| Salmuera negra  | M3bis-16           |      | 4626                       | 186240        | 6,3   | 234400   | 326160                                     | 382880                           |
| <b>Promedio</b> |                    |      | <b>4857</b>                | <b>187992</b> |       |          |  |                                  |

Cuadro 63. Salina Gestau, resultados analíticos de aniones en salmueras, expresados en miligramos/litro, (U= unidades; T= técnica; LD= límite de detección inferior).

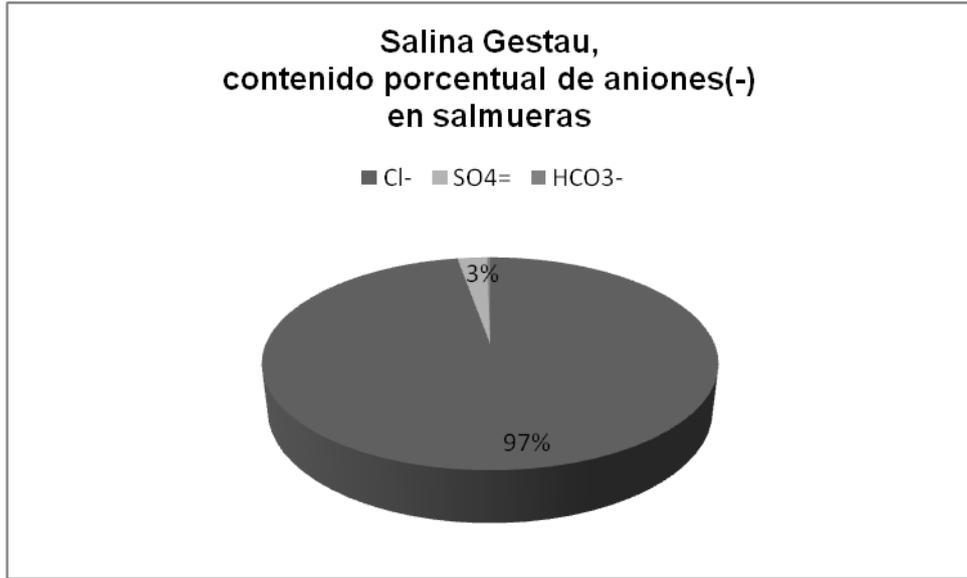


Figura 167. Salina Gestau, contenido porcentual de aniones en salmueras.

En un esquema comparativo entre las tres muestras estudiadas, se observa que la composición iónica es semejante pero se observa que la concentración de la muestra de agua intraporar contiene menos Na<sup>+</sup> que las muestras de salmuera negra y mayor concentración de Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> y SO<sub>4</sub><sup>=</sup> (figura 168). Esto es consecuencia del proceso de precipitación de ClNa.

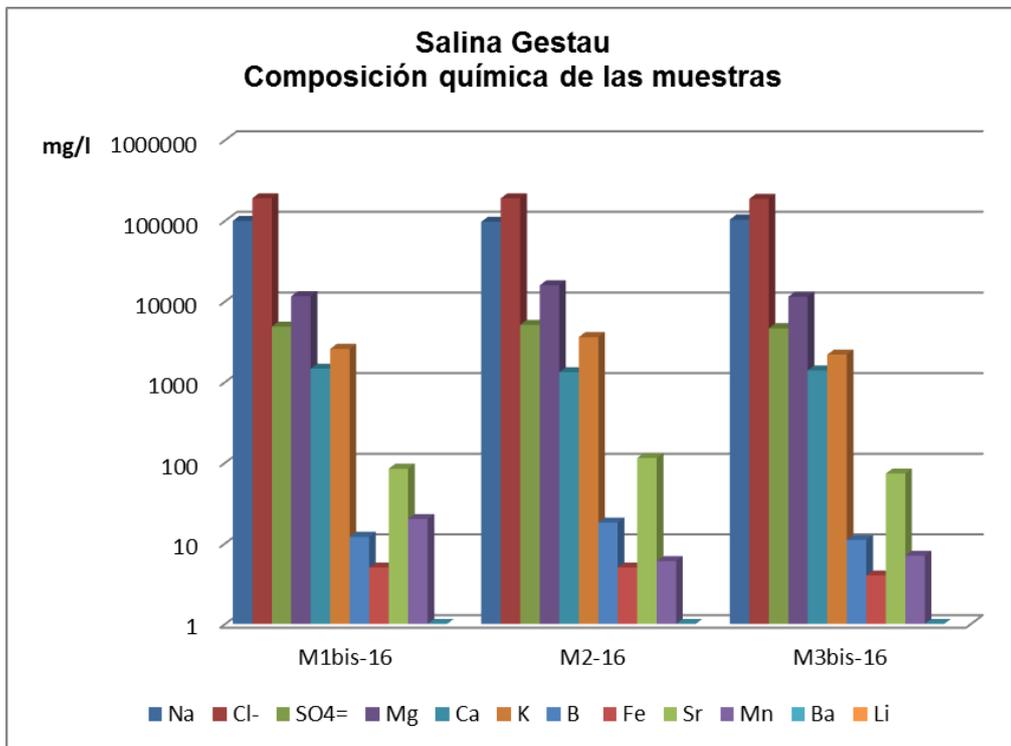


Figura 168. Salina Gestau, composición química de las muestras de salmueras.

Sobre la composición de las costras salinas, se puede ver en el cuadro 64 que tanto en la costra temporaria (superficial), como en la composición mineral de los fangos, (costra subácuea), el catión principal es el  $\text{Na}^+$ , acompañado de muy poca cantidad de  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ . (en total 2%) (figuras 169 y 170).

Esto está acorde con lo observado en la lupa binocular y al ME. En la costra superficial sólo se hallaron cristales de halita probablemente con trazas de  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  mientras que en los fangos salinos se observaron halita y yeso con trazas de Mg y otros cationes.

| Tipo de muestra | número / ubicación | Elemento            | B        | Ba       | Ca       | Fe       | K        | Li       | Mg       | Mn       | Na       | Sr       |
|-----------------|--------------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                 |                    | Unidad              | mg/kg MS |
|                 |                    | Técnica             | ICP-OES  |
|                 |                    | Límite de detección | 50       | 0,01     | 2        | 0,3      | 2        | 50       | 1        | 0,01     | 1        | 0,5      |
| <b>Costra</b>   | superficial        |                     | <50      | 0,64     | 4115     | 133,5    | 920      | <50      | 2897     | 6,72     | 347982   | 74,3     |
| <b>Costra</b>   | Sub-ácuea          |                     | <50      | 2,98     | 1951     | 25,5     | 890      | <50      | 2656     | 12,03    | 269241   | 34       |

Cuadro 64. Salina Gestau, resultados analíticos de cationes en costras salinas, (expresados en miligramos/kilogramo).

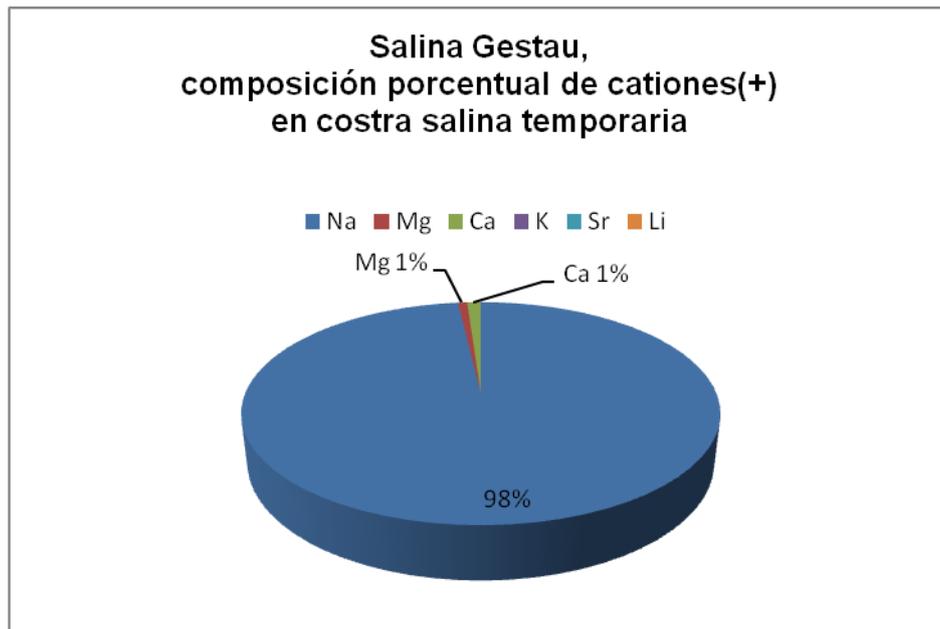


Figura 169. Salina Gestau, composición porcentual de cationes en costra temporaria.



Figura 170. Salina Gestau, composición porcentual de cationes en costra permanente.

Los análisis químicos provistos por el laboratorio Actlabs, corresponden a muestras del material clástico de los fangos salinos y de rocas que rodean a la salina (cuadro 65).

|                        | Elemento            | Na   | Mg     | Ca     | K      | Fe   | Sr     | Mn     | Ba   | Li     |
|------------------------|---------------------|------|--------|--------|--------|------|--------|--------|------|--------|
|                        | Unidad              | %    | %      | %      | %      | %    | ppm    | ppm    | ppm  | ppm    |
|                        | Límite de detección | 0,01 | 0,01   | 0,01   | 0,01   | 0,01 | 1      | 1      | 50   | 1      |
|                        | Técnica             | INAA | TD-ICP | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP |
| <b>Fangos salinos</b>  |                     | 1,72 | 1,16   | 9,17   | 0,79   | 2,99 | 418    | 599    | 280  | 19     |
| <b>Granito piso</b>    |                     | 2,66 | 0,04   | 0,14   | 4,95   | 0,89 | 77     | 276    | <50  | 4      |
| <b>ignimbritas</b>     |                     | 2,82 | 0,45   | 1,27   | 5,02   | 2,2  | 247    | 695    | 1140 | 32     |
|                        |                     | 2,89 | 0,33   | 0,93   | 5,12   | 2,02 | 235    | 520    | 1240 | 23     |
|                        |                     | 2,49 | 0,26   | 0,75   | 4,02   | 1,19 | 121    | 558    | 1050 | 25     |
| <b>Granito externo</b> |                     | 2,94 | 0,05   | 0,29   | 4,33   | 0,49 | 28     | 331    | <50  | 14     |

Cuadro 65. Salina Gestau, resultados analíticos de cationes de los fangos salinos y rocas, expresados en porcentaje o partes por millón. INAA: activación neutrónica, TD-ICP: digestión total-plasma acoplado por inducción.

### Análisis de los datos químicos obtenidos en el Sector 3

Para la interpretación de los valores químicos de las salmueras recolectadas en las salinas del Sector 3, se utilizó la información provista por el laboratorio Alex Stewart S.A., calculando los valores promedio en cada cuerpo (cuadro 66). Además se realizó un gráfico comparativo entre salinas, con los valores de cationes y aniones absolutos acumulados, con el fin de diferenciar gráficamente la carga iónica total (figura 171).

| Locación   | mg/l | Na     | Cl-    | SO4=  | Mg    | Ca   | K    | B   | Fe | Sr | Mn | Ba | Li |
|------------|------|--------|--------|-------|-------|------|------|-----|----|----|----|----|----|
| La Amarga  |      | 102390 | 177621 | 57596 | 18581 | 131  | 5079 | 206 | 3  | 5  | 1  |    | 30 |
| San Máximo |      | 80699  | 193584 | 28362 | 23455 | 292  | 4178 | 42  | 5  | 17 | 2  | 0  | 16 |
| Gestau     |      | 99645  | 187992 | 4857  | 12903 | 1391 | 2783 | 14  | 4  | 90 | 11 | 1  | -- |

Cuadro 66. Sector 3, valores promedio de cationes y aniones en salmueras.

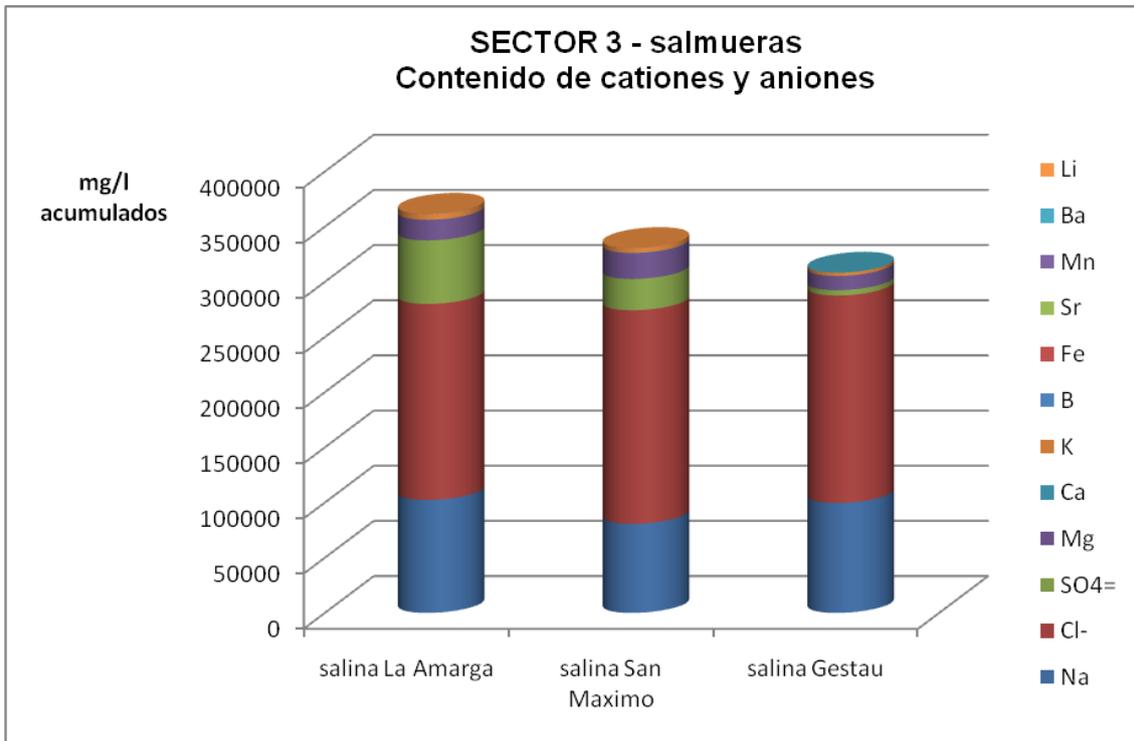


Figura 171. Sector 3, esquema comparativo de valores químicos en salmueras.

Con respecto al  $\text{Li}^+$ , este catión se identificó en la salina La Amarga con valores próximos a 40 ppm y en la salina San Máximo con valores próximos a 20 ppm. En ambos casos, los valores no alcanzan el valor mínimo habitualmente considerado de interés prospectivo (80-100 ppm o mg/l).

Las salmueras estudiadas en todos los casos están formadas casi exclusivamente por  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ .

En el análisis comparado de carga iónica de las salmueras del Sector 3, se puede resaltar que las tres salinas tienen concentración de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  relativamente semejantes. Estos cationes son potencialmente formadores de sal gema y en las salinas San Máximo y Gestau se hace evidente con sus capacidades de producción. Esto permite suponer por analogía, que la salina La Amarga podría lograr una importante producción de  $\text{NaCl}$ .

El contenido de  $\text{SO}_4^{=}$  es mínimo en Gestau (5 g/l) mientras en San Máximo se sextuplica ese mismo valor (aprox. 30 g/l) y en La Amarga es 12 veces mayor (58 g/l). En el caso de contenido de Mg es mayor en San Máximo (23 g/l), luego le continúa La Amarga y Gestau con 18 y 13 g/l respectivamente; en los tres casos con valores altos. Altas disponibilidades y variaciones en la solubilidad provocarán la precipitación de  $\text{NaMgSO}_4^{=}$  tal como hemos observado en las costras salinas temporarias de La Amarga y Salina San Máximo.

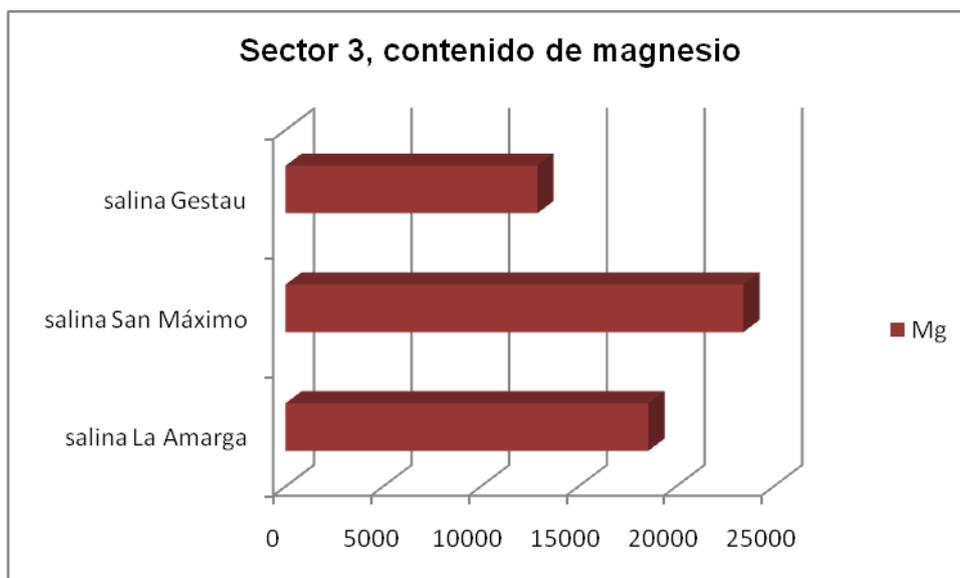


Figura 172. Sector 3, detalle del contenido de magnesio y potasio.

El potasio, por otro lado, se presenta con valores levemente elevados pero sin interés económico.

Si se evalúan las diferencias entre muestras de un mismo cuerpo, las salinas del sector tienen, a prima facie, una constitución química semejante en casi toda su extensión, esto es un indicativo muy bueno en especial para la salina La Amarga que es un cuerpo de gran tamaño.

Para la interpretación de los valores químicos de las costras, se utilizó la información del laboratorio Alex Stewart S.A, diferenciando costra salina temporaria (superficial) y costra salina permanente (costras y minerales en fangos subácueos). Luego se trataron con esquemas comparativos

| Locación          | Tipo de costra    | Na                   | Mg   | Ca   | K    | Sr |
|-------------------|-------------------|----------------------|------|------|------|----|
|                   |                   | miligramos/kilogramo |      |      |      |    |
| salina La Amarga  | costra temporaria | 359603               | 3864 | 891  | 1524 | 26 |
| salina San Máximo | costra temporaria | 327337               | 6802 | 3147 | 1635 | 55 |
| salina Gestau     | costra temporaria | 347982               | 2897 | 4115 | 920  | 74 |

Cuadro 67. Sector 3, resumen de composición química de costras salinas.

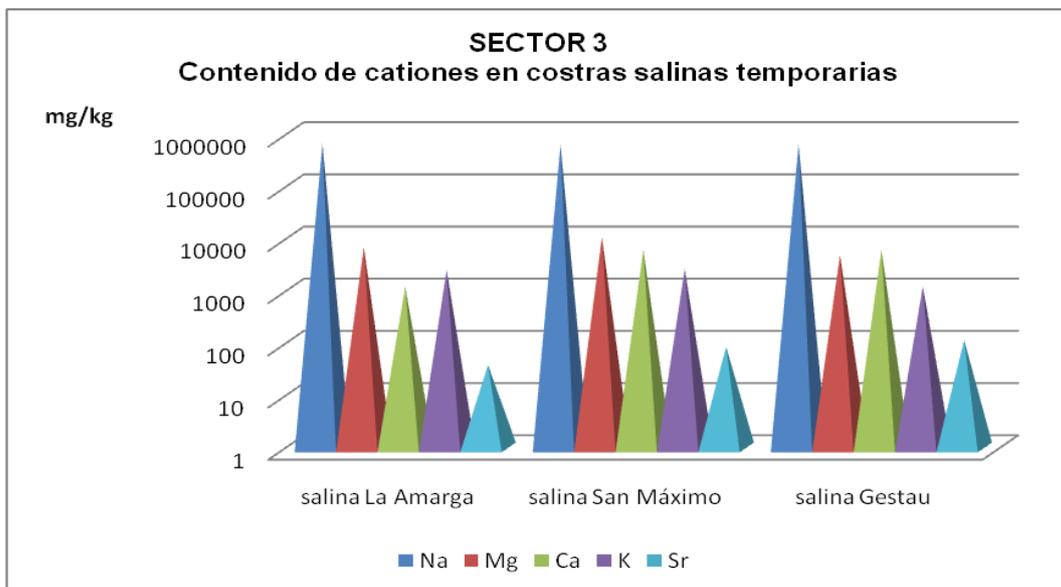


Figura 173. Sector 3, esquema comparativo entre costras temporarias.

Las tres costras superficiales (temporarias) son de similares características, fundamentalmente formadas por halita con sulfatos de Na, Mg o calcio en mayor o menor proporción. Las concentraciones de  $\text{Na}^+$ , muy similares (entre 330 y 360 g/k) en el caso del  $\text{Mg}^{2+}$ , San Máximo duplica la cantidad (6,8 g/k) con respecto a Gestau y La Amarga (entre 2,8 y 3,8 g/k respectivamente). La concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  por otro lado, es entre 3 y 4 g/k en Gestau y San Máximo siendo menor a 1 en La Amarga. Estos cationes se combinan con  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{=}$ ,

Los minerales evaporíticos que integran todos los fangos salinos del Sector son: halita, yeso, glauberita y sulfatos compuestos de Ca. Cationes como el estroncio u otros con menor concentración, conforman trazas en el resto de los minerales. En ningún caso se detectó  $\text{Li}^+$  en las costras salinas de los 3 cuerpos, aunque existe baja concentración en las salmueras de dos de ellos.

Se realizó la medición de contenido de Li del material clástico de los fangos salinos, con el fin de conocer el contenido total en los cuerpos estudiados o en sus alrededores y tener una mejor comprensión de la disponibilidad potencial de este elemento, en caso de meteorización de los minerales que lo portan.

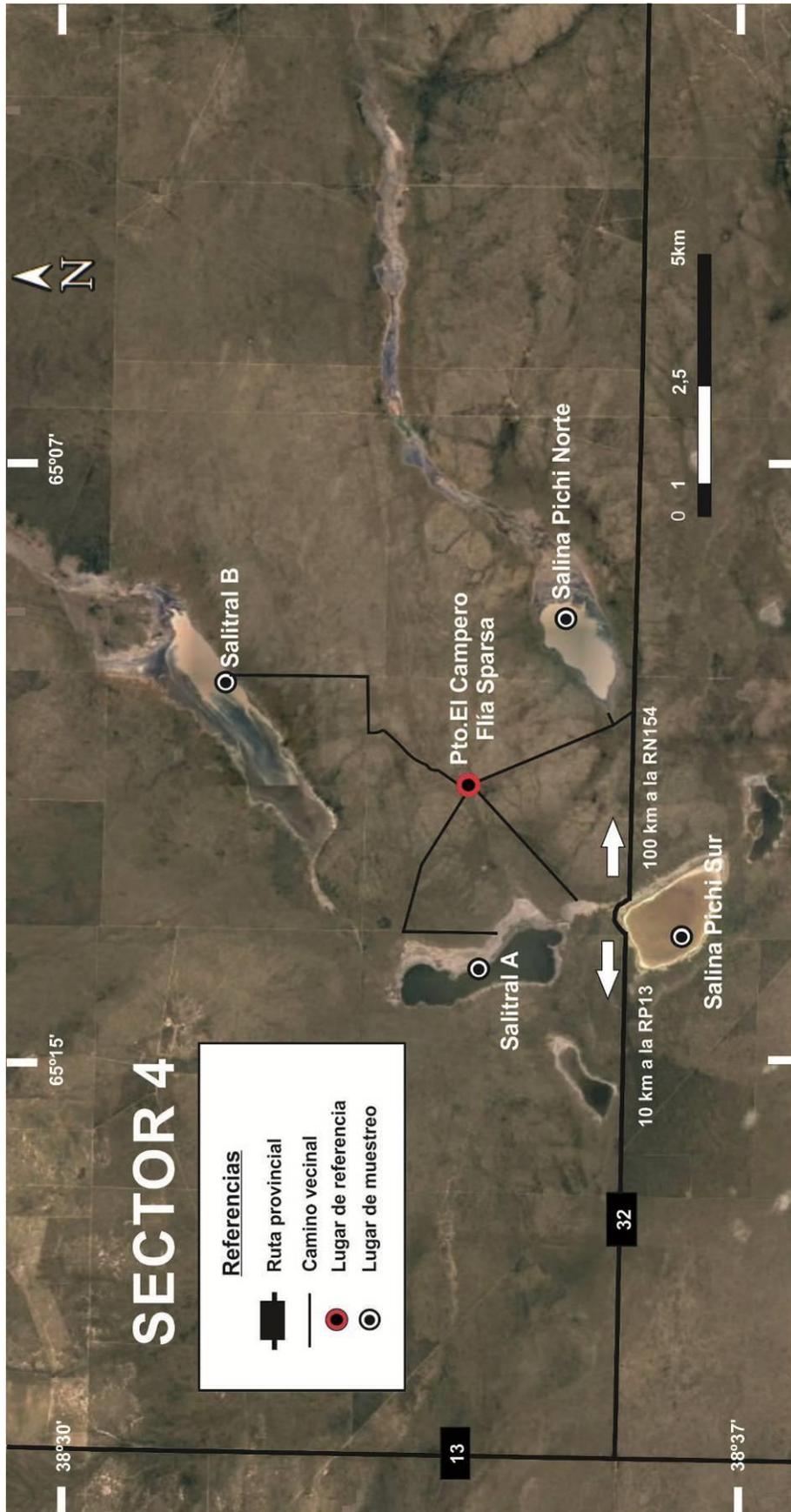
| Cuerpos del Sector 3 | Contenido promedio de Li en sedimentos y rocas (ppm) | Rango |
|----------------------|--|-------|
| Salina La Amarga     | 25   | 8-96  |
| Salina San Máximo    | 21   | 6-73  |
| Salina Gestau        | 20   | 4-32  |

Cuadro 68. Sector 3, resumen de valores de Li en sedimentos y rocas, expresados en partes por millón.

El contenido de Li registrado es de entre 4 y 96 ppm. Este rango de variación es coincidente con los valores de rocas de varios sectores de la Tierra que son similares a las que rodean a las salinas (graníticas, riolíticas y

andesíticas) según la base de datos GEOROC: <http://georoc.mpch-mainz.gwdg.de/georoc/Start.asp>)

A partir de los valores obtenidos se concluye que los mismos no representan interés ya que incluso en el caso hipotético (poco probable) de que esté todo disponible, los mismos no llegan a constituir una anomalía significativa.



Mapa 17. Sector 4. Ubicación de los lugares de muestreo.

## **SECTOR 4**

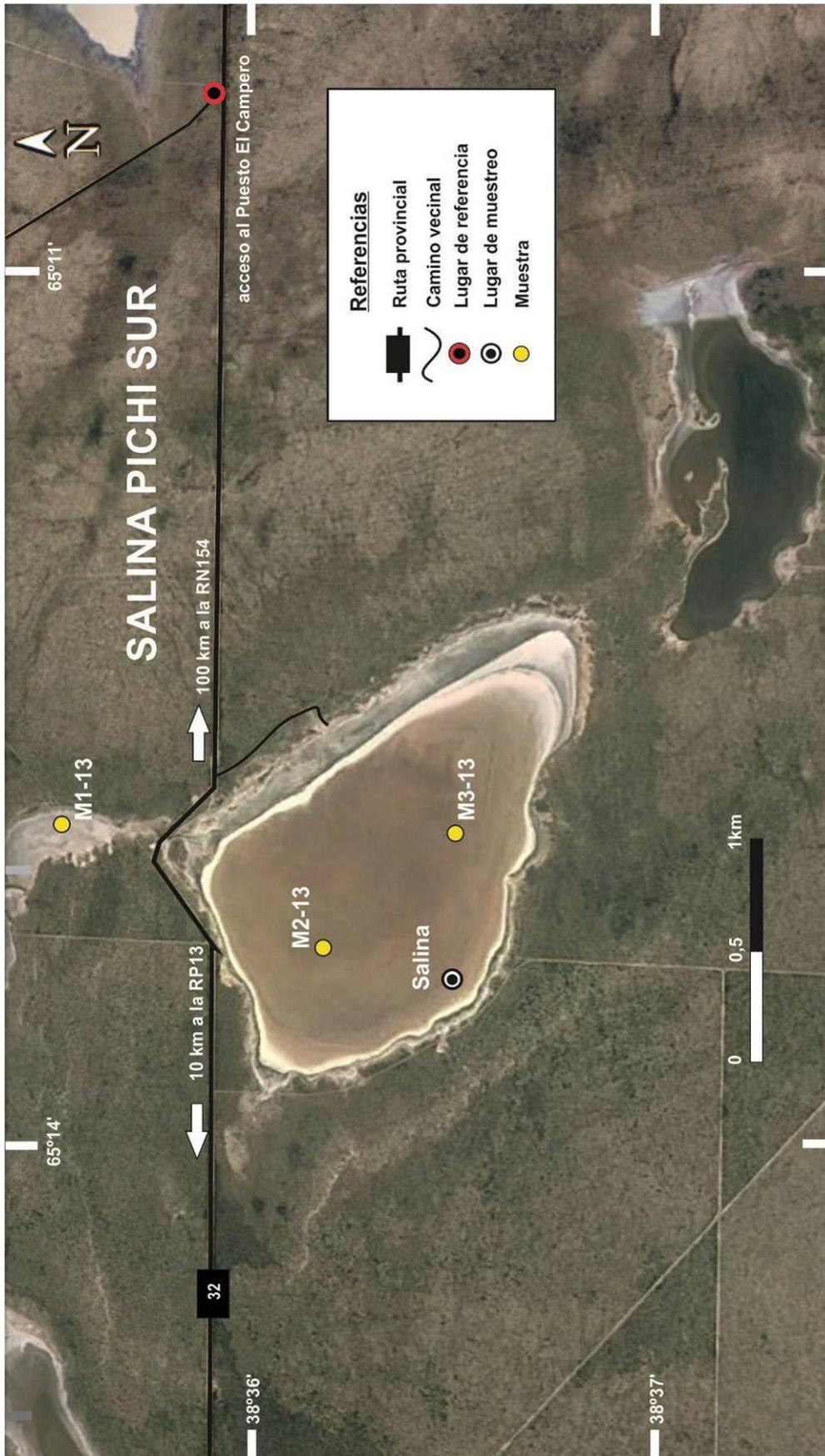
El Sector 4 está limitado por las coordenadas geográficas 38°23'S-65°17'O y 38°37'S-64°57'O, en el sur del Departamento Lihuel Calel, al este del Río Curacó.

Al área se accede por la Ruta Provincial 32, desde la Ruta Provincial 13 (a 10 km) o desde la Ruta Nacional 154 (a 100 km).

Son terrenos con fuerte control estructural evidenciados por la alineación de los afloramientos de la región, así como, por las trazas de los contornos de los bajos estudiados. Se hace mención a esto, en la Hoja Geológica Puelches (Espejo y Silva Nieto, 1996) en donde se infiere para la región una serie de lineamientos N50E-N50O.

El ambiente geológico está conformado por afloramientos del Grupo Choiyoi de edad permo-triásica y depósitos eólicos holocenos, que rodean a los bajos. Algo más alejado en el suroeste, se reconocen los conglomerados de la Fm Tehuelche.

De este sector se seleccionaron la salina Pichi sur, Pichi norte y sus salitrales encadenados.



Mapa 18, **Sector 4**, salina Pichi sur, ubicación de muestras.

## Salina Pichi Sur y salitrales encadenados

La salina Pichi sur se ubica sobre la Ruta Provincial 32 a unos 10 km hacia el este de la Ruta Provincial 13 (mapa 18).



Figura 174. Salina Pichi Sur, vista de la salina y su entorno el 18-3-2017.

Esta salina se encadena con dos salitrales denominados (para el presente estudio) salitral A y salitral B que se desarrollan hacia el norte (mapa 19).

Las disposiciones orientadas NO-SE y NE-SO de los ejes mayores de la salina Pichi Sur y sus encadenadas respectivamente, ponen de manifiesto el juego de lineamientos que controlan la región.

Los muestreos se realizaron del 17 al 20 de marzo de 2017 en 5 pozos cavados en costra y sedimentos (M1-13; M2-13, M3-13, M4-14, M5-13). En los mapas 18 y 19 se ubican las muestras y en el cuadro 69 se detallan sus geo-referencias y características.

En cada punto se tomaron muestras de salmueras a las que se les midió el pH a temperatura ambiente (25°C), se observó color, olor y aspecto. También se recolectaron muestras de costras, sales y sedimentos en los pozos hasta una profundidad (en donde fue posible) de 60 cm.

| Fecha      | Denominación específica del lugar | Tipo de trabajo | Tipo de material recolectado | Nombre de la Muestra | Latitud       | Longitud      |
|------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| 18/03/2017 | Pichi Sur                         | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M1-13                | 38°35'23.32"S | 65°12'54.46"O |
| 17/03/2017 | Pichi Sur                         | pozo cavado     | agua                         | M2-13                | 38°36'10.52"S | 65°13'18.63"O |
| 17/03/2017 | Pichi Sur                         | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M3-13                | 38°36'32.08"S | 65°12'55.65"O |
| 19/03/2017 | Salitral A                        | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M4-13                | 38°34'40.64"S | 65°13'27.92"O |
| 20/03/2017 | Salitral B                        | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M5-13                | 38°31'40.04"S | 65°09'55.02"O |

Cuadro 69. Salina Pichi Sur y encadenadas A y B, geo-referencias de las muestras.

La salina Pichi Sur tiene forma poligonal rectangular con playas poco desarrolladas en sus márgenes y una superficie estimada de 2,8 km<sup>2</sup>.

En áreas contiguas a la salina, en donde no se genera costra temporaria (ej. M1-13) los sedimentos están representados por arenas finas arcillosas salinas o limo salino (figura 175).



Figura 175. Salina Pichi Sur, perfil de sedimentos en M1-13.

Estos sedimentos fueron estudiados con la técnica de Difractometría de Rayos X, y se determinaron las siguientes composiciones.

Estrato A: 72% de material clástico, 28% de sales (figura 176).

Estrato B: 95% sales (figura 177).

Estrato C y D: 89% material clástico y 11% de sales (figura 178).

Se describen en el perfil litológico de la figura 179, los tipos de estructuras sedimentarias presentes y los componentes de los sedimentos con sus proporciones (de mayor a menor) y texturas.

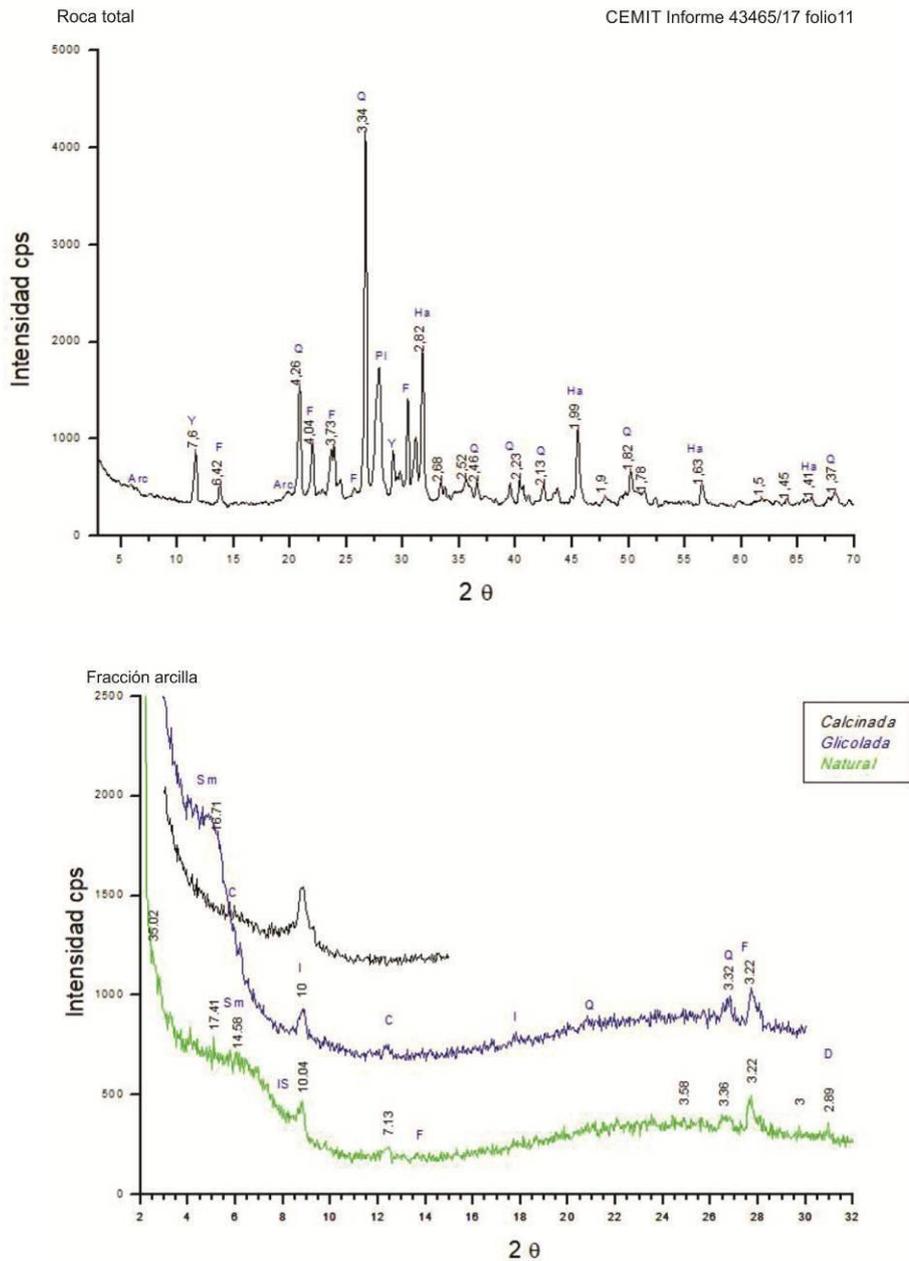


Figura 176. Salina Pichi Sur, difractogramas de Rayos X del Estrato A.

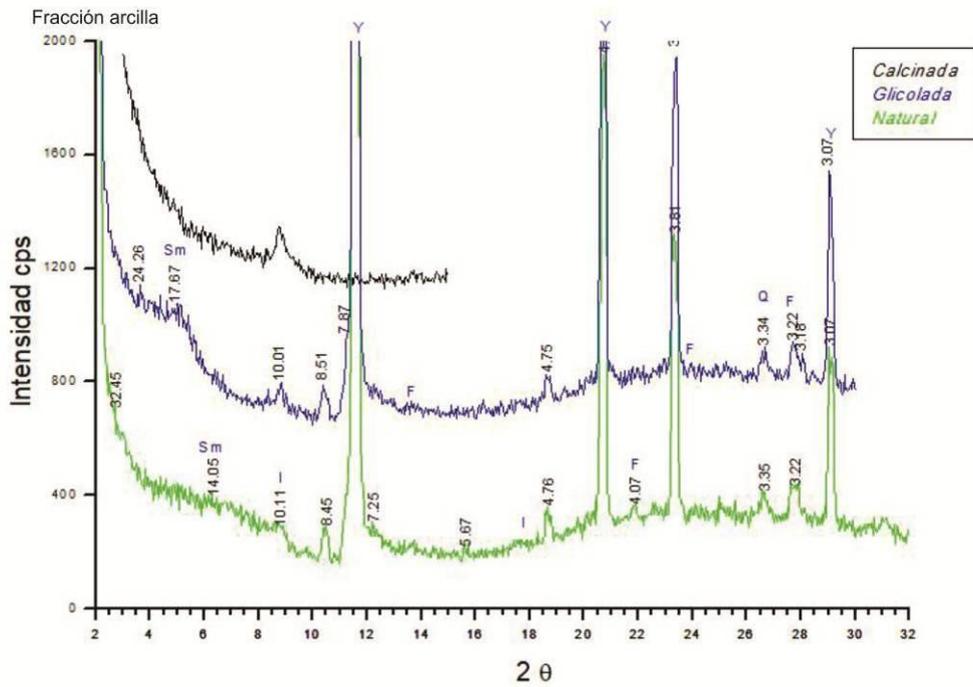
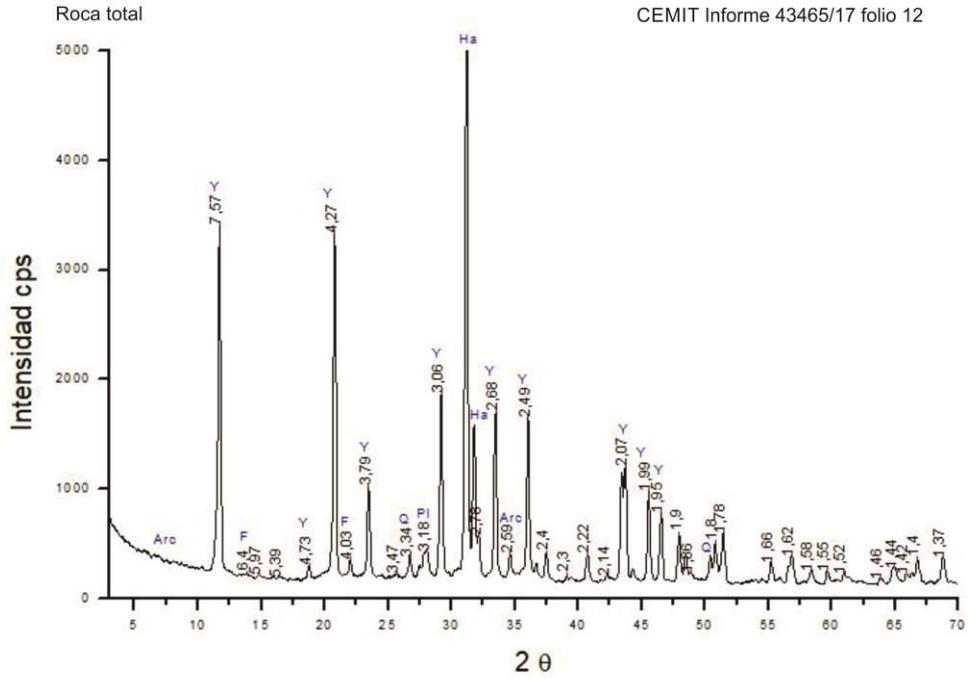


Figura 177. Salina Pichi Sur, difractogramas de Rayo X del Estrato B.

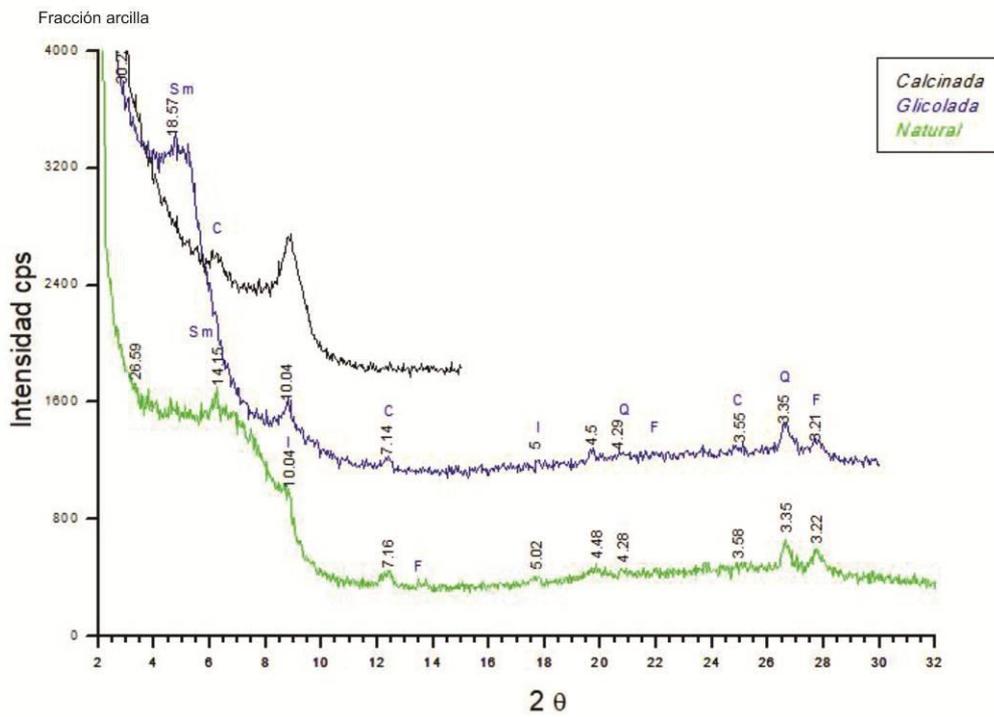
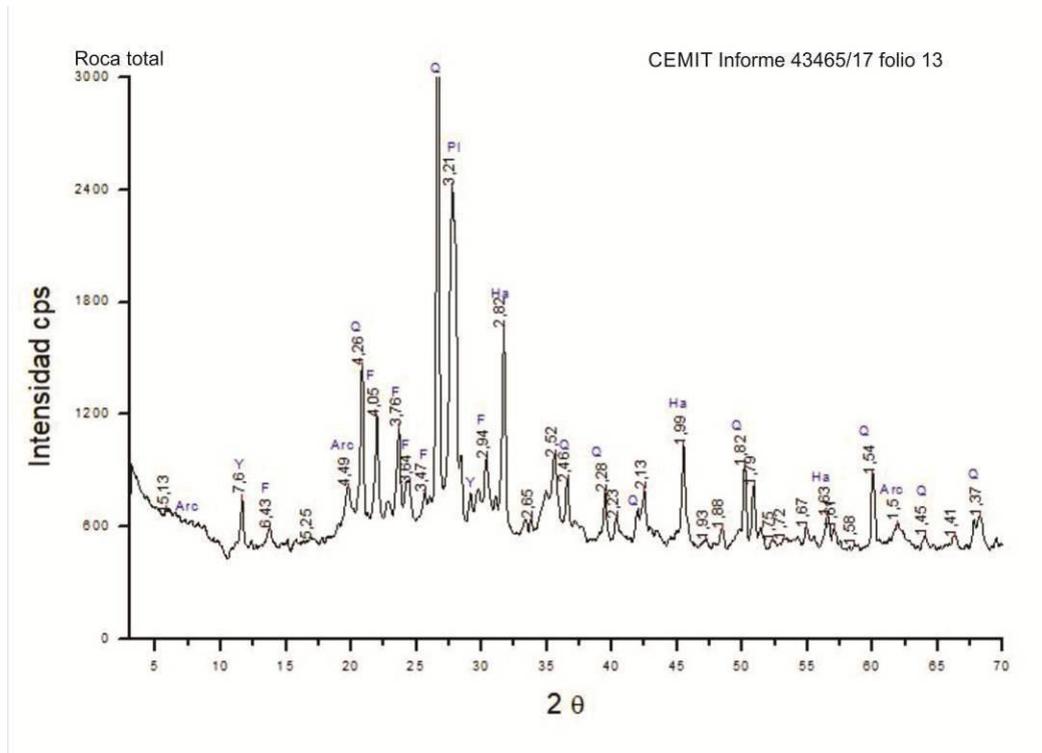


Figura 178. Salina Pichi Sur, difractograma de Rayos X de los Estrato C-D.

**Salina Pichi Sur: perfil litológico**

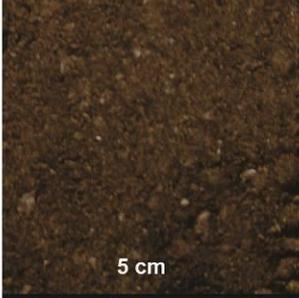
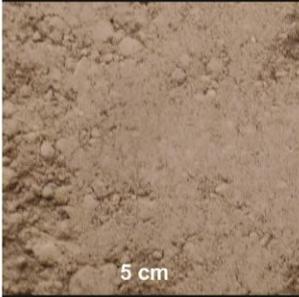
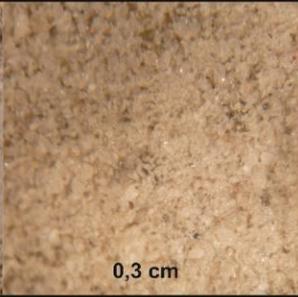
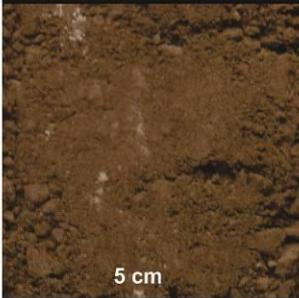
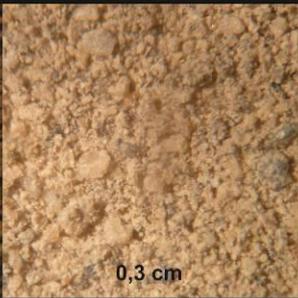
|   | Material suelto - seco a ojo desnudo  | Observación con lupa binocular  | Espesor Profundidad     | Descripción con lupa y DRX  |
|---|---|---|-------------------------|---|
| <b>Estrato A</b><br>Arena fina arcillosa salina     | <br>5 cm   | <br>0,3 cm   | 5 cm                    | Estructura laminar paralela levemente compactada, color pardo amarillento oscuro con intercalaciones negras de materia orgánica. Las partículas son angulares a subredondeadas y mal seleccionadas. La composición y porcentaje es el siguiente: 43% de plagioclasa (incluye fragmentos líticos), 27% de cuarzo, 16% de yeso y 12% de halita. (Además vidrio y pasta volcánica), 2% de arcilla del tipo esmectita, clorita e illita con impurezas de cuarzo, dolomita y feldespato. |
| <b>Estrato B</b><br>Limo salino                     | <br>5 cm   | <br>0,3 cm   | 30 cm                   | Estructura laminar paralela a ondulada, levemente compactada, color marrón amarillento pálido, con intercalaciones de agregados salinos microcristalinos. Las partículas de limo tienen formas muy angulares, moderadamente seleccionadas y corresponden a 1% de cuarzo y 3% de plagioclasa (incluye fragmentos líticos) 84% de yeso en cristales no mayores a 0,05 mm y 11% de halita.   |
| <b>Estrato C</b><br>Arena muy fina arcillosa salina | <br>5 cm  | <br>0,3 cm  | 10 cm                   | Estructura laminar paralela, compacidad media y color pardo rojizo oscuro. La fracción arcilla es de color anaranjado amarillento pálido y está en una proporción del 2%. Las partículas tamaño arena corresponden a: 25% de cuarzo, 62% de plagioclasa (incluye fragmentos líticos de basalto), 4% de cristales de yeso y 7% de halita. Las partículas se presentan moderadamente seleccionadas con formas angulares a subredondeadas.   |
| <b>Estrato D</b><br>Arena fina arcillosa salina     | <br>5 cm | <br>0,2 cm | 15 cm (mínimo)<br>60 cm | Estructura laminar ondulada, compacidad media y color pardo rosado. La fracción arcilla es de color pardo claro y se asocia a sales criptocristalinas. La fracción arena es similar en composición y forma pero está mal seleccionada.  |

Figura 179. Salina Pichi Sur, perfil litológico del sector aledaño a la salina (sin costra superficial).

Nota: el valor en cm, en la parte inferior de cada foto, corresponde a la base de la misma.

En la observación a la lupa binocular y al microscopio con la técnica de grano suelto, se observaron fragmentos líticos de basalto y vidrio. En la preparación para DRX las muestras se pulverizan, por tanto el porcentaje de las plagioclasas identificadas mediante DRX, corresponde a la suma de los cristales sueltos en el sedimento, más aquellos liberados de los líticos

pulverizados. El vidrio alterado de esos fragmentos se observa como esmectitas. El vidrio fresco forma parte del fondo del difractograma.

En el interior de la salina, la costra temporaria cubría completamente la superficie, de manera muy compacta, con una potencia de 8-10 cm. El patrón de crecimiento era poligonal con grumos de 2 cm de diámetro formados por cristales euhedrales de halita en cubos masivos, que hacia la parte inferior de la costra pasaban a texturas chevron formando un estrato fuertemente compacto por el entrelazamiento de los cristales (figuras 180 y 181).



Figura 180. Salina Pichi Sur, vista de la costra salina superficial el 17-3-2017.



Figura 181. Salina Pichi Sur, izq. fragmento de la parte inferior de la costra superficial (base de la imagen 8 cm), der. cristal de halita en textura chevron del fragmento de costra superficial (base de la imagen 1 cm).

Subyacente a la costra salina, por lo menos hasta los 45 cm de profundidad, se halló fango salino negro formado por cristales de yeso con textura discoidal y arena muy fina. Hacia abajo, en contacto transicional, pasa a limo con yeso discoidal y prismático. Los detalles de las estructuras, composición de los estratos y texturas de los componentes se describen y muestran en el perfil litológico (figura 184) y en las figuras 182, 183 y 185.



Figura 182. Salina Pichi Sur, perfil del pozo en M3-13.



Figura 183. Salina Pichi Sur, yeso discoidal a la lupa binocular, (base de la imagen 0,22 cm) en fig. 186 imagen al microscopio electrónico.

Salina Pichi Sur: perfil litológico

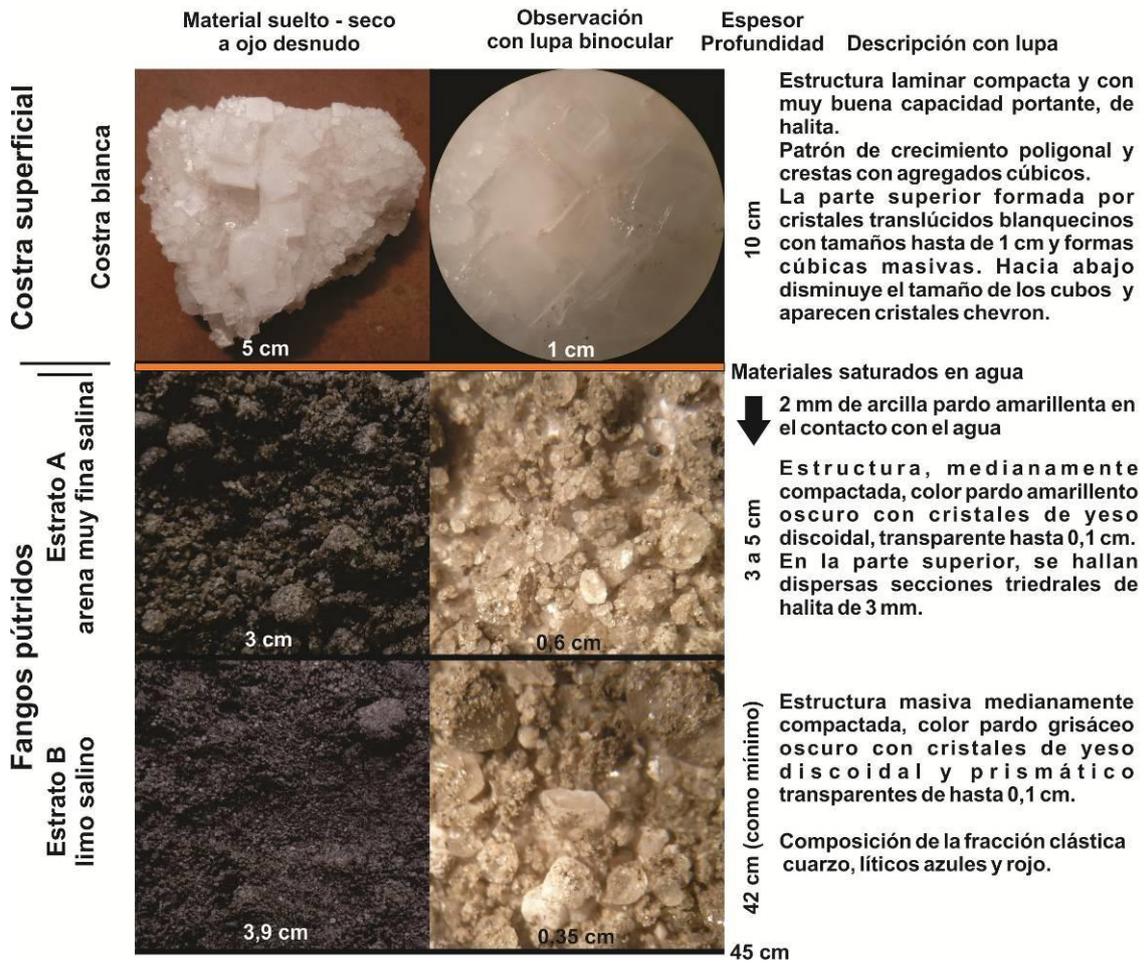


Figura 184. Salina Pichi Sur, perfil litológico en M3-13.

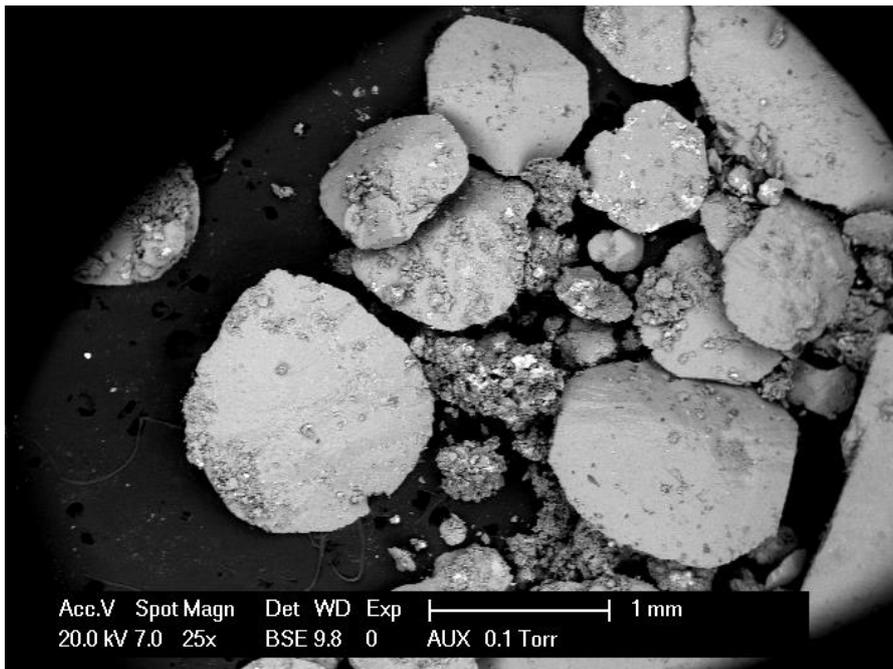


Figura 185. Salina Pichi Sur, imagen de yeso discoidal al microscopio electrónico.

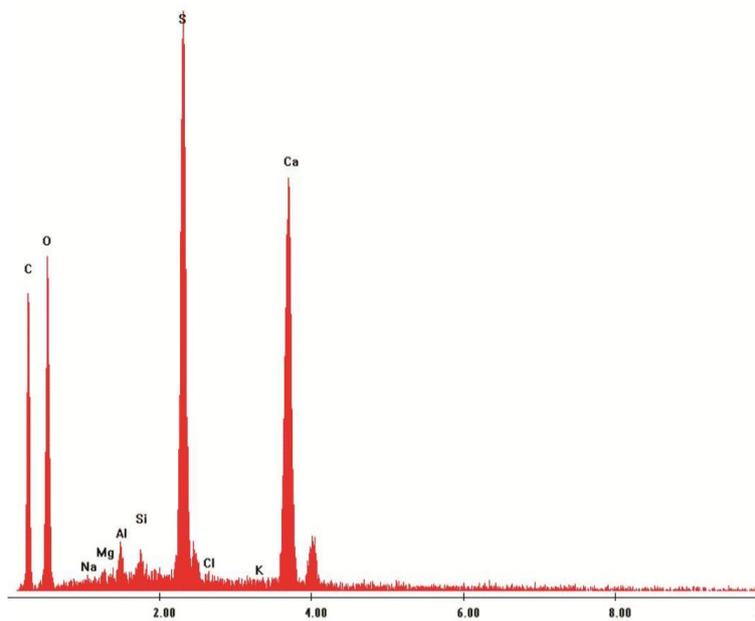
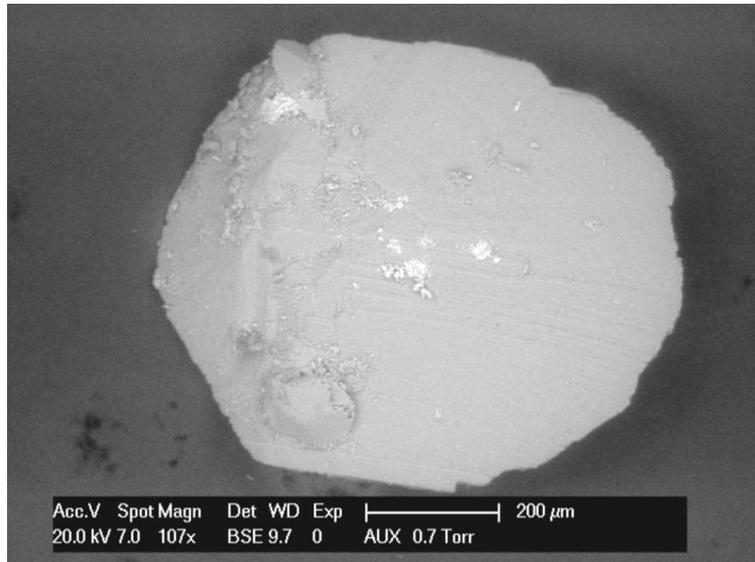
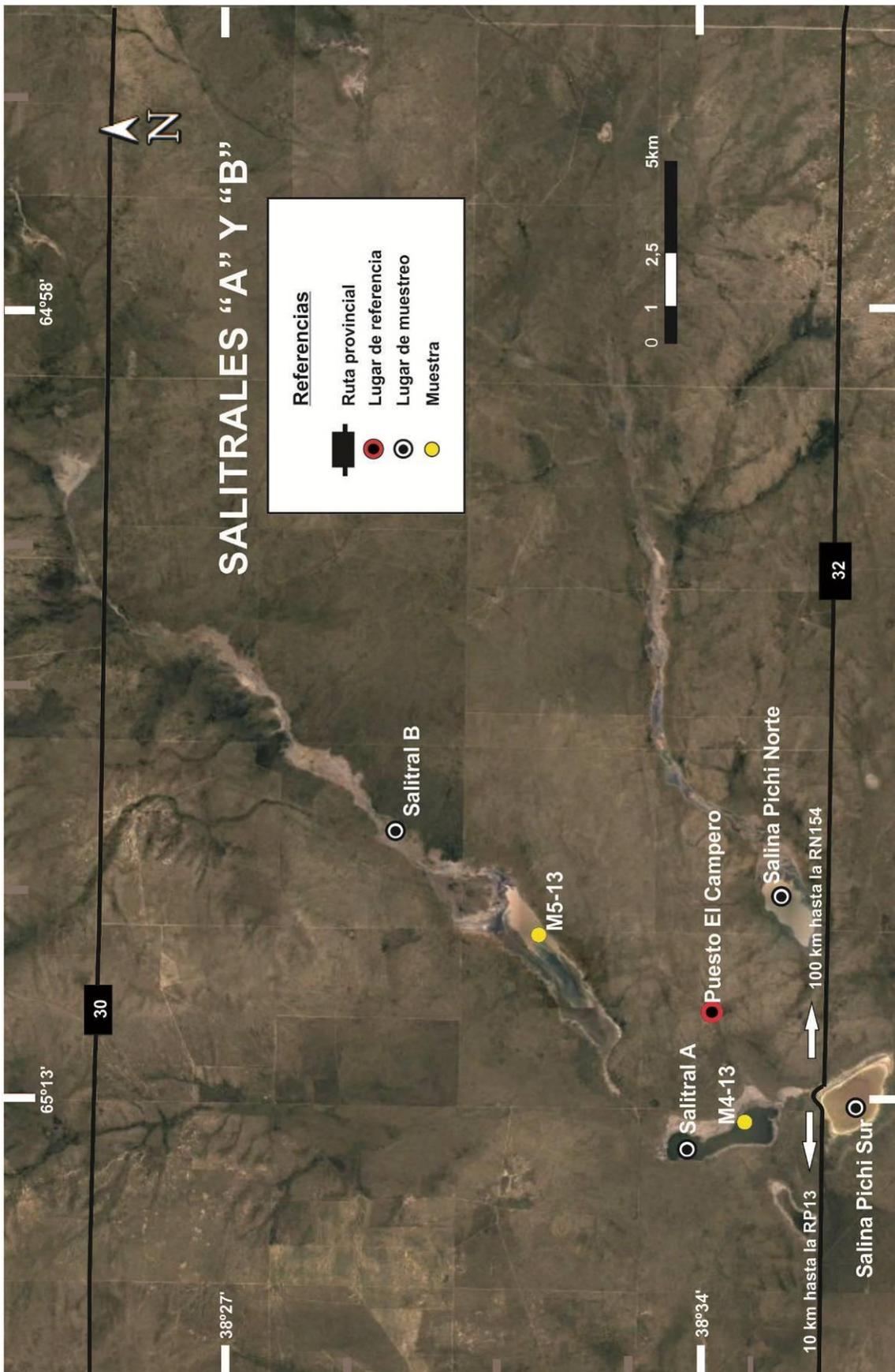


Figura 186. Salina Pichi Sur, cristal de yeso con trazas de Al, Si, Mg, Na y K imagen de microscopio electrónico (en fig. 183, imagen a la lupa binocular).



Mapa 19. **Sector 4**, salitrales "A" y "B", ubicación de muestras.

El primer salitral encadenado hacia el norte (denominado A) tiene una superficie de 3 km<sup>2</sup>, en parte cubierto por una costra salina compacta de 2 cm.



Figura 187. Salitral "A", vista general y de su entorno el 19-3-2017.



Figura 188. Salitral "A", vista de la costra superficial.

Una sección vertical del pozo estudiado en el sector, muestra que la costra superficial está formada por 1 cm de capas de halita con estructura laminada horizontal sobre 1 cm de cristales de halita con crecimiento en pirámide que le da sustento (costra en contacto con el agua). Subyacentes, en contacto neto con la costra salina se hallan 6 cm de limos arcillosos con materia orgánica de color negro y estructura laminada levemente ondulada; debajo, 45 cm como mínimo, de arenas finas arcillosas salinas de color pardo rojizo oscuro con estructura laminar levemente ondulada a masiva. Estos estratos están formados con un 70% de yeso discoidal y prismático, un 10% de halita en cristales cúbicos masivos y el resto (20%) material clástico (ver perfil de la figura 179).



Figuras 189. Salitral A, sup. pozo labrado; inf. perfil de los materiales del pozo.



Figura 190. Salitral A, izq. sedimentos secos del interior del salitral (base de la imagen 3,7 cm)  
 der. vista del mismo sedimento con lupa binocular, yeso discoidal y prismático.  
 (base de la imagen 0,35 cm).

El Salitral "B", se continúa en dirección SO-NE por 25 km (mapa 19). En gran parte de su recorrido, es un bajo vegetado sin cubierta salina. La cobertura de sal se desarrolla en una franja de 3 km que coincide con el sector más ancho (900-1000 m). En este tramo, afloran sobre la costa, diques de cuarzo con orientación NO-SE (figura 191).



Figura 191. Salitral B, vista del salitral y su entorno el 20-3-2017.

La cubierta salina, se extendía de manera uniforme, pero se destruía con la presión ejercida al caminar; longitudinalmente, no tenía más de 1 cm de espesor sobre un film algal.



Figura 192. Salitral B, estructura de la cubierta salina.

Debajo de la costra, yacían limos arcillosos negros y arenas finas arcillosas salinas de color pardo rojizo oscuro, con estructuras y minerales similares al salitral A.



Figura 193. Salitral B, pozo labrado en el salitral.



Figura 194. Salitral B, afloramiento de cuarzo en la costa del salitral B.

A las salmueras envasadas se les realizó in situ, la descripción de los aspectos generales observados (cuadro 70).

| Número              | Muestra         | Extraída de                         | Color        | Olor    | Aspecto     | pH campo                  |
|---------------------|-----------------|-------------------------------------|--------------|---------|-------------|---------------------------|
| M1-13               | <b>Salmuera</b> | Nivel freático                      | beige claro  | fétido  | translúcido | 6<br>(temperatura<br>20°) |
| M2-13               | <b>salmuera</b> | Intraporal a la costra superficial  | beige claro  | inodoro | translúcido |                           |
| M3bis-13            | <b>Salmuera</b> | Por debajo de la costra superficial | beige oscuro | fétido  | translúcido |                           |
| M4-13<br>Salitral A | <b>Salmuera</b> | Nivel freático                      | beige claro  | Inodoro | translúcido |                           |
| M5-13<br>Salitral B | <b>Salmuera</b> | Nivel freático                      | beige claro  | inodoro | translúcido |                           |

Cuadro 70. Salina Pichi Sur y salitrales, observaciones en campo de las salmueras muestreadas.

Análisis químicos y caracterización de salmueras, costras y sedimentos.

Los análisis químicos provistos por el laboratorio Alex Stewart S.A. corresponden a las salmueras y costras salinas recolectadas (cuadro 71).

Del estudio analítico se desprende que las salmueras de la salina Pichi Sur tienen un alto contenido de sodio ( $\text{Na}^+$ , 86 g/l), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ , 22 g/l), y calcio ( $\text{Ca}^{2+}$  9,3 g/l) con niveles de potasio bajos ( $\text{K}^+$  2,2 g/l).  $\text{Li}^+$  no se registró en las muestras. Con respecto a los salitres, las salmueras tienen alta concentración de sodio aunque menor a la de las salinas ( $\text{Na}^+$  75 g/l), magnesio y calcio en cantidades moderadas ( $\text{Mg}^{2+}$  7,2 g/l y  $\text{Ca}^{2+}$  3,2 g/l).

En las figuras 196 y 197 se muestran las relaciones porcentuales de cada catión.

| Tipo de muestra          | número / ubicación | Elemento | B         | Ba        | Ca          | Fe        | K           | Li        | Mg           | Mn        | Na           | Sr         |
|--------------------------|--------------------|----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|--------------|-----------|--------------|------------|
|                          |                    | Unidad   | mg/L      | mg/L      | mg/L        | mg/L      | mg/L        | mg/L      | mg/L         | mg/L      | mg/L         | mg/L       |
|                          |                    | Técnica  | ICP-OES   | ICP-OES   | ICP-OES     | ICP-OES   | ICP-OES     | ICP-OES   | ICP-OES      | ICP-OES   | ICP-OES      | ICP-OES    |
|                          |                    | L detec. | 1         | 0,01      | 2           | 0,3       | 2           | 1         | 1            | 0,01      | 2            | 0,5        |
| <b>Salmuera</b>          | M1-13              |          | <10       | <0,10     | 3248        | <3        | 386         | <10       | 2955         | <0,10     | 45568        | 62,9       |
| <b>Salmuera rosa</b>     | M2-13              |          | 30        | <0,10     | 9176        | <3        | 2508        | <10       | 19937        | 10,69     | 82194        | 364,4      |
| <b>Salmuera negra</b>    | M3bis13            |          | 32        | <0,10     | 9442        | <3        | 1982        | <10       | 23276        | 9,66      | 90368        | 376,9      |
| <b>Salmuera</b>          | M4-13 salitral A   |          | 20        | <0,10     | 5319        | <3        | 922         | <10       | 10257        | 14,48     | 86868        | 180,7      |
| <b>Salmuera</b>          | M5-13 salitral B   |          | 28        | <0,10     | 1035        | <3        | 683         | <10       | 8610         | 2,88      | 92273        | 41         |
| <b>Promedio</b>          |                    |          | <b>31</b> | <b>--</b> | <b>9309</b> | <b>--</b> | <b>2245</b> | <b>--</b> | <b>21607</b> | <b>10</b> | <b>86281</b> | <b>371</b> |
| <b>Promedio salitres</b> |                    |          | <b>24</b> | <b>-</b>  | <b>3200</b> | <b>--</b> | <b>664</b>  | <b>--</b> | <b>7274</b>  | <b>9</b>  | <b>74903</b> | <b>95</b>  |

Cuadro 71. Salina Pichi Sur, resultados analíticos de cationes de salmueras, expresados en miligramos/litro. Ubicación de sitios de muestreo en el mapa 18.

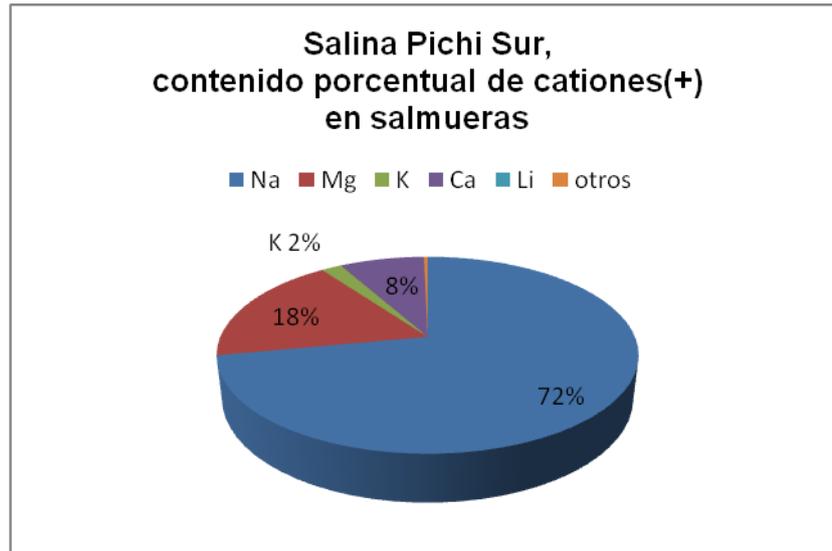


Figura 195. Salina Pichi Sur, contenido porcentual de cationes en salmueras.

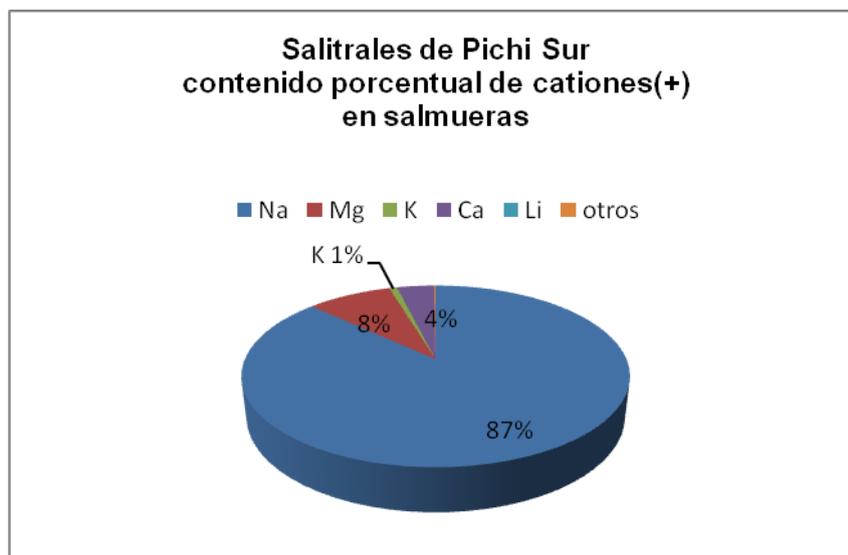


Figura 196. Salitrales de Pichi Sur, contenido porcentual de cationes en salmueras.

Con respecto a los aniones, en la salina Pichi Sur, se destaca la muy alta concentración de cloruro ( $\text{Cl}^-$ , 202 g/l) con una ínfima cantidad de sulfatos. Los salitrales encadenados, por su lado, en promedio, tienen igualmente alta cantidad de cloruro con algo más de sulfatos que no excede el 3%.

En las figuras, 197 y 198 se representa la relación porcentual de aniones.

| Tipo de Muestra     | número / ubicación | Det. | Sulfatos SO4= | Cloruros Cl-  | pH    | Conduct. | Sólidos disueltos totales (secados a 180°) | Sólidos totales (secados a 103°) |
|---------------------|--------------------|------|---------------|---------------|-------|----------|--|----------------------------------|
|                     |                    | U    | mg/l          | mg/L          | de pH | µS/cm    | mg/L                                       | mg/L                             |
|                     |                    | T    | Volum         | Volum         | ISE   | Instrum  | Grav.                                      | Grav.                            |
|                     |                    | LD   | 5             | 5             | 0,1   | 5        | 10   | 10                               |
| Salmuera            | M1-13              |      | 3507          | 80004         | 6,8   | 167000   | 146080                                     | 164160                           |
| Salmuera rosa       | M2-15              |      | 642           | 201978        | 6,7   | 220900   | 325240                                     | 423340                           |
| Salmuera negra      | M3-13              |      | 675           | 201978        | 6,7   | 219600   | 324080                                     | 455260                           |
| Salmuera            | M4-13 salitral A   |      | 1548          | 168752        | 6,5   | 229300   | 283600                                     | 326260                           |
| Salmuera            | M5-13 salitral B   |      | 9039          | 160009        | 6,9   | 229700   | 292240                                     | 336280                           |
| Promedio salinas    |                    |      | <b>658</b>    | <b>201978</b> |       |          |  |                                  |
| Promedio salitrales |                    |      | <b>4698</b>   | <b>136255</b> |       |          |  |                                  |

Cuadro 72. Salina Pichi Sur, resultados analíticos de aniones en salmueras, expresados en miligramos/litro, (U= unidades; T= técnica; LD= límite de detección inferior).

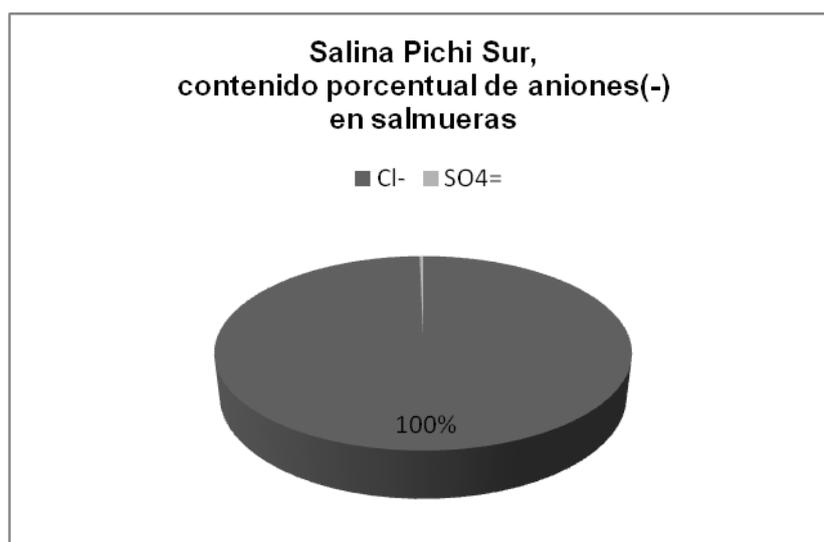


Figura 197. Salina Pichi Sur, contenido porcentual de aniones en salmueras.



Figura 198. Salitrales de Pichi Sur, contenido porcentual de aniones en salmueras.

En un esquema comparativo entre muestras, se observa que las dos muestras de la salina Pichi Sur, tienen contenidos iónicos similares, lo cual es lógico dado el tamaño del cuerpo. Por otro lado, las salmueras de los salitrales contienen valores de  $\text{Na}^+$  similares pero valores de  $\text{Cl}^-$  que disminuyen de A a B, mientras que los valores de  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  aumentan.

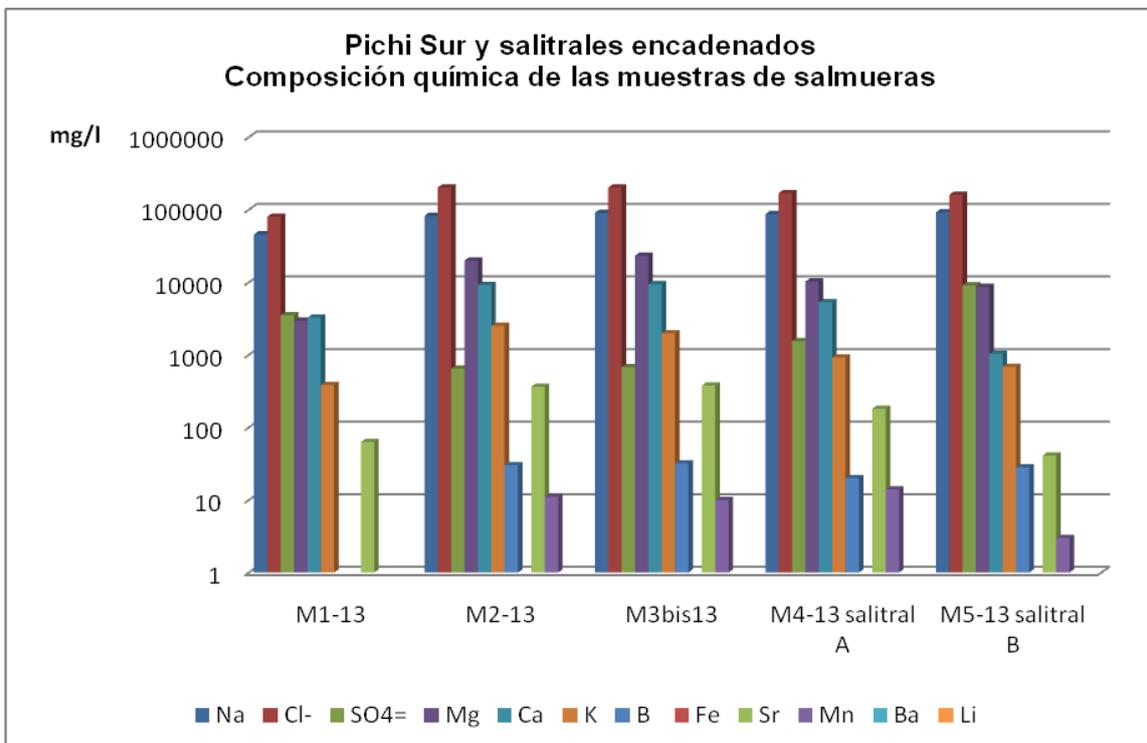


Figura 199. Salina Pichi Sur y salitrales, composición química de las muestras de salmueras.

Sobre la composición de las costras salinas, se puede ver en el cuadro 73 que tanto en la costra temporaria (superficial), de la salina como en la de los salitrales el catión principal es el  $\text{Na}^+$  que se presenta con una similar concentración en los tres casos formando halita. El  $\text{Ca}^{2+}$  es el catión complementario que más abunda entre la costra y luego le sigue el  $\text{Mg}^{2+}$ , pero sus proporciones son pequeñas no excediendo el 4%.

Cuando se observó la costra superficial con lupa binocular no se detectaron a simple vista sulfatos de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  que justifiquen la presencia de estos iones, pero ello pudo haber sido por la baja proporción con respecto al  $\text{NaCl}$  en la muestra o están como trazas dentro de la halita. La costra diferencialmente distinta que se produce en los salitrales en cuanto a potencia de  $\text{NaCl}$ , probablemente sea debido a la menor presencia del anión  $\text{Cl}^-$ .

Por otro lado, se ha encontrado que el fango salino subyacente está formado enteramente por yeso discoidal, justificándose con ello, la presencia de  $\text{Ca}^{+2}$  en la costra superficial.

| Tipo de muestra   | número / ubicación | Elemento | B        | Ba       | Ca       | Fe       | K        | Li       | Mg       | Mn       | Na       | Sr       |
|-------------------|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                   |                    | Unidad   | mg/kg MS |
|                   |                    | Técnica  | ICP-OES  |
|                   |                    | L detec. | 50       | 0,5      | 2        | 15       | 2        | 50       | 1        | 0,01     | 2        | 25       |
| <b>Pichi Sur</b>  | M3-13              |          | <50      | 1,02     | 7286     | 15,6     | 337      | <50      | 2268     | 7,14     | 335027   | 72,3     |
| <b>Salitral A</b> | M4-13              |          | <50      | 0,62     | 3080     | 32,8     | 304      | <50      | 2124     | 7,53     | 342968   | 60,3     |
| <b>Salitral B</b> | M5-13              |          | <50      | 0,60     | 9757     | <15      | 365      | <50      | 3547     | 6,66     | 323724   | 111,6    |

Cuadro 73. Salina Pichi Sur y salitrales, resultados analíticos de cationes en costras salinas, (expresados en miligramos/kilogramo).

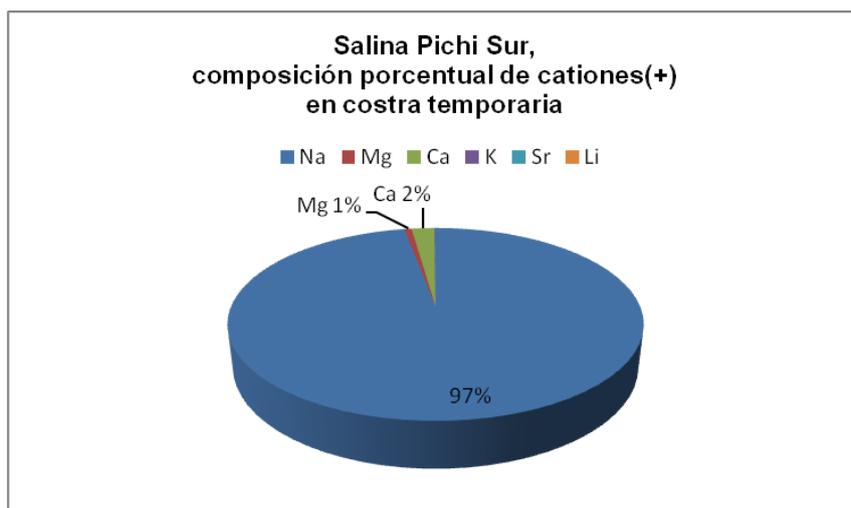


Figura 200. Salina Pichi Sur, composición porcentual de cationes en costra temporaria.

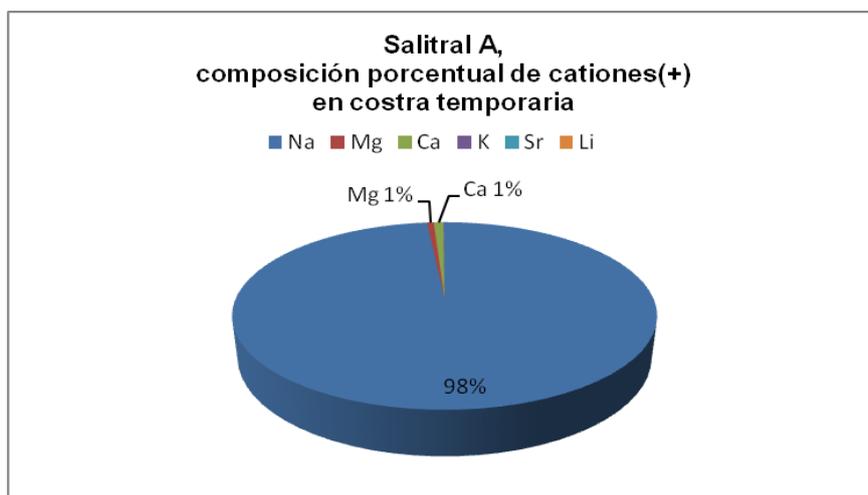


Figura 201. Salitral A, composición porcentual de cationes en costra temporaria.

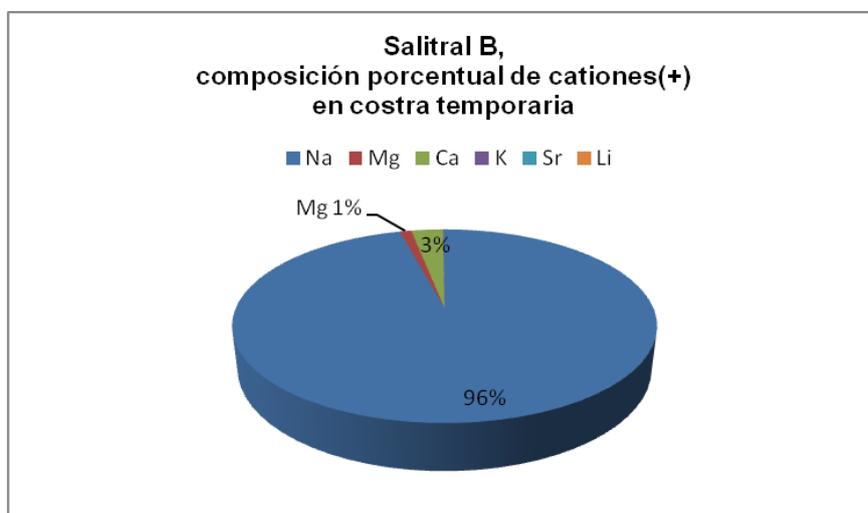
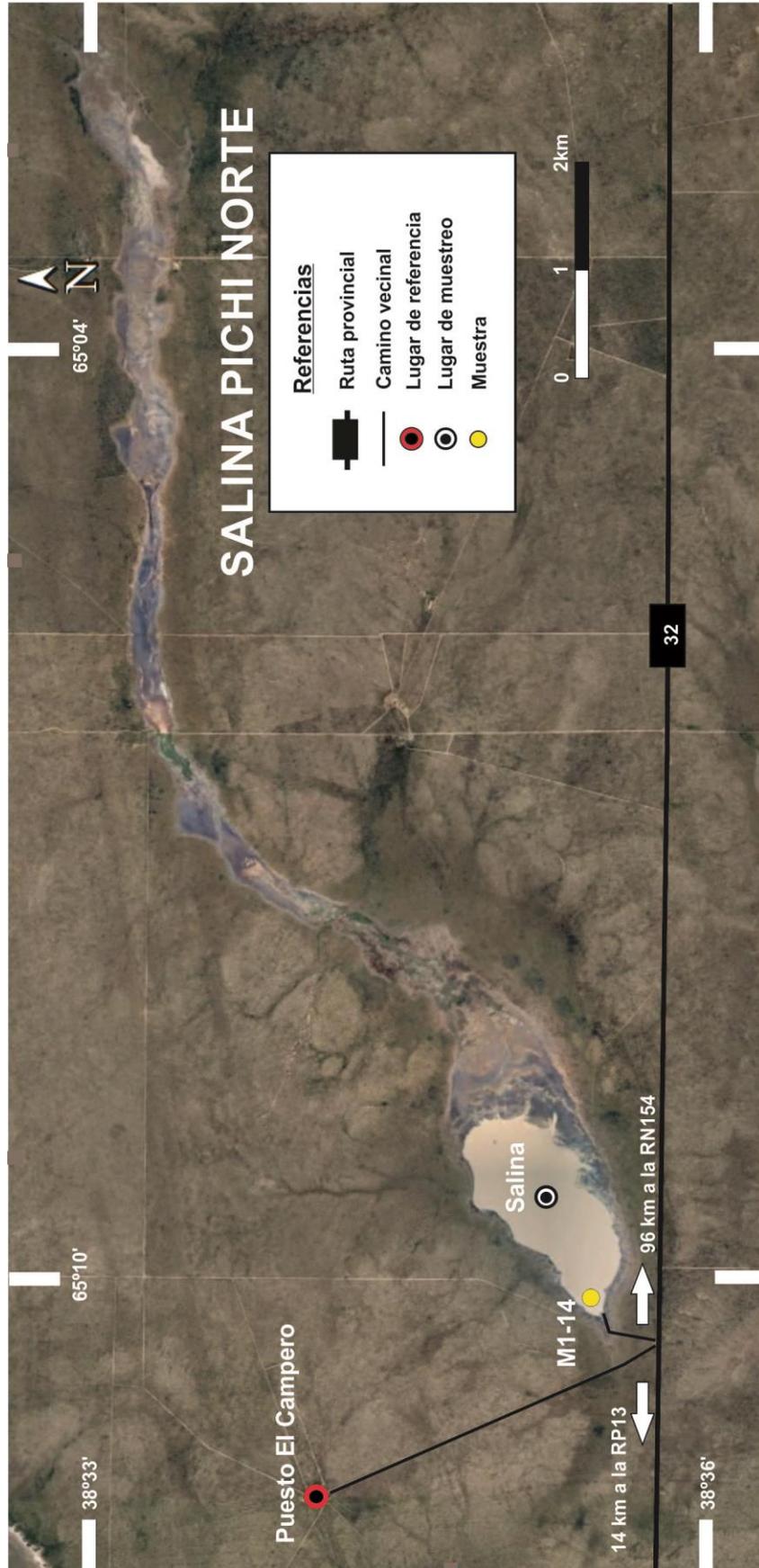


Figura 202. Salitral B, composición porcentual de cationes en costra temporaria.

Se detallan en el cuadro 74 los resultados de los análisis químicos del material clástico de los fangos salinos, sedimentos y roca de los salitrales, que fueron provistos por el laboratorio Actlabs.

|                        | Elemento            | Na   | Mg     | Ca     | K      | Fe   | Sr     | Mn     | Ba   | Li     |
|------------------------|---------------------|------|--------|--------|--------|------|--------|--------|------|--------|
|                        | Unidad              | %    | %      | %      | %      | %    | ppm    | ppm    | ppm  | ppm    |
|                        | Límite de detección | 0,01 | 0,01   | 0,01   | 0,01   | 0,01 | 1      | 1      | 50   | 1      |
|                        | Técnica             | INAA | TD-ICP | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP |
| <b>Pichi Sur</b>       |                     | 0,84 | 0,72   | 16,8   | 0,45   | 1,06 | 691    | 224    | 180  | 11     |
| <b>Zona sin costra</b> |                     | 2,18 | 1,88   | 3,25   | 1,31   | 3,60 | 358    | 795    | 330  | 27     |
| <b>Salitral A</b>      |                     | 0,80 | 0,87   | 16     | 0,50   | 1,33 | 593    | 224    | <50  | 13     |
| <b>Salitral B</b>      |                     | 1,06 | 1,63   | 12,1   | 0,81   | 2,28 | 776    | 429    | 290  | 25     |
| <b>Roca interior</b>   |                     | 0,03 | <0,01  | 0,11   | 0,07   | 0,47 | 8      | 53     | <50  | 2      |

Cuadro 74. Salina Pichi Sur y salitrales, resultados analíticos de cationes de los fangos salinos y roca, expresados en porcentaje o partes por millón. INAA: activación neutrónica, TD-ICP: digestión total-plasma acoplado por inducción.



Mapa 20. Sector 4, Salina Pichi Norte, ubicación de las muestras.

## Salina Pichi Norte

La Salina Pichi Norte se ubica sobre la Ruta 32 a unos 14 km de la Ruta provincial 13. Se accede por la tranquera de entrada al Puesto El Campero. Tiene forma elíptica con su eje mayor orientado SO-NE, y una superficie cubierta de sal aproximada de 2 km<sup>2</sup>, continuando 15 km hacia el NE, con vegetación y eflorescencias.

Las escarpas que rodean la salina están cubiertas con depósitos eólicos con asomos de riolitas y granitos correspondientes a la Formación Choique Mahuida y filitas del basamento cristalino precámbrico.



Figura 203. Pichi Norte, vista de la salina y su entorno el 21-3-2017.

La salina estaba cubierta de agua en gran parte de su extensión. Por ello se realizó un sólo pozo hacia uno de los bordes de la costra a donde no llegaba el agua. En este punto se tomó la muestra de salmuera, se midió el pH a temperatura ambiente y se recolectó material del pozo hasta una profundidad

de 40 cm. La ubicación de la muestra se encuentra en el mapa 20 y los detalles y su geo-referencia se describen en el cuadro 75.

| Fecha      | Denominación específica del lugar | Tipo de trabajo | Tipo de material recolectado | Nombre de la Muestra | Latitud       | Longitud      |
|------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| 21/03/2017 | Pichi Norte                       | pozo cavado     | agua/sedimentos              | M1-14                | 38°35'36.56"S | 65°10'08.12"O |

Cuadro 75. Salina Pichi Norte, geo-referencia de la muestra.

La costra salina superficial se extendía por casi toda la cuenca, con una estructura muy compacta y patrón de crecimiento en agregados circulares de halita cúbica masiva. La potencia registrada fue de 6 cm, de los cuales 2 cm formaban una estructura laminar de cristales cúbicos masivos y 4 cm una estructura entrelazada de cristales de halita con texturas chevron.

Subyacente a la costra, se halló 1 cm de limo salino color pardo amarillento claro y 4 cm de fango salino negro estratificado con estructura laminar ondulada que se continuaba con arenas finas masivas a levemente onduladas de color pardo rojizo oscuro.



Figura 204. Salina Pichi Norte, pozo cavado en la salina.

A la salmuera recogida se le realizó in situ, la descripción de los aspectos generales observados los que se describen en el cuadro 76.

| Número   | Muestra         | Extraída de                                | Color          | Olor   | Aspecto     | pH campo        |
|----------|-----------------|--|----------------|--------|-------------|-----------------|
| M1bis-14 | <b>Salmuera</b> | Agua madre debajo de la costra superficial | beige grisáceo | fétido | translúcido | 6<br>(temp 20º) |

Cuadro 76. Salina Pichi Norte, observaciones en campo de las salmuera muestreada.

En el perfil litológico de la figura 205, se describen las estructuras sedimentarias, los minerales hallados (de mayor a menor proporción) y sus texturas.



Figura 205. Salina Pichi Norte, perfil litológico.

Nota: el valor en cm, en la parte inferior de cada foto, corresponde a la base de la misma.

### Análisis químicos y caracterización de la salmuera, costra y sedimentos.

Los análisis químicos provistos por el laboratorio Alex Stewart S.A. corresponden a una muestra de salmuera negra (de los fangos) y de la costra salina superficial (cuadros 77, 78 y 79).

Del estudio analítico se desprende que la salmuera tiene alto contenido de sodio ( $\text{Na}^+$ , 97 g/l), y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ , 13 g/l) y moderada cantidad de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ , 6 g/l). En el caso particular del  $\text{Li}^+$ , no se registró en la muestra. En la figura 206 se observa la relación porcentual de cada catión.

Con respecto a los aniones, se destaca la alta concentración de cloruro  $\text{Cl}^-$ , 196 g/l) acompañado por muy poca concentración de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ , menos de 1g/l). La relación porcentual de aniones se muestra en la figura 207.

| Tipo de muestra | número / ubicación | Elemento            | B       | Ba      | Ca      | Fe      | K       | Li      | Mg      | Mn      | Na      | Sr      |
|-----------------|--------------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                 |                    | Unidad              | mg/L    |
|                 |                    | Técnica             | ICP-OES |
|                 |                    | Límite de detección | 1       | 0,01    | 2       | 0,3     | 2       | 1       | 1       | 0,01    | 2       | 0,5     |
| <b>Salmuera</b> | M1bis-14           |                     | 32      | <10     | 5880    | <0,3    | 973     | <10     | 12877   | 7.07    | 97270   | 215.4   |

Cuadro 77. Salina Pichi Norte, resultados analíticos de cationes en la salmuera, expresados en miligramos/litro. Ubicación de sitios de muestreo en el mapa 20.

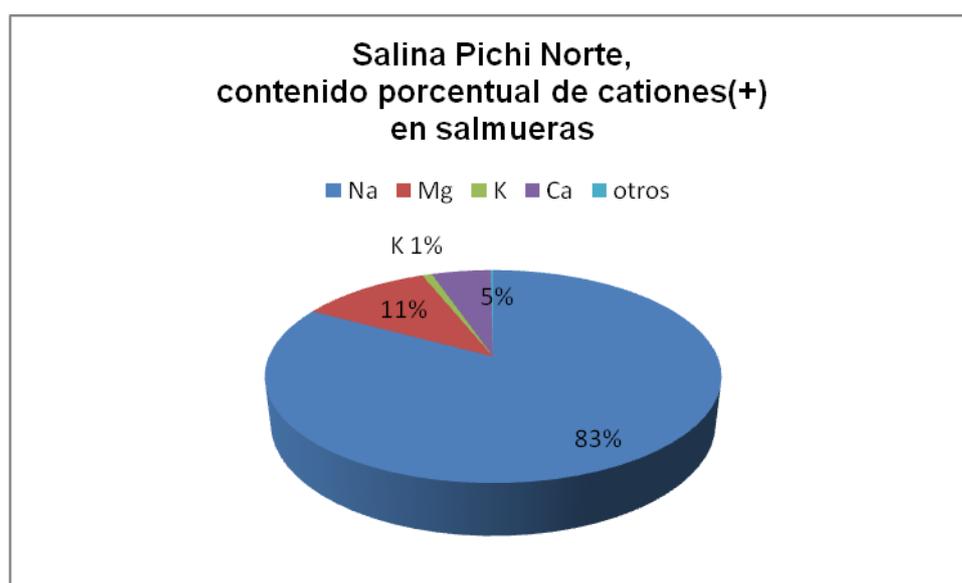


Figura 206. Salina Pichi Norte, contenido porcentual de cationes en la salmuera.

| Tipo de Muestra | número / ubicación | Det. | Sulfatos SO <sub>4</sub> = | Cloruros Cl <sup>-</sup> | pH    | Conduct. | Sólidos disueltos totales (secados a 180°) | Sólidos totales (secados a 103°) |
|-----------------|--------------------|------|----------------------------|--------------------------|-------|----------|--|----------------------------------|
|                 |                    | U    | mg/l                       | mg/L                     | de pH | μS/cm    | mg/L                                       | mg/L                             |
|                 |                    | T    | Volum                      | Volum                    | ISE   | Instrum  | Grav.                                      | Grav.                            |
|                 |                    | LD   | 5                          | 5                        | 0,1   | 5        | 10   | 10                               |
| Salmuera        | M1bis-14           |      | 955                        | 195858                   | 6,5   | 231900   | 318680                                     | 383560                           |

Cuadro 78. Salina Pichi Norte, resultados analíticos de aniones en la salmuera expresados en miligramos/litro, (U= unidades; T= técnica; LD= límite de detección inferior).



Figura 207. Salina Pichi Norte, contenido porcentual de aniones en la salmuera.

Sobre la composición de la costra salina superficial, en el cuadro 79 se destaca el catión Na<sup>+</sup>, con 345 g/kg acompañado de muy poca cantidad de Mg<sup>2+</sup> y Ca<sup>2+</sup> que no excede el 1% (figura 208).

Esto está acorde con lo visto a la lupa binocular; ya que el único mineral observado es halita. El resto de los cationes probablemente se hallen como trazas dentro de la halita o en algún sulfato que no se distinguió entre la alta proporción de halita. El aporte de Ca<sup>2+</sup> proviene de la presencia de yeso en los estratos salinos subyacentes a la costra.

| Tipo de muestra | número / ubicación | Elemento | B        | Ba       | Ca       | Fe       | K        | Li       | Mg       | Mn       | Na       | Sr       |
|-----------------|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                 |                    | Unidad   | mg/kg MS |
|                 |                    | Técnica  | ICP-OES  |
|                 |                    | L detec. | 50       | 0,5      | 2        | 15       | 2        | 50       | 1        | 0,01     | 2        | 25       |
| <b>Costra</b>   | <b>M1-14</b>       |          | <50      | 1,28     | 3043     | 19,6     | 223      | <50      | 1706     | 4,39     | 344361   | 42,6     |

Cuadro 79. Salina Pichi Norte, resultados analíticos de cationes de la costra salina superficial.

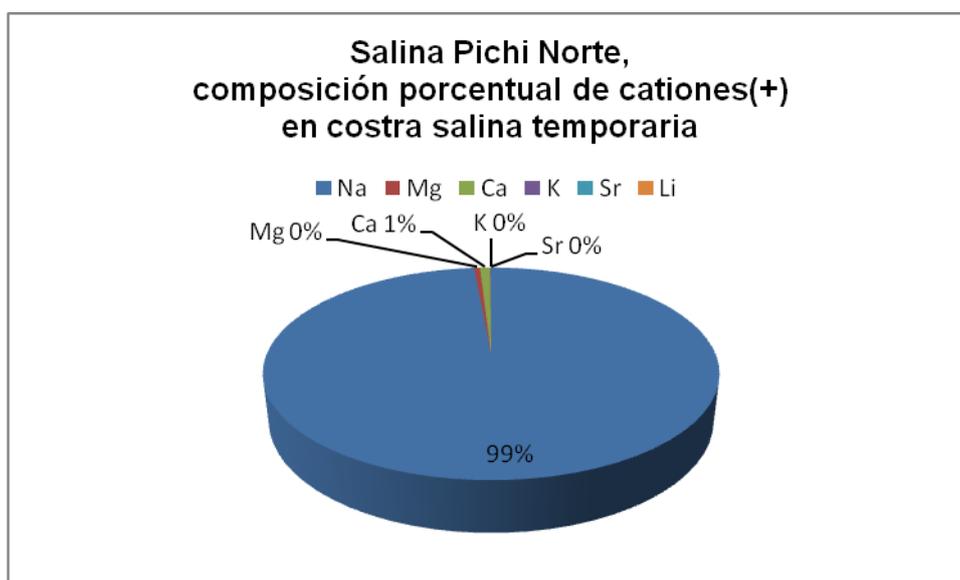


Figura 208. Salina Pichi Norte, composición porcentual de cationes en costra salina superficial.

En el cuadro 80 se detallan los resultados de los análisis químicos provistos por el laboratorio Actlabs correspondientes al material clástico de los fangos salinos.

| Fangos salinos     | Elemento            | Na   | Mg     | Ca     | K      | Fe   | Sr     | Mn     | Ba   | Li     |
|--------------------|---------------------|------|--------|--------|--------|------|--------|--------|------|--------|
|                    | Unidad              | %    | %      | %      | %      | %    | ppm    | ppm    | ppm  | ppm    |
|                    | Límite de detección | 0,01 | 0,01   | 0,01   | 0,01   | 0,01 | 1      | 1      | 50   | 1      |
|                    | Técnica             | INAA | TD-ICP | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP |
| <b>Pichi Norte</b> |                     | 2    | 1,24   | 6,15   | 1,20   | 2,75 | 467    | 623    | 310  | 23     |

Cuadro 80. Salina Pichi Norte resultados analíticos de cationes de los fangos salinos y rocas, expresados en porcentaje o partes por millón. INAA: activación neutrónica, TD-ICP: digestión total-plasma acoplado por inducción.

## Análisis de los datos químicos obtenidos en el Sector 4

Para la interpretación de los valores químicos de las salmueras recolectadas en las salinas del Sector 4, se utilizó la información provista por el laboratorio Alex Stewart S.A., calculando los valores promedio en cada cuerpo (cuadro 81). Además se realizó un gráfico comparativo entre salinas, con los valores de cationes y aniones absolutos acumulados, con el fin de diferenciar gráficamente, la carga iónica total (figura 209).

| Locación         | mg/l | Na    | Cl-    | SO4= | Mg    | Ca   | K    | B  | Fe | Sr  | Mn | Ba | Li |
|------------------|------|-------|--------|------|-------|------|------|----|----|-----|----|----|----|
| Pichi Sur        |      | 86281 | 201978 | 658  | 21607 | 9309 | 2245 | 31 | -- | 371 | 10 | -- | -- |
| salitrales A y B |      | 74903 | 136255 | 4698 | 7274  | 3200 | 664  | 24 | -- | 95  | 9  | -- | -- |
| Pichi Norte      |      | 97270 | 195858 | 955  | 12877 | 5880 | 973  | 32 | -- | 215 |    | -- | -- |

Cuadro 81. Sector 4, valores promedio de cationes y aniones en salmueras.

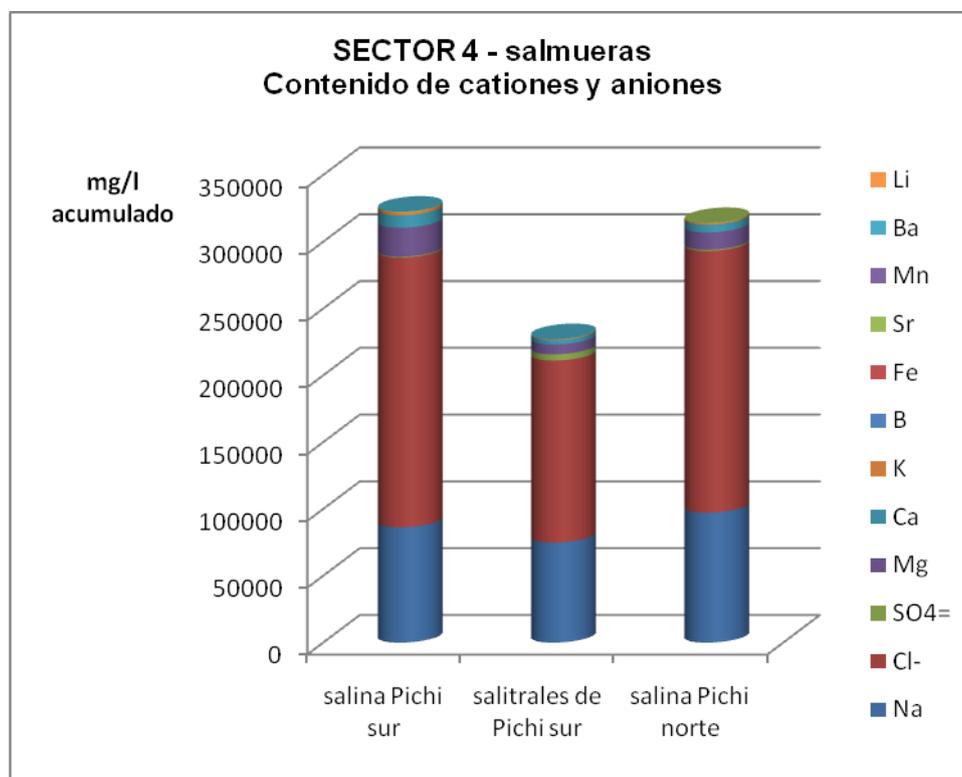


Figura 209. Sector 4, esquema comparativo de valores químicos de salmueras.

Con respecto al  $\text{Li}^+$ , este catión no se registró en ninguna salmuera del Sector 4.

Las salmueras estudiadas en todos los casos están formadas casi exclusivamente por  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ , con poca cantidad de  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ .

En el análisis comparado de carga iónica, las salmueras de ambas salinas son muy ricas en  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  (formadores de sal gema) con concentraciones similares. En referencia a las concentraciones de  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , y  $\text{K}^+$ , la salina Pichi Sur duplica los valores absolutos de los de Pichi Norte, pero si se observan porcentualmente con respecto al conjunto de cationes, estos representan en Pichi Sur 13% y en Pichi Norte algo más 17%. Si se toma el  $\text{Mg}^{2+}$  en forma individual, sus valores absolutos, son altos (cuadro 81).

En los salitrales el contenido de  $\text{Na}^+$  es bastante similar al contenido de las salinas pero el contenido de  $\text{Cl}^-$  es bastante menor y está acompañado por un contenido de sulfatos 7 veces mayor que en las salinas, aunque representa poca proporción relativa.

Si se comparan las cuatro costras superficiales (temporarias), se puede decir que tienen similar composición: halita con baja proporción de Mg y Ca. La costra salina más pura con respecto a NaCl es Pichi Norte.

| Locación    | Tipo de costra     | Na                   | Mg   | Ca   | K   | Sr  |
|-------------|--------------------|----------------------|------|------|-----|-----|
|             |                    | miligramos/kilogramo |      |      |     |     |
| Pichi Sur   | Costra superficial | 335027               | 2268 | 7286 | 337 | 72  |
| Salitral A  | Costra superficial | 342968               | 2124 | 3080 | 304 | 60  |
| Salitral B  | Costra superficial | 323724               | 3547 | 9757 | 365 | 112 |
| Pichi Norte | Costra superficial | 344361               | 1706 | 3043 | 223 | 43  |

Cuadro 81-b. Sector 4, resumen de valores de cationes en costra superficial.

Si bien la costras tienen proporciones de cationes similares, los salitrales no han evolucionado en forma similar a las salinas probablemente debido a la menor disponibilidad de  $\text{Cl}^-$  y la mayor cantidad de sulfatos en las salmueras.

En ninguna costra salina de este Sector se detectó  $\text{Li}^+$ .

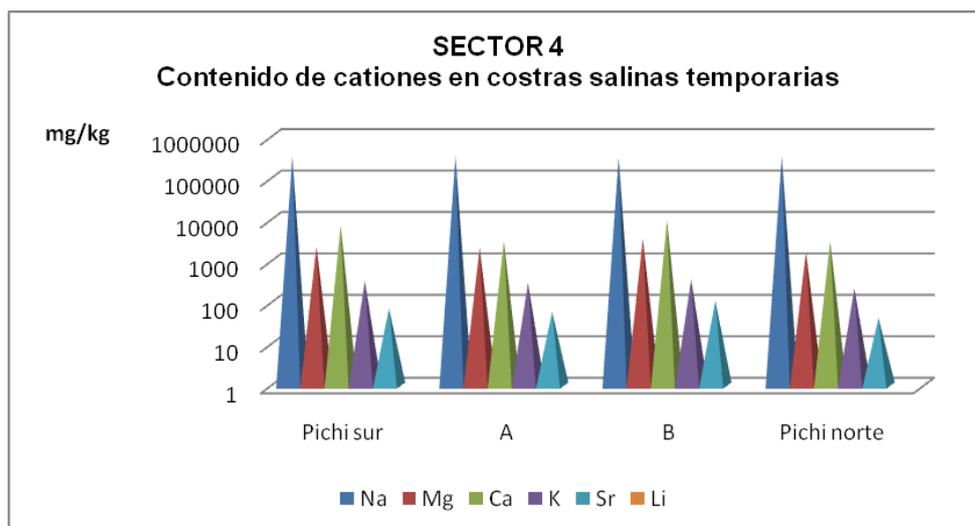


Figura 210. Sector 4, esquema comparativo entre costras salinas temporarias.

Se realizó la medición del contenido de Li del material clástico de los fangos salinos, con el fin de conocer el contenido total en los cuerpos estudiados o en sus alrededores y tener una mejor comprensión de la disponibilidad potencial de este elemento, en caso de meteorización de los minerales que lo portan.

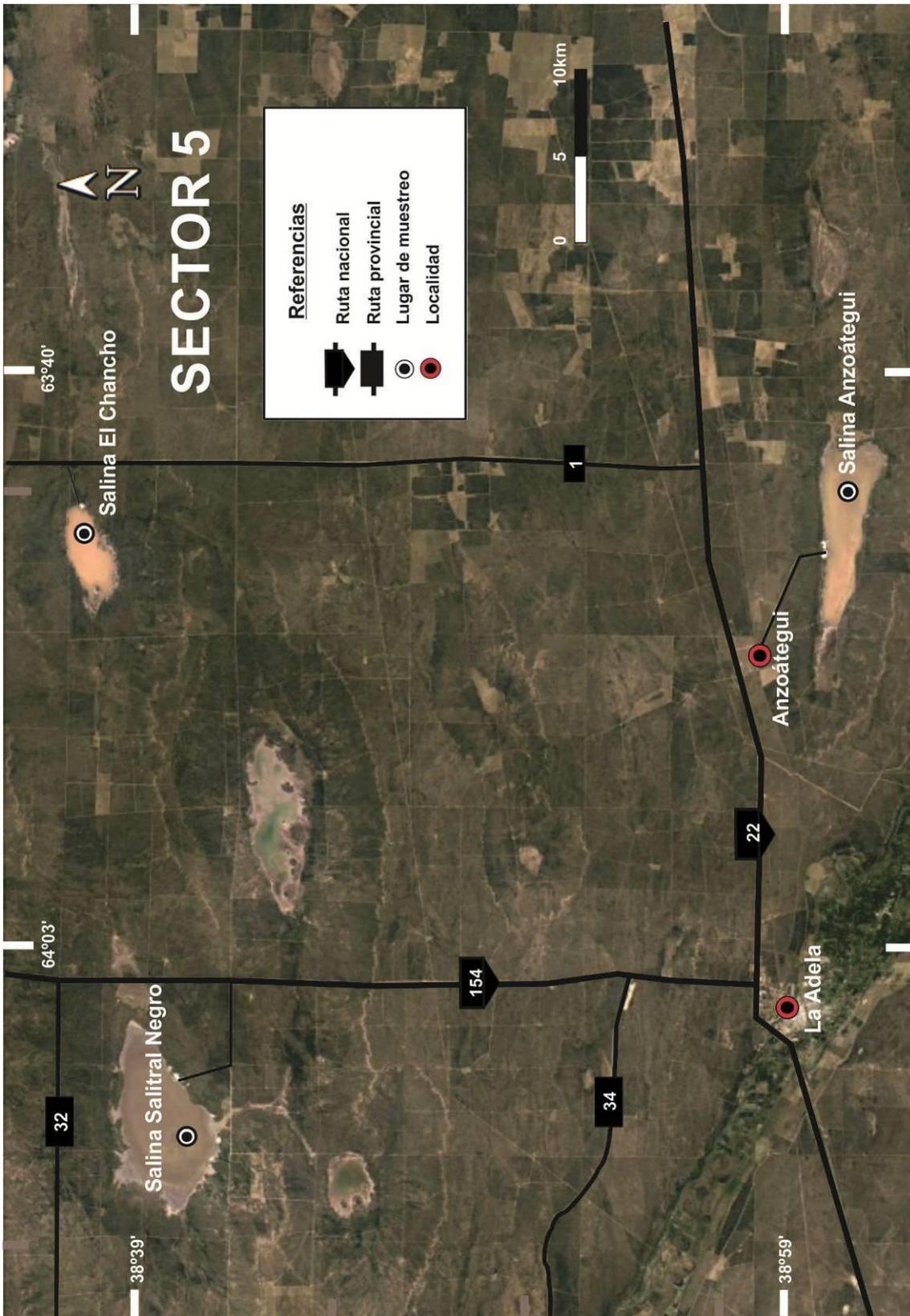
| Cuerpos del Sector 4 | Contenido promedio de Li en sedimentos y rocas (ppm) | Rango |
|----------------------|--|-------|
| Pichi sur            | 19   | 11-27 |
| Salitral A y B       | 13,5   | 2-25  |
| Pichi norte          | 23   | 23    |

Cuadro 82. Sector 4, resumen de valores de Li en sedimentos y rocas, expresados en partes por millón.

El contenido de Li registrado es de entre 2 y 27 (cuadro 82). Este rango de variación de valores es coincidente con el de rocas de varios sectores de la Tierra que son similares a las que rodean a las salinas (graníticas y riolíticas)

según la base de datos GEOROC: <http://georoc.mpch-mainz.gwdg.de/georoc/Start.asp>).

A partir de los valores obtenidos se concluye que los mismos no representan interés ya que incluso en el caso hipotético (poco probable) de que esté todo disponible, los mismos no llegan a constituir una anomalía significativa.



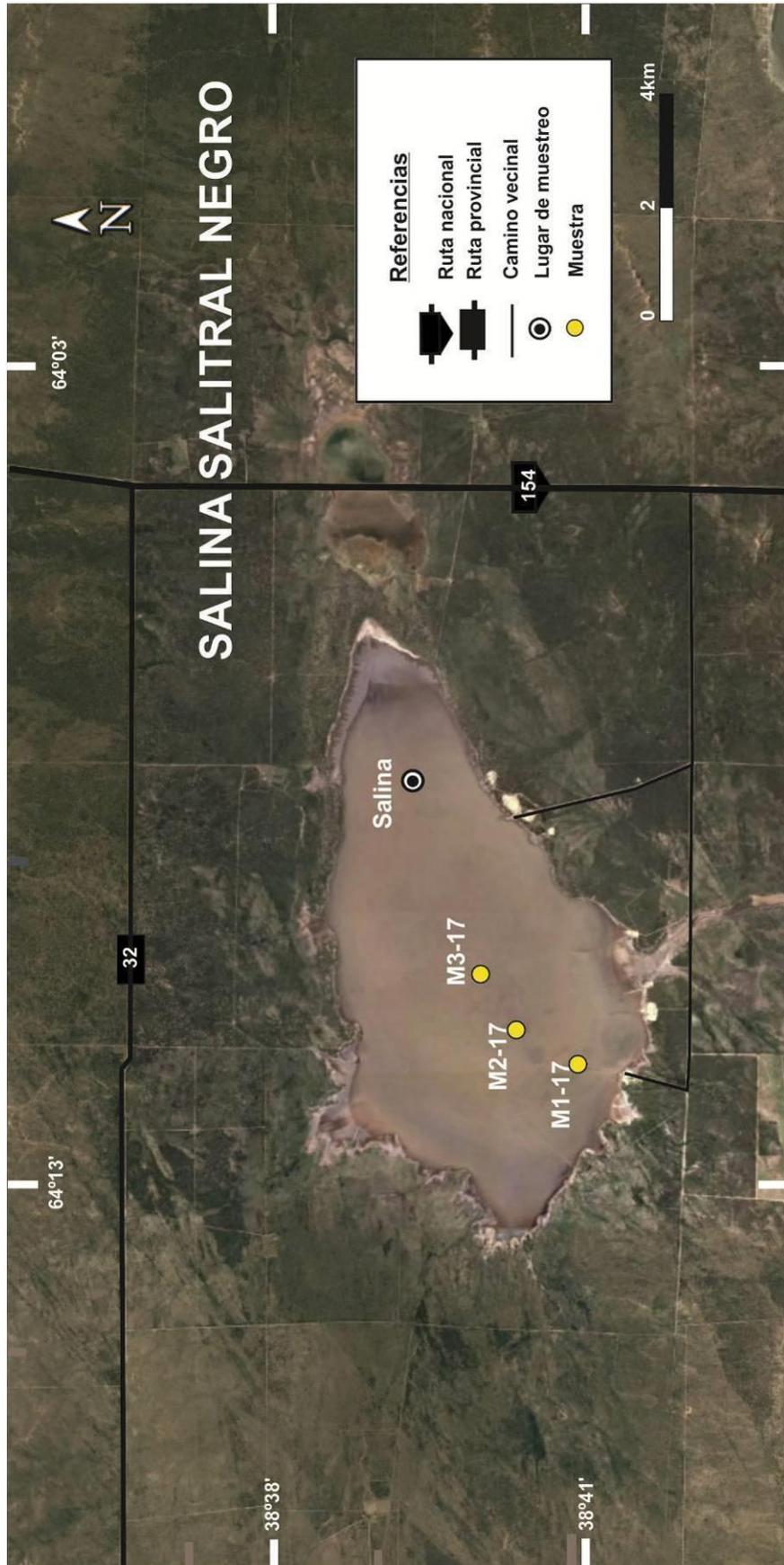
Mapa 21. **Sector 5.** Ubicación de los lugares de muestreo.

## **SECTOR 5**

El Sector 5 ocupa la superficie entre las coordenadas geográficas 38°36'S-64°15'O y 39°03'S-63°40'O, ubicadas en el Departamento Calel-Caleu muy cercano a los límites con Buenos Aires y Río Negro. La Adela es la localidad de referencia, desde donde se puede acceder a los distintos cuerpos, por las Rutas Nacionales 154 o 22.

Las salinas seleccionadas en este sector son: Salitral Negro, Anzoátegui y El Chanco, todas en producción por cloruro de sodio (NaCl). Estas salinas se ubican en una depresión de gran extensión que se desarrolla desde Buenos Aires a La Pampa formada como consecuencia de fallas extensionales de orientación NO-SE, juegos de fracturas NE-SO y juego de fallas E-O, que dieron origen a la Cuenca del Colorado (Etcheverría y Folguera, 2009).

Parte del relleno de la Cuenca lo conforman los cuerpos salinos, acompañados por depósitos eólicos, aluviales, coluviales y loessicos holocenos, depósitos aluviales y rodados del Río Colorado del pleistoceno y depósitos correspondientes a las Formaciones Río Negro y Cerro Azul del Pleistoceno y Mioceno superior respectivamente (Folguera *et al.*, 2015).



Mapa 22. **Sector 5**, Salina Salitral Negro, ubicación de muestras.

## Salina Salitral Negro o del Lote 4



Figura 211. Salina Salitral Negro, vista de la costra superficial y su entorno.

Se llama Salitral Negro aunque, en realidad, es una salina en producción de NaCl, ubicada en la Sección V, Fracción A, Lotes 3 y 4. Se accede por la Ruta Nacional 154, 10 km al sur de la Ruta Provincial 32. Transitando hacia el oeste unos 5 km, se halla la primera entrada de la mina (mapa 22).

Se ubica en el escarpe de una falla de tipo rotacional, donde la parte productora coincide con el sector más alto de la misma perdiendo la formación de piso a medida que se va hundiendo (Cangioli, 1971).

Tiene forma ovoidal, de rumbo general SO-NE, con 10 Km de largo y 2,5 km en su parte más ancha. Sobre el oeste está contorneada por barrancas de altura considerable. Sus playas son pantanosas y ocupan alrededor de un 10% de su superficie.

El muestreo fue realizado el 26-12-2016. Faltando poco tiempo para iniciarse la cosecha de sal 2016, el piso de la salina mostraba una estructura laminar compacta, con alta capacidad portante y con crestas de crecimiento formadas por agregados cúbicos euhedrales de halita.

Se realizaron 3 pozos de aproximadamente 50 cm de profundidad (figura 212) y luego se continuó con barreno hasta 1 m. La ubicación de las muestras (M1-17; M2-17; M3-17) puede observarse en el mapa 22 y sus geo-referencias y características se describen en el cuadro 83.

| Fecha      | Denominación específica del lugar | Tipo de trabajo | Tipo de material recolectado | Nombre de la Muestra | Latitud       | Longitud      |
|------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| 26/12/2016 | Salitral Negro                    | pozo cavado     | salmuera/sedimentos          | M1-17                | 38°40'51.38"S | 64°11'32.43"O |
| 26/12/2016 | Salitral Negro                    | pozo cavado     | salmuera/sedimentos          | M2-17                | 38°40'18.18"S | 64°11'05.33"O |
| 26/12/2016 | Salitral Negro                    | pozo cavado     | salmuera/sedimentos          | M3-17                | 38°39'57.28"S | 64°10'23.96"O |

Cuadro 83. Salina Salitral Negro, geo-referencias de las muestras.

Durante la recolección de las salmueras, se les realizó in situ, una descripción del aspecto general. En el cuadro 84 se detallan las observaciones.

\*El color corresponde a la salmuera luego del precipitado natural de los sedimentos.

| Número   | Muestra         | Extraída de                     | Color       | Olor    | Aspecto          | pH campo    |
|----------|-----------------|---------------------------------|-------------|---------|------------------|-------------|
| M1-18    | <b>Salmuera</b> | Intraporal                      | rosa pálido | inodoro | translúcido      | 6<br>(35°C) |
| M2-18    | <b>Salmuera</b> |                                 | rosa pálido |         | translúcido      |             |
| M3-18    | <b>Salmuera</b> |                                 | rosa pálido |         | translúcido      |             |
| M3bis-18 | <b>Salmuera</b> | Debajo de la costra superficial | beige       | fétido  | aceitoso liviano |             |

Cuadro 84. Salina Salitral Negro, observaciones en campo de las salmueras muestreadas.

En los perfiles de los pozos realizados se observaron algunas diferencias, pero en general, la capa superficial, temporaria, medía de 6 a 8 cm de alto, con cristales de sal de 2 a 3 mm. Esta cubierta, en parte, estaba saturada por la salmuera. Subyacentes a la costra salina, por lo menos hasta 1 metro de profundidad, se encontraron fangos negros formados por capas friables de minerales con arcilla, alternando con capas de arcillas salinas medianamente compactadas y cristales pequeños o espículas.

Se describió el perfil generalizado con las estructuras sedimentarias, los componentes y las texturas correspondientes y se expone en la figura 213 y 214).

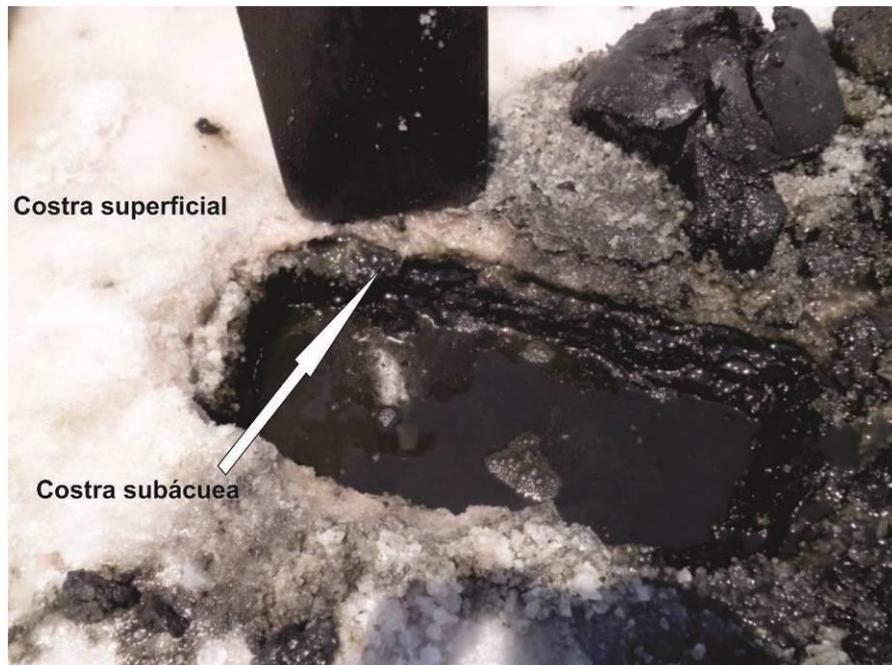


Figura 212. Salina Salitral Negro, foto del pozo cavado representativo en la zona de estudio (en M2-17).

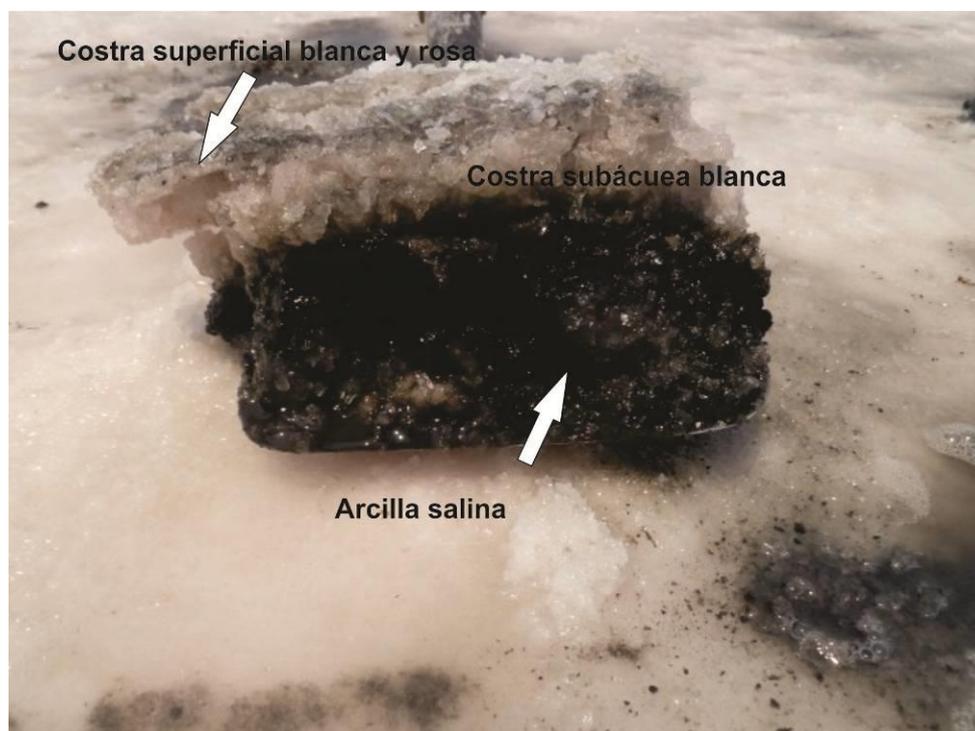


Figura 213. Salina Salitral Negro, foto del material extraído de los primeros centímetros del pozo cavado en M3-17.

**Salina Salitral Negro: perfil litológico**

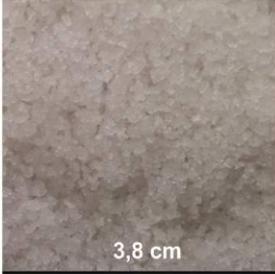
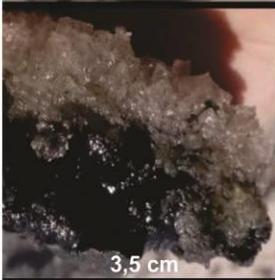
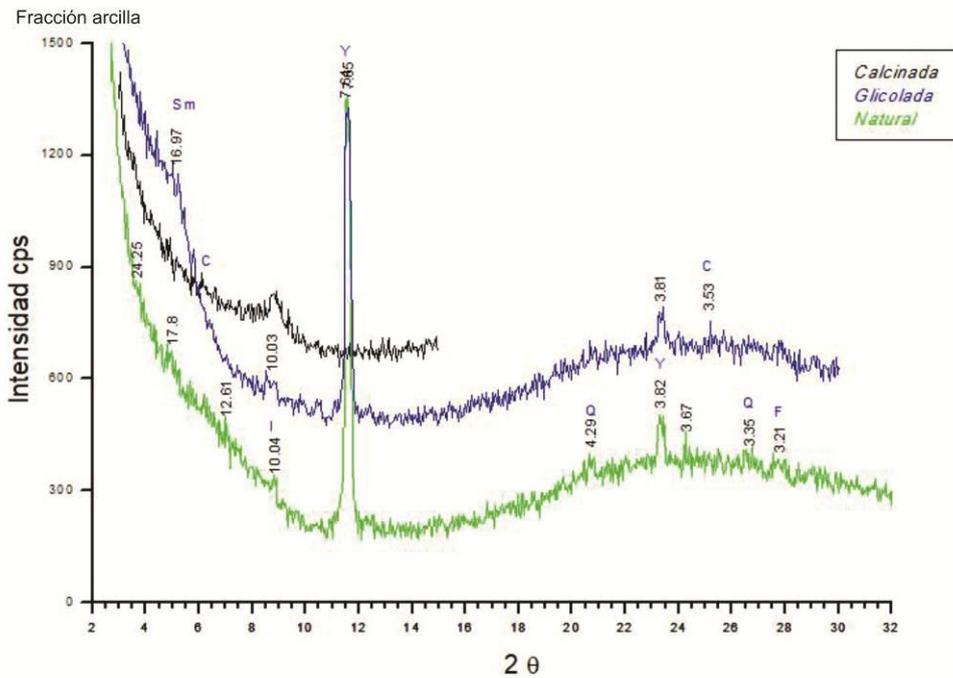
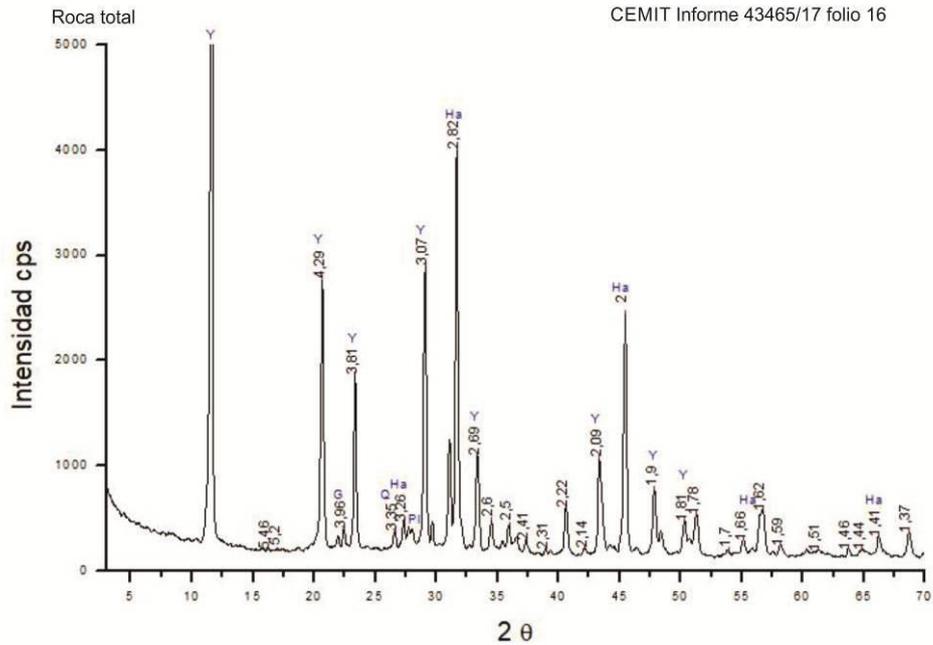
|                           | Material suelto - seco a ojo desnudo | Observación con lupa binocular  | Espesor Profundidad   | Descripción con lupa  |
|---------------------------|--------------------------------------|---|-----------------------|---|
| Costra salina superficial | costra blanca                        |    | 1 cm                  | Estructura en grumo o laminar de halita en cristales transparentes, con tamaños hasta 0,2 cm y formas cúbica masiva, pirámide hopper y tabular hopper. Compacta y alta capacidad de carga.                      |
|                           | Costra rosa                          |    | 3 cm                  | Estructura laminar compacta formada por agregados de halita con formas de tolva cúbica o cubo masivo y tabular hopper, en tamaños hasta 1 cm.   |
| Costra salina subácuea    | costra blanca                        |   | 3 cm                  | Materiales saturados en agua<br>↓<br>Estructura laminar compacta con cristales de halita translucidos blanquecinos y transparentes, con tamaños hasta 1,5 cm y formas pirámide hopper, tabular y cúbica masiva. |
|                           | arcilla salina                       |  | 3 cm                  | Arcilla masiva, medianamente compactada, color gris oscuro con cristales de yeso de 0,1 mm (en algunos casos hasta 5 mm), halita en cubos masivos, otros sulfatos de Ca y glauberita.                           |
| Fangos pútridos           | arcilla salina                       |  | 54 cm                 | Arcilla masiva, friable, color gris con cristales transparentes de halita en cubos masivos y tamaño hasta 0,8 cm, con yeso y glauberita de 1 mm.  |
|                           | arcilla salina                       |  | 40 cm (mínimo)<br>1 m | Arcilla medianamente compactada, color gris con cristales de yeso y otros sulfatos con tamaños hasta 0,2 cm.  |

Figura 214. Salina Salitral Negro, perfil litológico generalizado.

Nota: el valor en cm, en la parte inferior de cada foto, corresponde a la base de la misma.

Los fangos recolectados, se estudiaron, con la técnica de Difractometría de Rayos X, que determinó una composición de 5% de material clástico y 95% de sales.

El material clástico está formado por 1% de cuarzo, 3% de plagioclasa y 1% de arcillas. El componente salino, por otro lado, está constituido por 62% de yeso, 28% de halita y 5% de glauberita (figuras 215 y 216).



Figuras 215 y 216. Salina Salitral Negro, difractograma de Rayos X del fango salino.

Imágenes de minerales encontrados en los fangos salinos.



Figura 217. Salina Salitral Negro, cristales de halita en cubos masivos y arcilla salina, imagen de lupa binocular, (base de la imagen 0,6 cm).



Figura 218. Salina Salitral Negro, cristales de yeso con diferentes hábitos, imagen de lupa binocular, (diámetro de la imagen 1 cm), en figuras 220, 220-1 y 221, observación al microscopio electrónico .



Figura 219. Salina Salitral Negro, fragmentos de cristales de yeso prismáticos, imagen de lupa binocular (base de la imagen 0,6 cm).

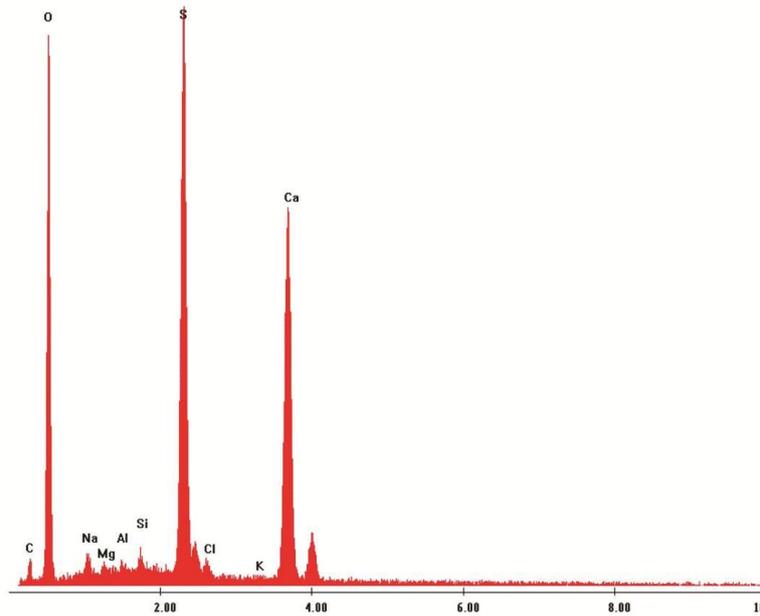
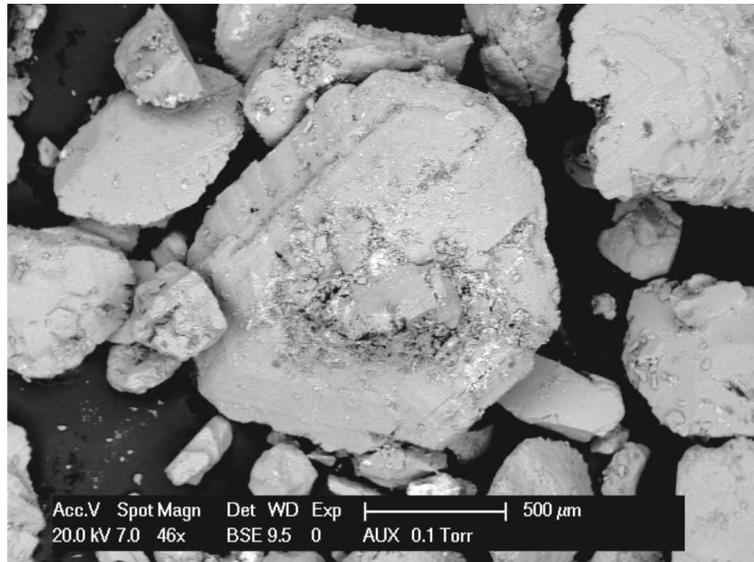


Figura 220. Salina Salitral Negro, cristal de yeso con trazas de Na, Si, Na, Mg, Al y K, imagen de microscopio electrónico.

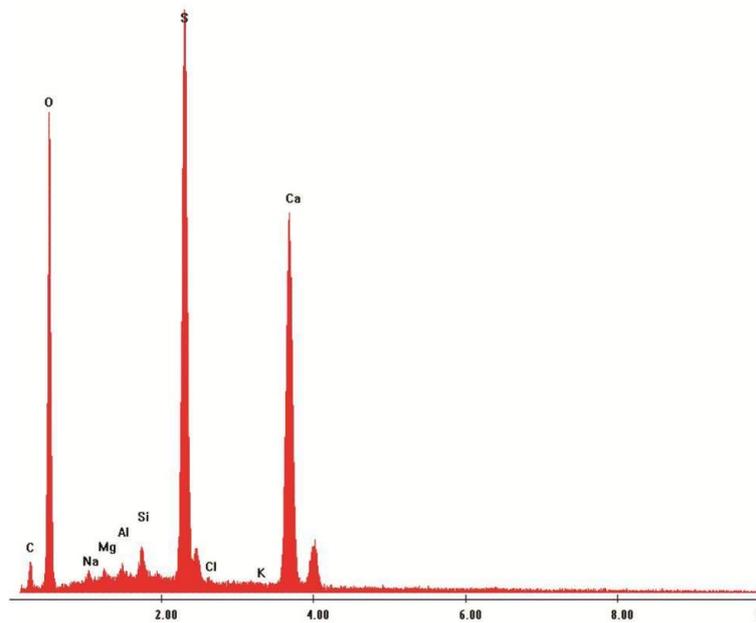
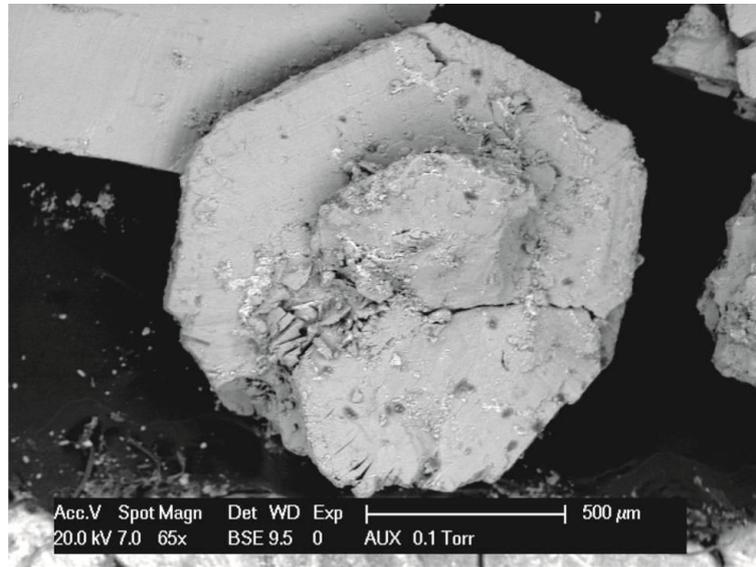


Figura 220-1. Salina Salitral Negro, cristal de yeso con trazas de Si, Mg, Na, Al y K, imagen de microscopio electrónico.

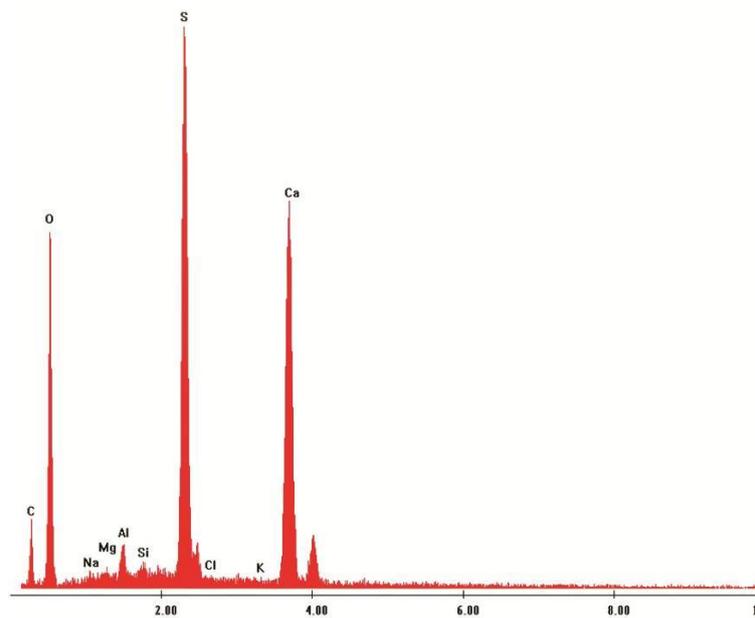
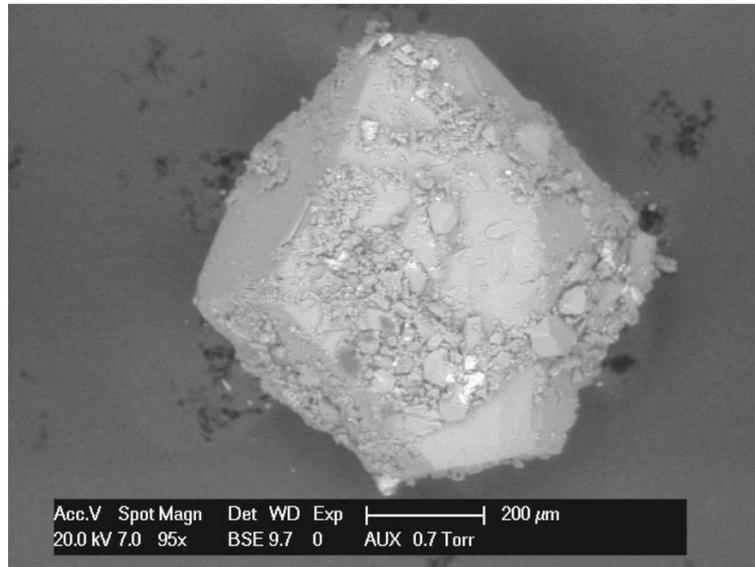


Figura 221. Salina Salitral Negro, cristal de yeso con trazas de Al, Si, Na, Mg y K, imagen de microscopio electrónico.

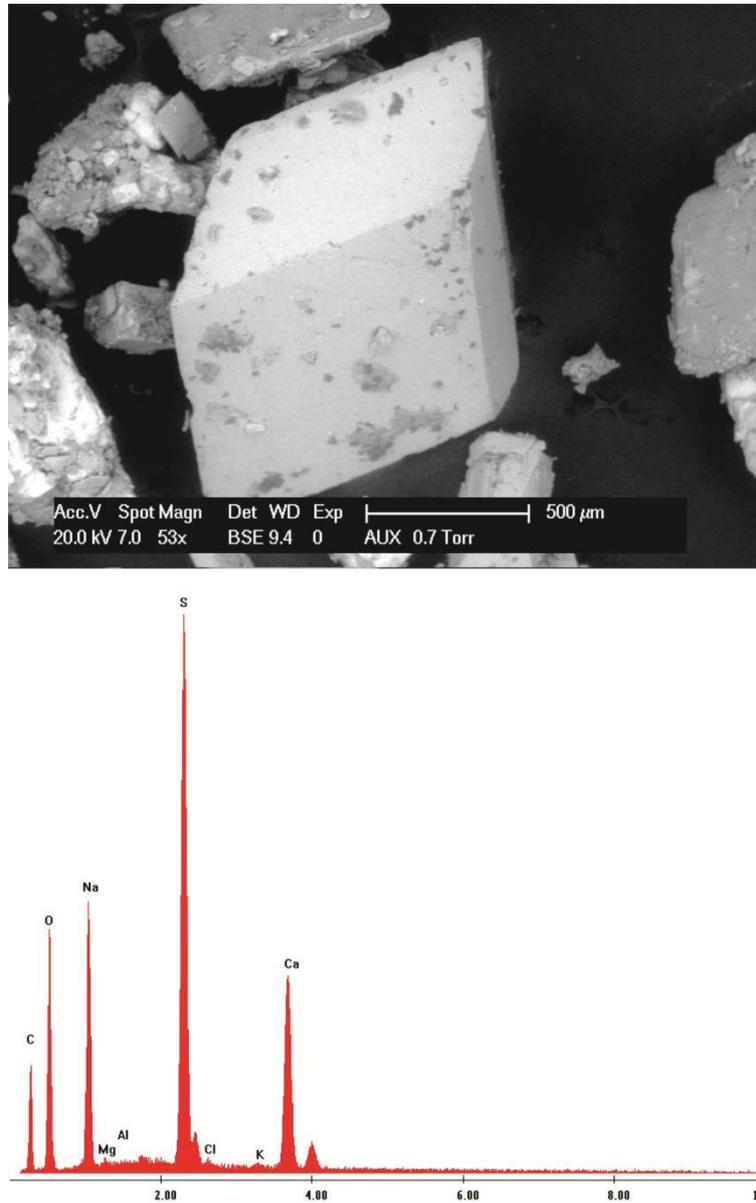


Figura 222. Salina Salitral Negro, cristal de glauberita  $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$  con trazas de Mg, K y Al, imagen de microscopio electrónico.

Análisis químicos y caracterización de salmueras, costras y sedimentos.

Los resultados de los análisis de salmueras y costras salinas realizados en el laboratorio Alex Stewart S.A. se detallan en los cuadros 85, 86 y 87.

Las salmueras muestran una concentración de sodio ( $\text{Na}^+$ ), entre 61 y 95 g/l con un alto contenido de magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ , entre 21 y 34 g/l) y un contenido medio de potasio ( $\text{K}^+$ ), entre 3 y 7,5 g/l. En el caso particular del  $\text{Li}^+$ , no se registró en ninguna de las salmueras. La figura 223 muestra la relación porcentual de los cationes en las salmueras.

Con respecto a los aniones, se destaca la alta concentración de cloruro ( $\text{Cl}^-$ , entre 166 y 171 g/l) y también de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) entre 73 y 89 g/l que asciende a 34% del total de la carga aniónica. En la figura 224, se representa la relación porcentual de aniones.

Un esquema comparativo de composición y valor químico entre las distintas muestras de salmueras, indica variaciones de concentración de los cationes hacia el centro de la cuenca, por lo menos sobre la transecta estudiada. Las muestras M1 y M2 son similares pero la muestra M3, tiene una carga catiónica menor en cuanto al  $\text{Na}^+$ , y mayor de  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , y otros elementos. En el caso de los cloruros y sulfatos se mantienen similares en toda la transecta (imagen 225).

| Tipo de muestra       | número / ubicación | Elemento            | B         | Ba        | Ca        | Fe         | K           | Li        | Mg           | Mn         | Na           | Sr         |
|-----------------------|--------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|-----------|--------------|------------|--------------|------------|
|                       |                    | Unidad              | mg/L      | mg/L      | mg/L      | mg/L       | mg/L        | mg/L      | mg/L         | mg/L       | mg/L         | mg/L       |
|                       |                    | Técnica             | ICP-OES   | ICP-OES   | ICP-OES   | ICP-OES    | ICP-OES     | ICP-OES   | ICP-OES      | ICP-OES    | ICP-OES      | ICP-OES    |
|                       |                    | Límite de detección | 1         | 0,01      | 2         | 0,3        | 2           | 1         | 1            | 0,01       | 2            | 0,5        |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M1-17              |                     | 53        | <0,10     | 69        | 3,6        | 3056        | <10       | 20567        | 1,91       | 94659        | <5         |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M2-17              |                     | 62        | <0,10     | 76        | 3,8        | 3558        | <10       | 23774        | 0,16       | 91635        | <5         |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M3-17              |                     | 129       | <0,10     | 114       | 4,2        | 7478        | <10       | 34204        | <0,10      | 60961        | 6,9        |
| <b>Salmuera negra</b> | M3bis-17           |                     | 83        | <0,10     | 95        | 6,4        | 4650        | <10       | 26710        | 1,55       | 84805        | <5         |
| <b>Promedio</b>       |                    |                     | <b>82</b> | <b>--</b> | <b>89</b> | <b>4,5</b> | <b>4686</b> | <b>--</b> | <b>26314</b> | <b>1,2</b> | <b>83015</b> | <b>6,9</b> |

Cuadro 85. Salina Salitral Negro, resultados analíticos de cationes en salmueras, expresados en miligramos/litro. Ubicación de sitios de muestreo en el mapa 22 .

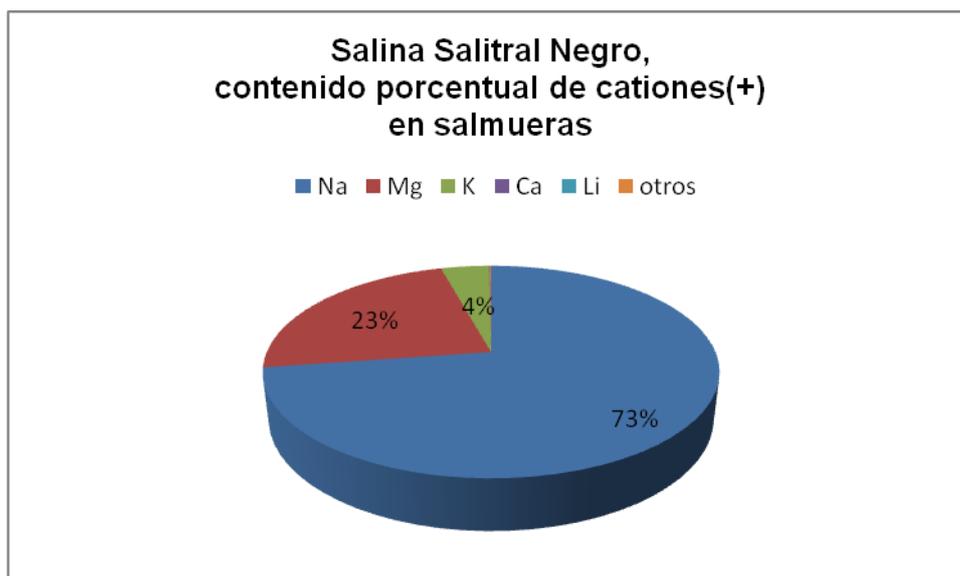


Figura 223. Salina Salitral Negro, contenido porcentual de cationes en salmueras.

| Tipo de Muestra | número / ubicación | Det. | Sulfatos SO <sub>4</sub> = | Cloruros Cl <sup>-</sup> | pH    | Conduct. | Sólidos disueltos totales (secados a 180°) | Sólidos totales (secados a 103°) |
|-----------------|--------------------|------|----------------------------|--------------------------|-------|----------|--|----------------------------------|
|                 |                    | U    | mg/l                       | mg/L                     | de pH | µS/cm    | mg/L                                       | mg/L                             |
|                 |                    | T    | Volum                      | Volum                    | ISE   | Instrum  | Grav.                                      | Grav.                            |
|                 |                    | LD   | 5                          | 5                        | 0,1   | 5        | 10   | 10                               |
| Salmuera rosa   | M1-18              |      | 77990                      | 166129                   | 7,3   | 177400   | 398120                                     | 432280                           |
| Salmuera rosa   | M2-18              |      | 88971                      | 163506                   | 7,1   | 168800   | 406160                                     | 465560                           |
| Salmuera rosa   | M3-18              |      | 84345                      | 171376                   | 6,8   | 142200   | 408440                                     | 529000                           |
| Salmuera negra  | M3bis-18           |      | 73397                      | 171376                   | 6,9   | 172300   | 392840                                     | 473180                           |
| <b>Promedio</b> |                    |      | <b>81176</b>               | <b>168097</b>            |       |          |  |                                  |

Cuadro 86. Salina Salitral Negro, resultados analíticos de aniones en salmuera, expresados en miligramos/litro. (U= unidades; T= técnica; LD= límite de detección inferior).

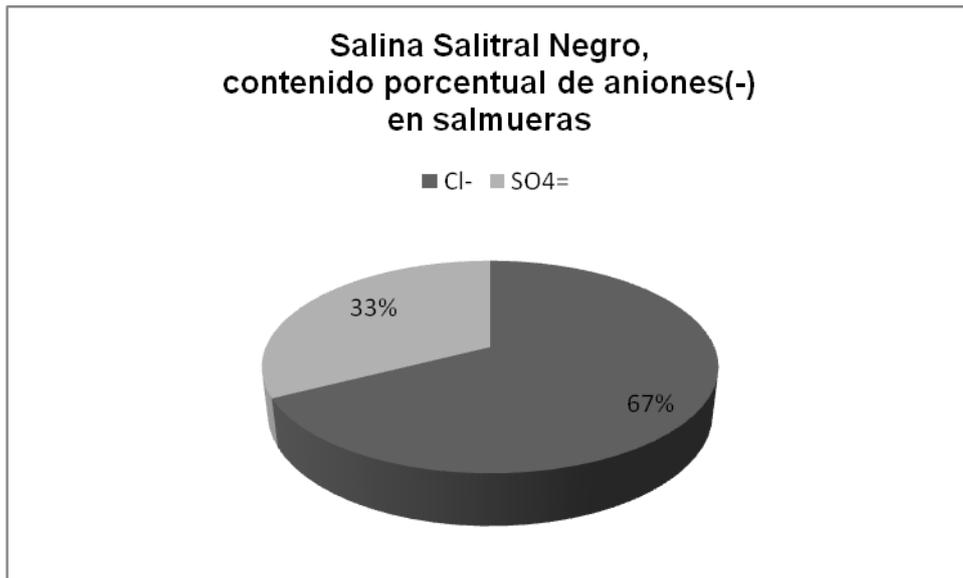


Figura 224. Salina Salitral Negro, porcentaje de aniones en salmueras.

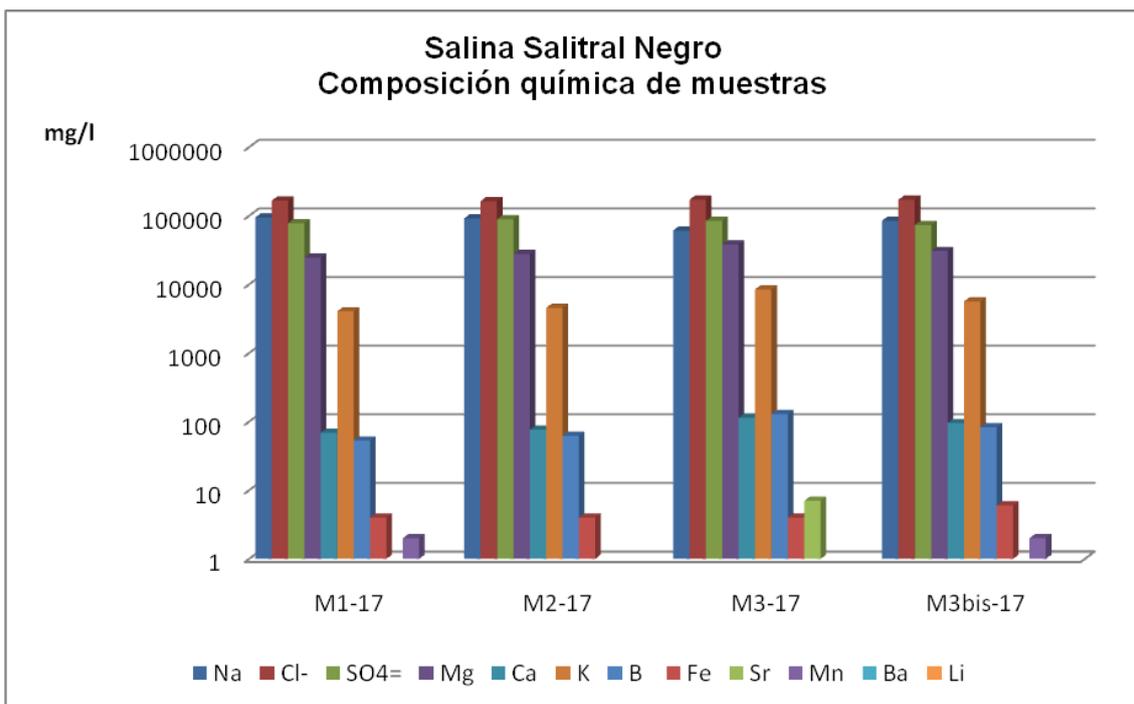


Figura 225. Salina Salitral negro, esquema comparativo entre muestras.

En referencia a la composición química de las costras salinas (cuadro 87), la cubierta superficial (o temporaria) está formada por  $\text{Na}^+$  con un contenido (4%) de  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ . Por la mineralogía observada, el  $\text{Na}^+$  forma mayoritariamente halita con el  $\text{Cl}^-$ . Con la observación a la lupa binocular, no se

detectaron minerales de Mg y K. Pudo haber sido por la baja proporción entre la halita o estos elementos están como trazas dentro del NaCl.

Por su parte, la costra salina sub-ácuea, (costra permanente), está constituida esencialmente por  $\text{Na}^+$  en la forma de halita y sulfatos como yeso y glauberita. En el caso del  $\text{K}^+$  no se identificaron minerales de este catión, pudo haber sido porque estaban en muy pequeña proporción, enmascarados entre otros cristales o corresponde a las trazas detectadas por el ME, en los sulfatos.

No se registró  $\text{Li}^+$  en ambas costras.

| Tipo de muestra | número / ubicación | Elemento            | B        | Ba       | Ca       | Fe       | K        | Li       | Mg       | Mn       | Na       | Sr       |
|-----------------|--------------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                 |                    | Unidad              | mg/kg MS |
|                 |                    | Técnica             | ICP-OES  |
|                 |                    | Límite de detección | 50       | 0,5      | 2        | 15       | 2        | 50       | 0,01     | 1        | 2        | 25       |
| <b>Costra</b>   | superficial        |                     | <50      | <0,5     | 377      | <15      | 2064     | <50      | 15711    | 0,88     | 335318   | <25      |
| <b>Costra</b>   | subácuea           |                     | <50      | 2,90     | 7933     | 30,6     | 818      | <50      | 2932     | 8,40     | 349200   | 125,6    |

Cuadro 87. Salina Salitral Negro, resultados analíticos de cationes en costras salinas, expresados en miligramos/kilogramo.

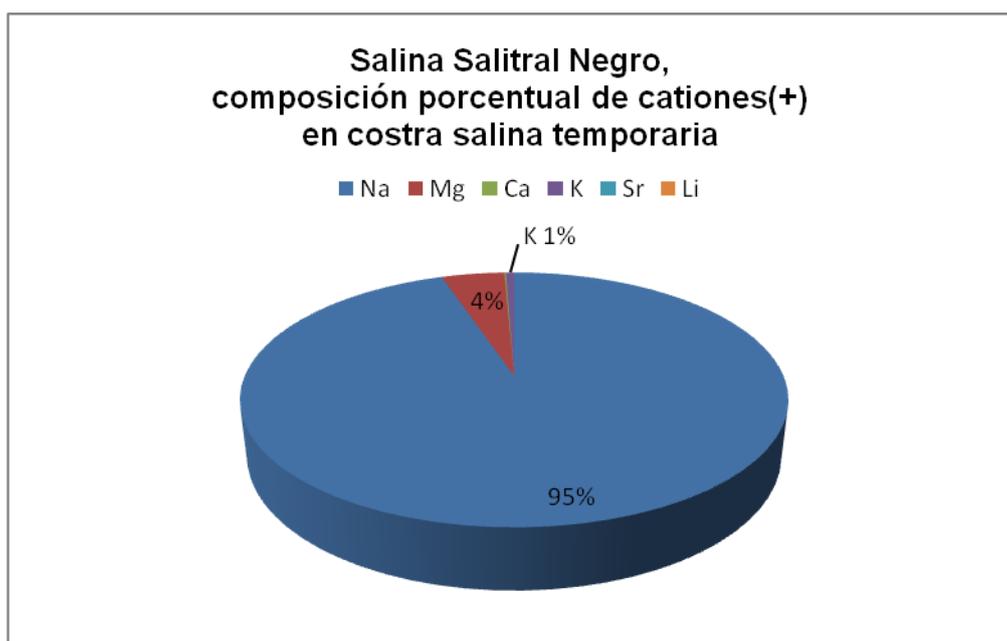


Figura 226. Salina Salitral Negro, composición porcentual de cationes en costra salina temporaria.

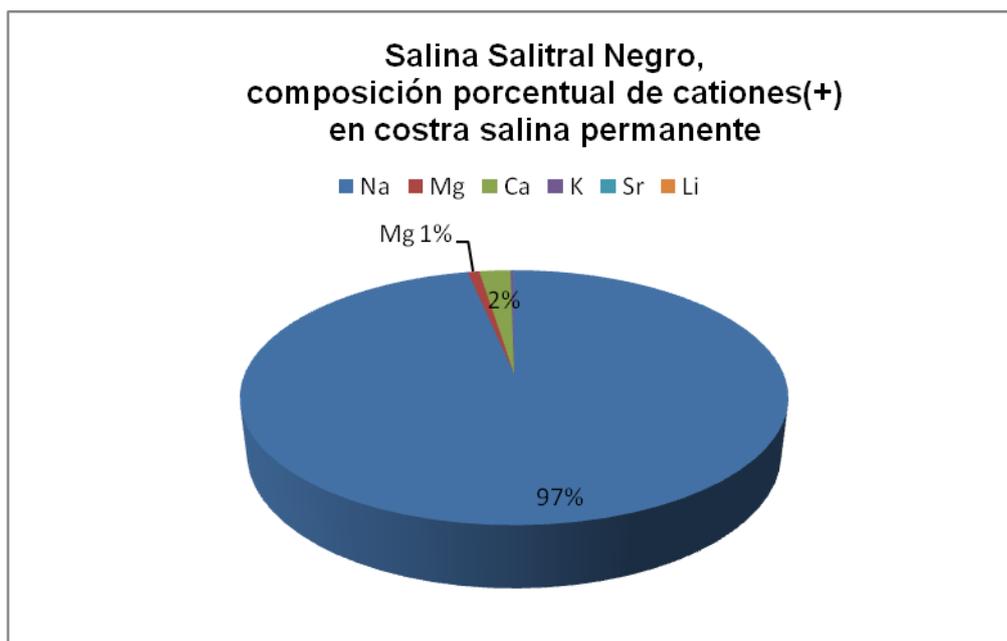


Figura 227. Salina Salitral Negro, composición porcentual de cationes en costra salina permanente.

Los análisis químicos del cuadro 88 corresponden a los resultados provistos por el laboratorio Actlabs, en relación a los estudios efectuados al material clásico de los fangos salinos.

|                       | Elemento            | Na   | Mg     | Ca     | K      | Fe   | Sr     | Mn     | Ba   | Li     |
|-----------------------|---------------------|------|--------|--------|--------|------|--------|--------|------|--------|
|                       | Unidad              | %    | %      | %      | %      | %    | ppm    | ppm    | ppm  | ppm    |
|                       | Límite de detección | 0,01 | 0,01   | 0,01   | 0,01   | 0,01 | 1      | 1      | 50   | 1      |
|                       | Técnica             | INAA | TD-ICP | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP |
| <b>Fangos salinos</b> |                     | 0,68 | 0,91   | 13,3   | 0,31   | 1,28 | 1190   | 271    | 170  | 9      |

Cuadro 88. Salina Salitral Negro, resultados analíticos de cationes de fangos salinos, expresados en porcentaje o partes por millón. INAA: activación neutrónica, TD-ICP: digestión total-plasma acoplado por inducción.



Mapa 23. Sector 5, Salina El Chancho. Ubicación de puntos de muestreo.

## Salina El Chancho o Salina del Km 52

Salina en producción de NaCl, que se ubica en la Sección IV, Fracción C, Lote 22 Se accede a ella por la Ruta Provincial 1, recorriendo 35 km hacia el sur desde la ruta Provincial 30. Si se parte de la localidad de La Adela, se recorren 36 km aproximadamente por la Ruta Nacional 22 hasta la Ruta Provincial 1 y luego se toma hacia el norte unos 35 km hasta la entrada de la salina (mapa 23).



Figura 228. Salitral El Chancho, vista de la costra superficial y el entorno de la salina.

Tiene forma ovoidal, con el eje mayor de 5 km y el eje menor de 2 km. Está ubicada a lo largo de una falla con escarpe de rumbo NO (Consejo Federal de Inversiones, 1981). El área total es de 10 km<sup>2</sup>, con un área explotable de casi la mitad.

El muestreo fue realizado el 27-12-2016. En condiciones de iniciarse la cosecha de sal 2016. En esa oportunidad, el piso de la salina mostraba una estructura laminar compacta en toda su extensión, con alta capacidad portante.

En los sectores de crecimiento de la cubierta superficial y en las crestas de avance, se hallaban agregados circulares de hasta 3 cm de diámetro.



Figura 229. Salina El Chancho, aspecto de la costra salina superficial.

La salina se muestreó con 3 pozos que se cavaron hasta una profundidad de 50 cm. Una muestra adicional de agua se efectuó en un pozo surgente que se ubica en el costado noreste de la salina (M4-18). La ubicación de las muestras (M1-18; M2-18; M3-18; M4-18) puede observarse en el mapa 23 y las geo-referencias con sus características se describen en el cuadro 89.

| Fecha      | Denominación específica del lugar | Tipo de trabajo           | Tipo de material recolectado | Nombre de la Muestra | Latitud       | Longitud      |
|------------|-----------------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| 28/12/2016 | Salina El Chancho                 | pozo cavado               | salmuera/sedimentos          | M1-18                | 38°37'15.61"S | 63°46'46.63"O |
| 28/12/2016 | Salina El Chancho                 | pozo cavado               | salmuera/sedimentos          | M2-18                | 38°37'26.56"S | 63°47'28.09"O |
| 28/12/2016 | Salina El Chancho                 | pozo cavado               | salmuera/sedimentos          | M3-18                | 38°37'48.15"S | 63°48'11.68"O |
| 28/12/2016 | Salina El Chancho                 | surgente de pozo profundo | agua                         | M4-18                | 38°37'15.22"S | 63°45'46.10"O |

Cuadro 89. Salina El Chancho, geo-referencias de las muestras.

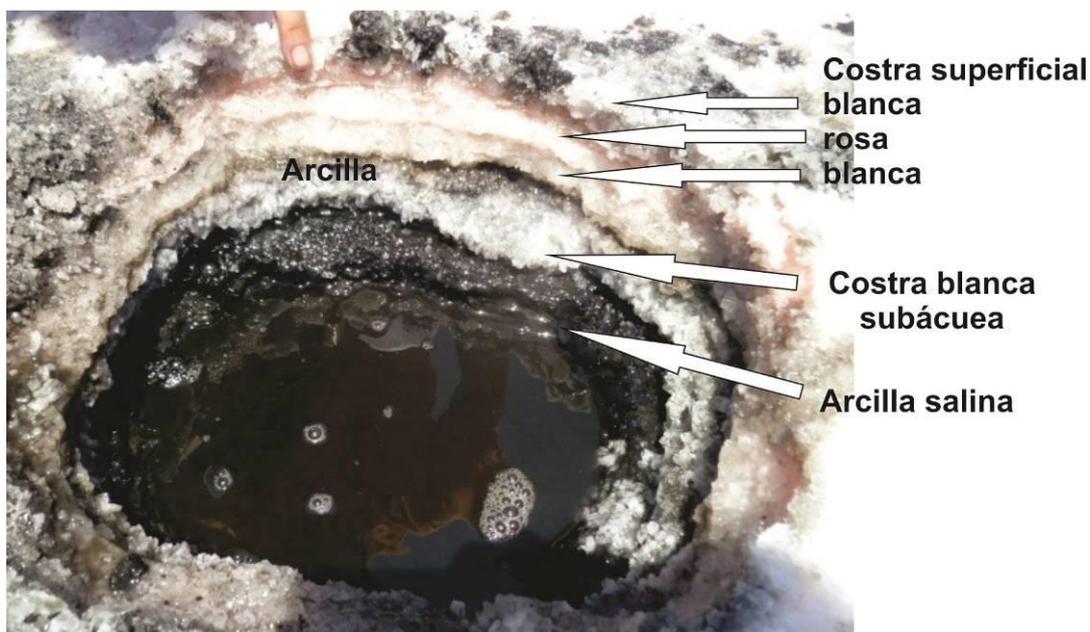


Figura 230. Salina El Chancho, perfil del pozo en M3-18.

En cada punto muestreado en la salina, se recolectaron salmueras intraporales y por debajo de la costra temporaria, se midió el pH, a temperatura ambiente (41°C) y se recolectó material en los pozos hasta una profundidad de 50 cm. Durante la recolección de las salmueras, se les realizó in situ, una descripción del aspecto general. En el cuadro 90 se detallan las observaciones.

\*El color corresponde a la salmuera luego del precipitado natural de los sedimentos

| Número    | Muestra              | Extraída de                         | Color      | Olor    | Aspecto      | pH campo                |
|-----------|----------------------|-------------------------------------|------------|---------|--------------|-------------------------|
| M1-18     | <b>Salmuera</b>      | Intraporal a la costra superficial  | rosado     | inodoro | translúcido  | 6<br>(temperatura 41°C) |
| M1bis-18  | <b>Salmuera</b>      | Por debajo de la costra superficial | gis claro  | fétido  | translúcido  |                         |
| M2-18     | <b>Salmuera</b>      | Intraporal a la costra superficial  | rosado     | inodoro | translúcido  |                         |
| M2-bis-18 | <b>Salmuera</b>      | Por debajo de la costra superficial | gris claro | fétido  | translúcido  |                         |
| M3-18     | <b>Salmuera</b>      | Intraporal a la costra superficial  | rosado     | inodora | translúcido  |                         |
| M3bis-18  | <b>Salmuera</b>      | Por debajo de la costra superficial | gris claro | fétido  | translúcido  |                         |
| M4-18     | <b>Agua surgente</b> | pozo                                | incolore   | inodoro | transparente |                         |

Cuadro 90. Salina El Chancho, observaciones en campo de las salmueras muestreadas.

En el perfil del pozo labrado en el interior de la salina, se halló una capa temporaria de 6-7 cm de alto, (este valor varía levemente en otros pozos); luego, por debajo, saturada en agua, una capa de sal blanca. Subyacen a las capas de sal, fangos salinos por lo menos hasta los 50 cm (figura 230).

Los fangos recolectados, se estudiaron, con la técnica de Difractometría de Rayos X, que determinó una composición del 99% de sales con 1% de arcillas. Entre las sales, el 90% corresponde a halita, un 3% a glauberita, 2% epsomita y 4% sulfatos de Mg.

El 1% correspondiente a las arcillas, está constituido por esmectitas e illita.(figuras 231 y 232).

Con la información de los difractogramas de Rayos X, las observaciones en el campo, el análisis de los materiales a ojo desnudo y a la lupa binocular, se expone a continuación el perfil litológico con las descripciones de las estructuras sedimentarias, los componentes de los materiales (de mayor a menor porcentaje) y sus texturas correspondientes (figura 233).

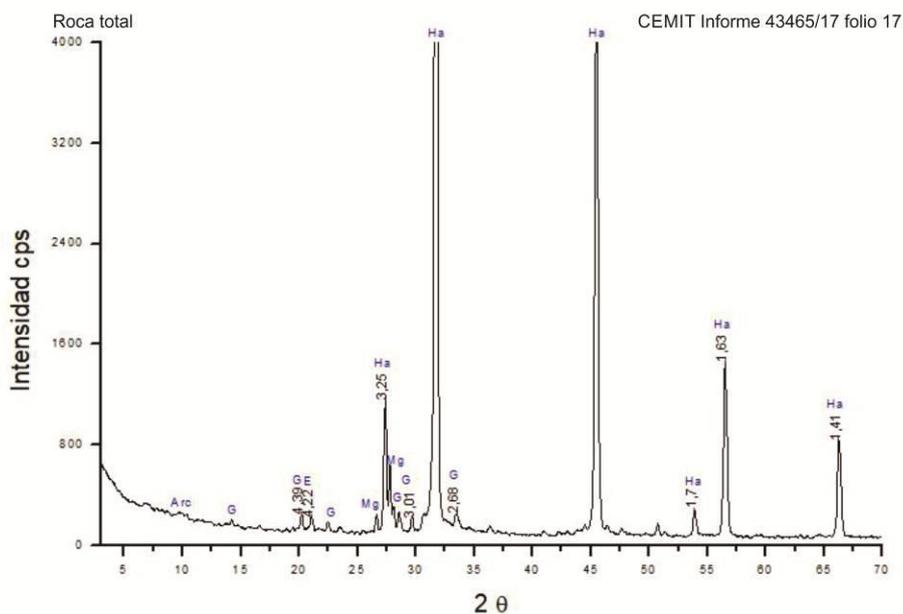
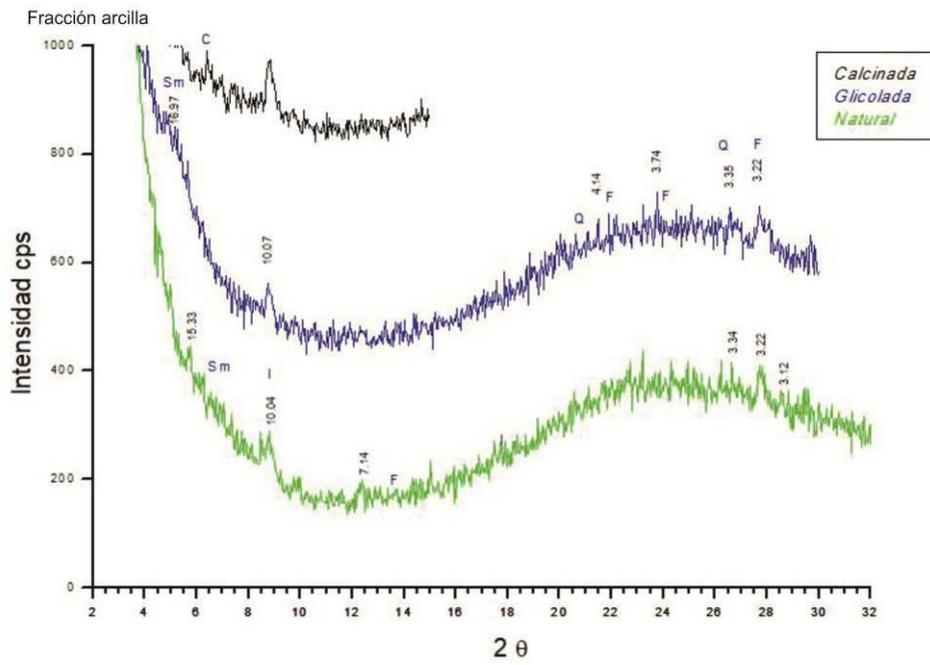


Figura 231. Salina El Chanco, difractograma de Rayos X, (roca total) de fangos salinos.



Figuras 232. Salina El Chanco, difractograma de Rayos X, (fracción arcilla) de fangos salinos.

**Salina El Chancho: perfil litológico**

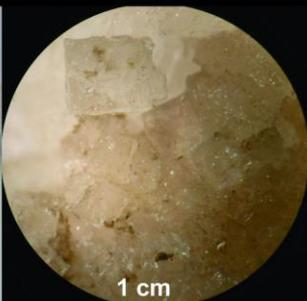
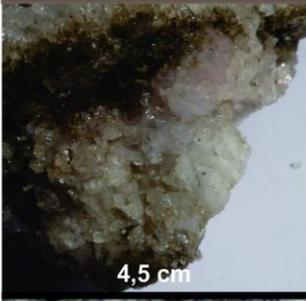
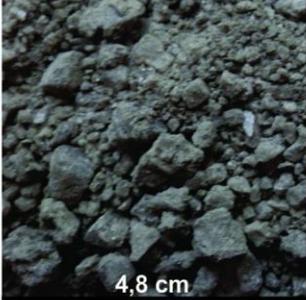
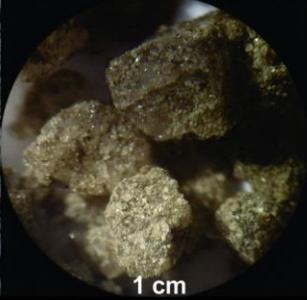
|                           | Material suelto - seco a ojo desnudo | Observación con lupa binocular  | Espesor Profundidad   | Descripción con lupa   |
|---------------------------|--------------------------------------|---|---|--|
| Costra salina superficial | costra blanca                        |    |    | 2 cm<br>Estructura en círculos con diámetros de 3 cm o laminar, de halita en cristales translúcidos blanquecinos y transparentes, con tamaños hasta 0,2 cm y formas tabular o cúbica masiva y pirámide hopper.<br>Cristales transparentes de glauberita.<br>Compacta y muy buena capacidad portante. |
|                           | Costra rosa                          |    |    | 5 cm<br>Estructura laminar compacta, formada por halita rosa transparente o translúcida blanquecina, con forma cúbica masiva en tamaños hasta 0,3 cm que se apoya sobre cristales blancos transparentes, con tamaños hasta 1,5 cm y texturas cúbica masiva y tabular hopper.                         |
| Costra salina subáerea    | costra blanca                        |  |  | 5 cm<br>Materiales saturados en agua<br>↓ ver (—) 0,5 cm de arcilla de color pardo grisáceo en el contacto con el agua.<br>Estructura laminar compacta, con cristales de halita translúcidos blanquecinos y transparentes, con tamaños hasta 1,5 cm y texturas chevron, tabular y cúbica masiva.     |
|                           | Fangos pútridos arcilla salina       |  |  | 45 cm (mínimo)<br>Estructura laminar paralela, semicompactada de arcilla color gris oscuro, con cristales piramidales de halita en tamaños hasta 0,5 cm, glauberita, sulfatos de Na y Mg y sulfatos de Mg.<br>50 cm  |

Figura 233. Salina El Chancho, perfil litológico generalizado.

Nota: el valor en cm, en la parte inferior de cada foto, corresponde a la base de la misma.

Minerales hallados en costra superficial y en los fangos salinos.



Figura 234. Salina El Chanco, cristal de astracanita-bloedita con hábito en roseta, entrelazada a la halita superficial, imagen de lupa binocular, (base de la imagen 0,1 cm).



Figura 235. Salina El Chanco, cristal de glauberita, hallado en fangos salinos, imagen de lupa binocular, (base de la imagen 0,2 cm).

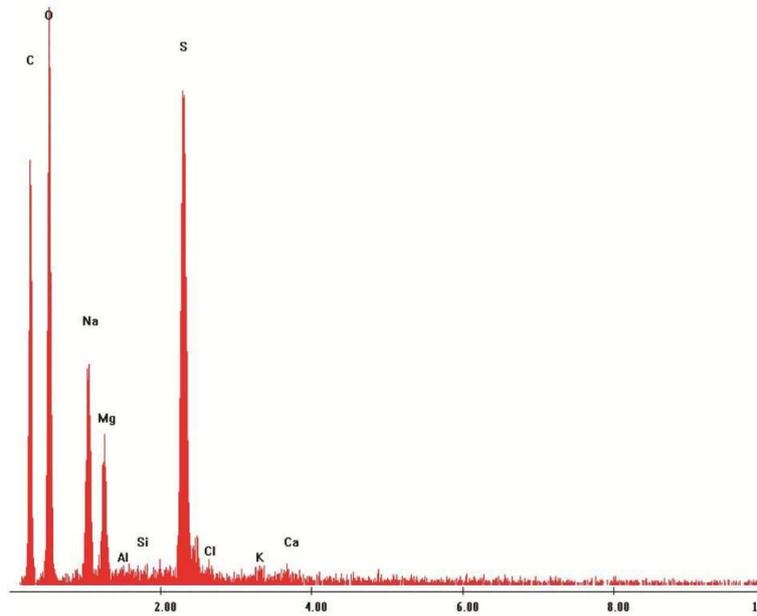
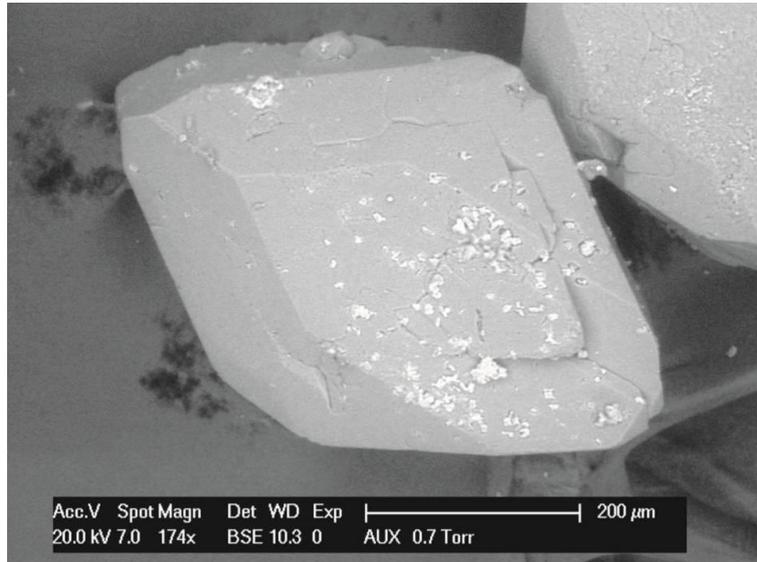


Figura 236. Salina El Chanco, cristal de bloedita-astracanita( $\text{Na}_2\cdot\text{SO}_4\cdot\text{MgSO}_4\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) con trazas de Ca, K, Al y Si. Imagen de microscopio electrónico (ver imagen de lupa binocular en figura 234).

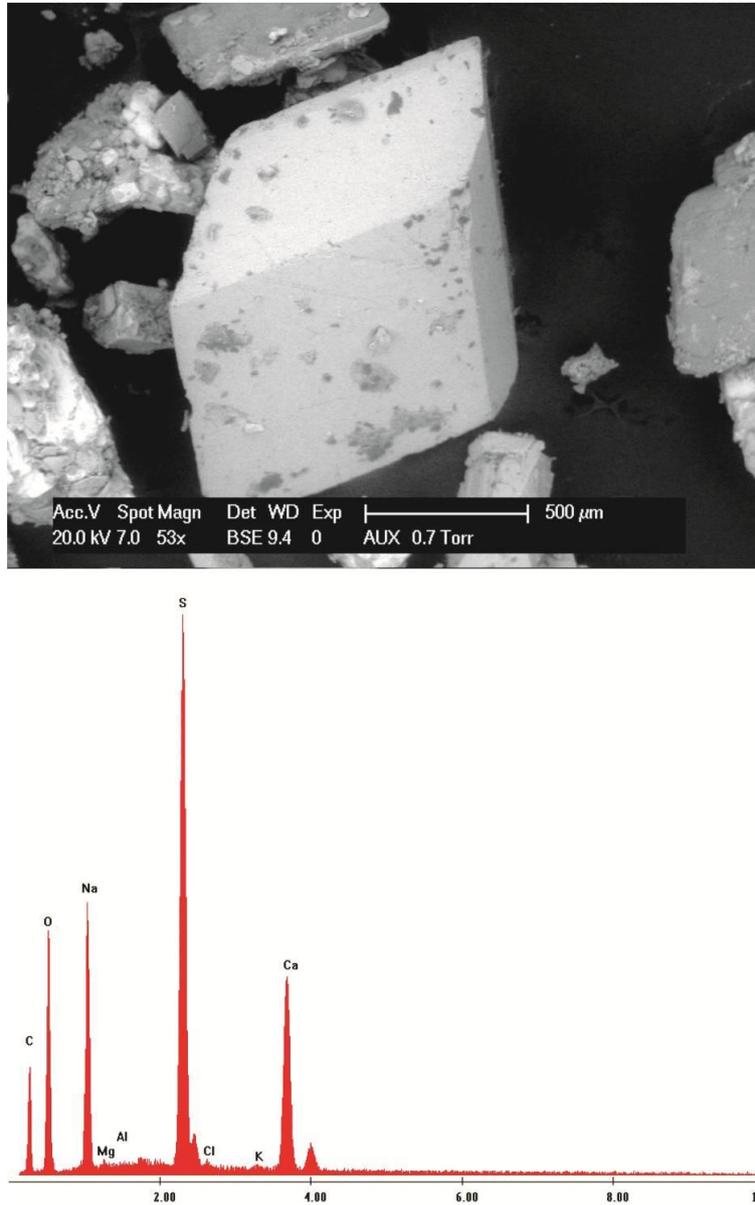


Figura 237. Salina El Chancho, glauberita, con trazas de Mg, K y Al, hallado en fangos salinos, imagen al microscopio electrónico (ver imagen de lupa binocular en la figura 235).

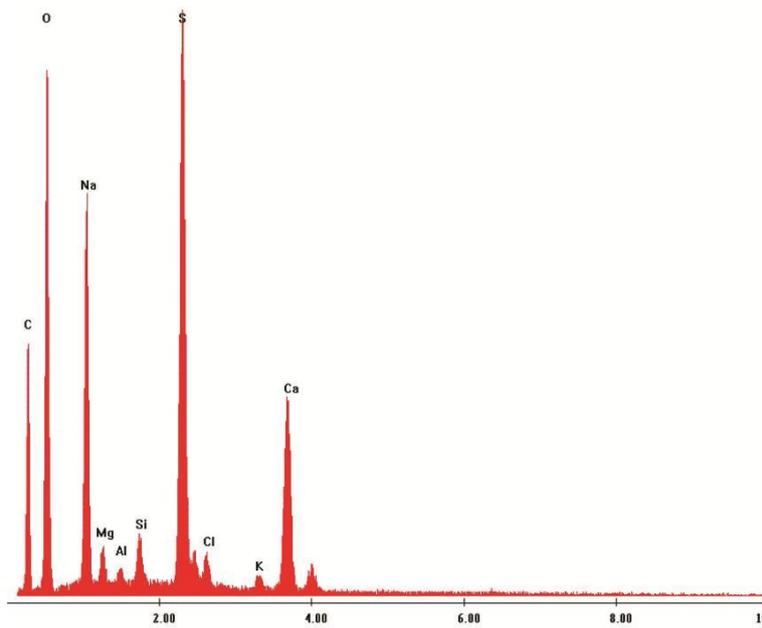
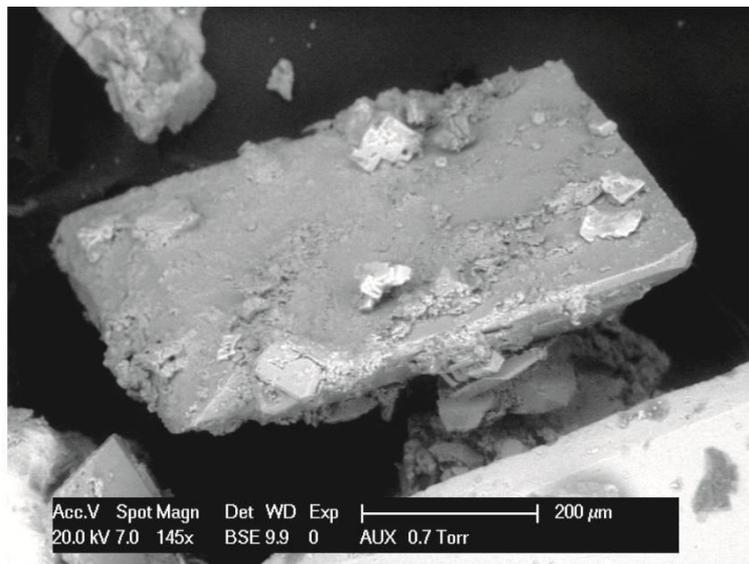


Figura 238. Salina El Chancho, cristal de glauberita con trazas de Mg Si, Al y K hallado en fangos salinos, imagen de microscopio electrónico.

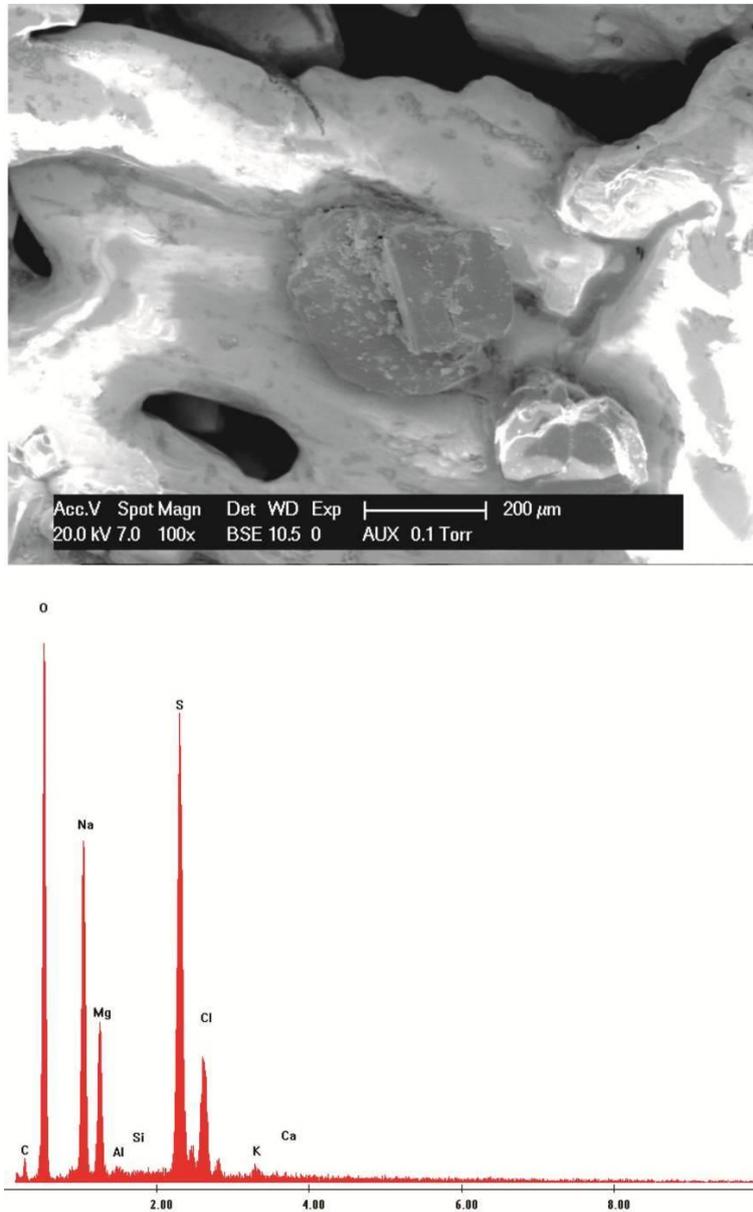


Figura 239. Salina El Chanco, sulfato de Na y Mg (Astracanita-bloedita) con trazas de K, Al, Ca, Cl y Si, de costra salina temporaria, imagen al microscopio electrónico.

### Análisis químicos y caracterización de salmueras, costras y sedimentos

En los cuadros 91 se presentan los resultados de los análisis químicos realizados por el laboratorio Alex Stewart S.A. sobre las muestras de salmueras y costras salinas.

De ello se desprende que las salmueras tienen un alto contenido de sodio ( $\text{Na}^+$  entre 90 y 98 g/l) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ , entre 16 y 24 g/l) con valores de potasio ( $\text{K}^+$ ) entre 3,5 y 9,7 g/l. En el caso particular del  $\text{Li}^+$ , el catión no está presente en las salmueras de la salina y el resto de los cationes están en ínfima proporción.

En la figura 240 se observa la relación porcentual de cada catión.

Con respecto a los aniones, se destaca la alta concentración de cloruro ( $\text{Cl}^-$ , entre 169 y 177 g/l) y también de sulfato ( $\text{SO}_4^{=}$ , entre 65 y 85 g/l).

En la figura 241 se representa la relación porcentual de aniones.

| Tipo de muestra          | número / ubicación | Elemento            | B          | Ba             | Ca        | Fe         | K           | Li            | Mg           | Mn         | Na           | Sr         |
|--------------------------|--------------------|---------------------|------------|----------------|-----------|------------|-------------|---------------|--------------|------------|--------------|------------|
|                          |                    | Unidad              | mg/L       | mg/L           | mg/L      | mg/L       | mg/L        | mg/L          | mg/L         | mg/L       | mg/L         | mg/L       |
|                          |                    | Técnica             | ICP-OES    | ICP-OES        | ICP-OES   | ICP-OES    | ICP-OES     | ICP-OES       | ICP-OES      | ICP-OES    | ICP-OES      | ICP-OES    |
|                          |                    | Límite de detección | 1          | 0,01           | 2         | 0,3        | 2           | 1             | 1            | 0,01       | 2            | 0,5        |
| <b>Salmuera rosa</b>     | M1-18              |                     | 148        | 0,11           | 91        | 3,7        | 9705        | <10           | 24329        | 0,45       | 96652        | 6,1        |
| <b>Salmuera negra</b>    | M1bis-18           |                     | 138        | <0,10          | 78        | 6,4        | 9057        | <10           | 23651        | 0,91       | 90296        | <5         |
| <b>Salmuera rosa</b>     | M2-18              |                     | 120        | <0,10          | 76        | 3,6        | 7625        | <10           | 22690        | <0,10      | 95270        | <5         |
| <b>Salmuera negra</b>    | M2-bis-18          |                     | 108        | <0,10          | 82        | 5          | 6731        | <10           | 21492        | 0,39       | 97447        | <5         |
| <b>Salmuera rosa</b>     | M3-18              |                     | 72         | <0,10          | 82        | 3,6        | 4502        | <10           | 18313        | 0,58       | 97957        | <5         |
| <b>Salmuera negra</b>    | M3bis-18           |                     | 59         | <0,10          | 73        | 4,6        | 3552        | <10           | 16099        | 0,90       | 98775        | <5         |
| <b>agua</b>              | M4-18              |                     | 6          | <0,01          | 514       | <0,3       | 100         | <1            | 247          | <0,01      | 1827         | 7,8        |
| <b>Promedio salmuera</b> |                    |                     | <b>108</b> | <b>0,11 --</b> | <b>80</b> | <b>4,5</b> | <b>6862</b> | <b>&lt;10</b> | <b>21096</b> | <b>0,6</b> | <b>96066</b> | <b>6,1</b> |

Cuadro 91. Salina El Chancho, resultados analíticos de cationes de salmueras, expresados en miligramos/litro. Ubicación de sitios de muestreo en el mapa 23 .

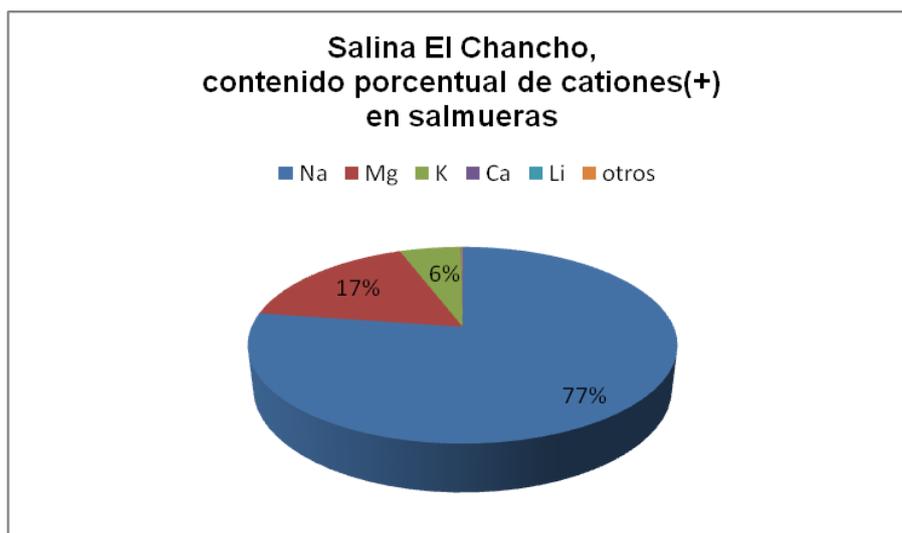


Figura 240. Salina El Chancho, contenido porcentual de cationes en salmueras.

| Tipo de Muestra           | número / ubicación | Det. | Sulfatos SO4= | Cloruros Cl-  | pH    | Conduct. | Sólidos disueltos totales (secados a 180°) | Sólidos totales (secados a 103°) |
|---------------------------|--------------------|------|---------------|---------------|-------|----------|--|----------------------------------|
|                           |                    |      | mg/l          | mg/L          | de pH |          | µS/cm                                      | mg/L                             |
|                           |                    | U    |               |               |       |          |  |                                  |
|                           |                    | T    | Volum         | Volum         | ISE   | Instrum  | Grav.                                      | Grav.                            |
|                           |                    | LD   | 5             | 5             | 0,1   | 5        | 10   | 10                               |
| Salmuera rosa             | M1-18              |      | 81398         | 168752        | 7,2   | 174300   | 411480                                     | 482580                           |
| Salmuera negra            | M1bis-18           |      | 80756         | 172250        | 7,1   | 175200   | 407840                                     | 478640                           |
| Salmuera rosa             | M2-18              |      | 84608         | 176622        | 7,2   | 174700   | 406760                                     | 458980                           |
| Salmuera negra            | M2-bis-18          |      | 77496         | 176622        | 7,1   | 180700   | 398960                                     | 462640                           |
| Salmuera rosa             | M3-18              |      | 73462         | 173124        | 7,2   | 187900   | 395640                                     | 419520                           |
| Salmuera negra            | M3bis-18           |      | 64671         | 174673        | 6,9   | 197300   | 387760                                     | 404980                           |
| Agua                      | M4-18              |      | 4363          | 1460          | 8     | 11020    | 9584                                       | 9616                             |
| <b>Promedio salmueras</b> |                    |      | <b>77065</b>  | <b>173674</b> |       |          |  |                                  |

Cuadro 92. Salina El Chancho, resultados analíticos de aniones en salmueras, expresados en miligramos/litro, (U= unidades; T= técnica; LD= límite de detección inferior).

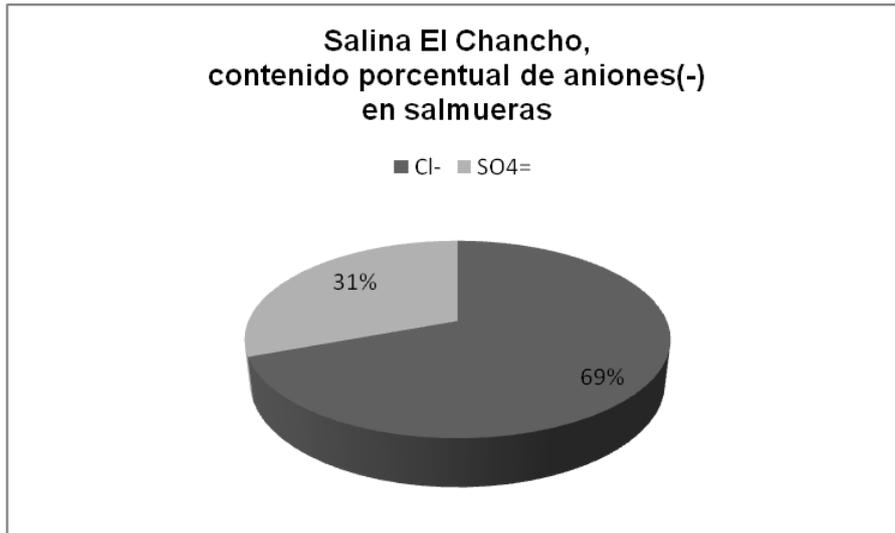


Figura 241. Salina El Chancho, contenido porcentual de aniones en salmueras.

Un esquema comparativo de composición y valor químico entre las distintas muestra de la salina, indica que mientras el Na<sup>+</sup> y el Cl<sup>-</sup> mantienen una concentración aproximadamente igual en todas las muestras, el resto de los iones varían sus concentraciones hacia el centro de la cuenca, por lo menos sobre la transecta estudiada. Los cationes Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> y el anión SO<sub>4</sub><sup>=</sup> disminuyen paulatianamente desde el borde hacia el centro (ncluyendo salmueras intraporales y salmueras negras).

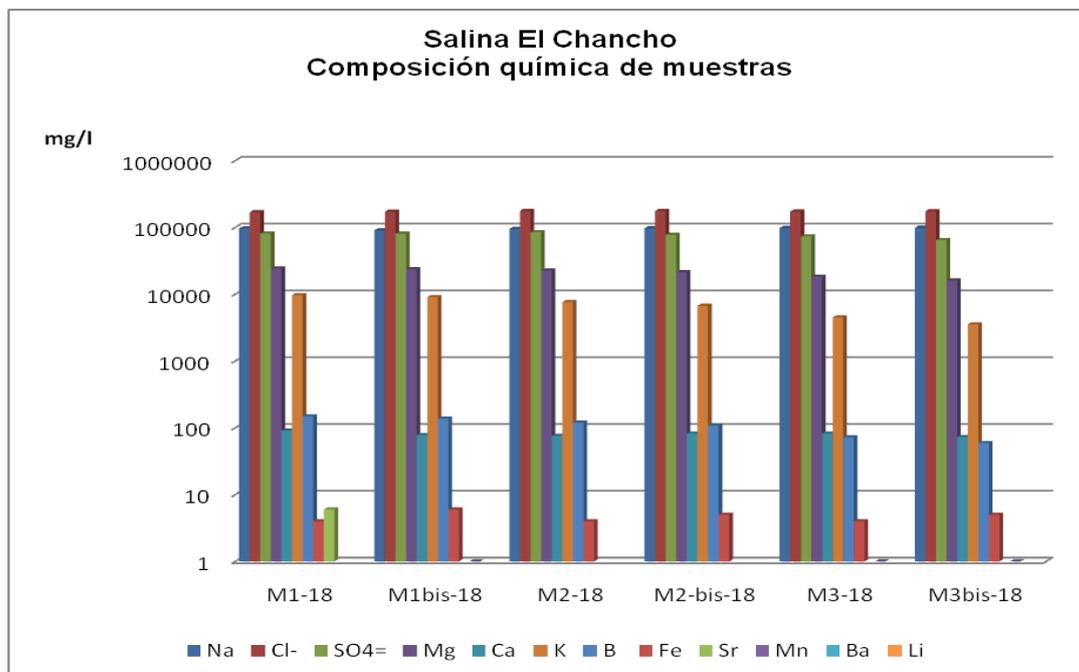


Figura 242. Salina El Chancho, comparativo de concentraciones de cationes y aniones entre muestras de salmueras, en miligramo/litro.

| Tipo de muestra | Número / ubicación | Elemento | B        | Ba       | Ca       | Fe       | K        | Li       | Mg       | Mn       | Na       | Sr       |
|-----------------|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                 |                    | Unidad   | mg/kg MS |
|                 |                    | Técnica  | ICP-OES  |
|                 |                    | L detec. | 50       | 0,5      | 2        | 15       | 2        | 50       | 1        | 0,01     | 2        | 25       |
| <b>Costra</b>   | superficial        |          | <50      | <0,5     | 761      | <15      | 2580     | <50      | 10255    | 2,19     | 332836   | 31       |
| <b>Costra</b>   | subácuea           |          | <50      | 2,90     | 14209    | 35,7     | 982      | <50      | 2971     | 8,14     | 322590   | 182,2    |

Cuadro 93. Salina El Chancho, resultados analíticos de cationes en costras salinas.

Sobre la composición de la costra salina superficial, en el cuadro 93, se destaca el catión  $\text{Na}^+$ , con 332 g/kg acompañado de un 4% de  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ . Esto está acorde con lo visto en la costra superficial a la lupa binocular; los minerales hallados fueron halita y astracanita. El resto de los cationes probablemente se hallen como trazas dentro de la halita o en la astracanita como se observó al ME (figura 243).

La costra sub-ácuea, está representada por niveles masivos de halita compactada y minerales en fangos salinos, en donde se destacan el  $\text{Na}^+$  acompañado con una pequeña proporción (4%) de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . En los fangos se encontraron glauberita, y astracanita con trazas de K. No se observaron la epsomita y otros sulfatos de Mg, que fueron detectados por DRX (figura 244).

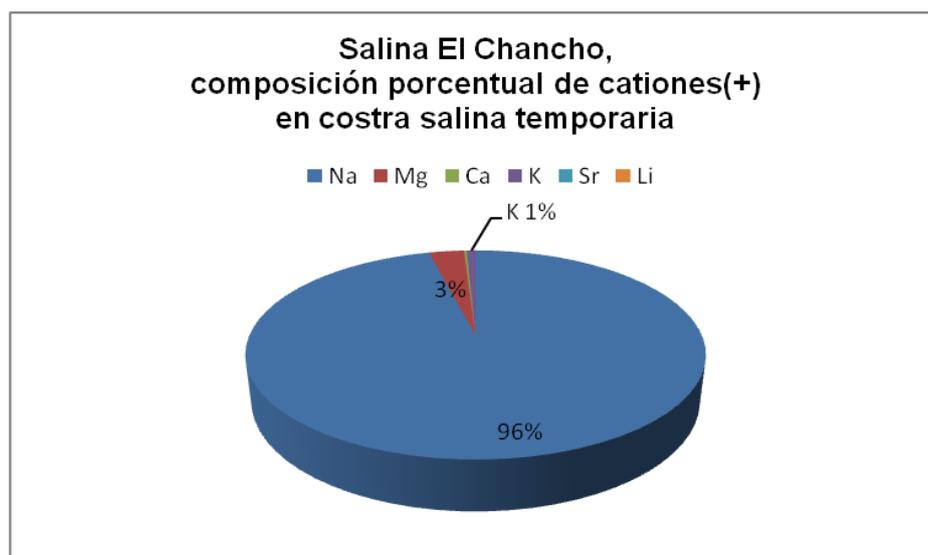


Figura 243. Salina El Chancho, composición porcentual de cationes en costra salina temporaria.

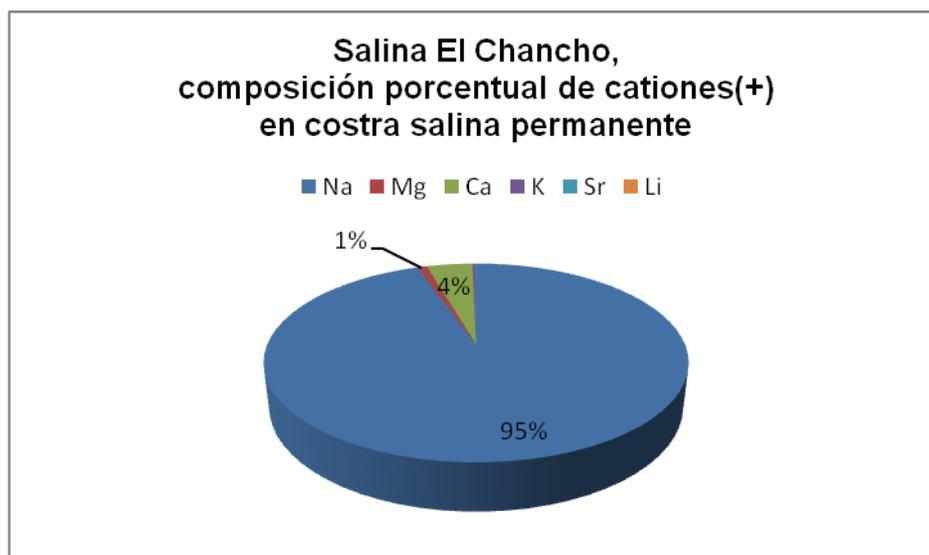
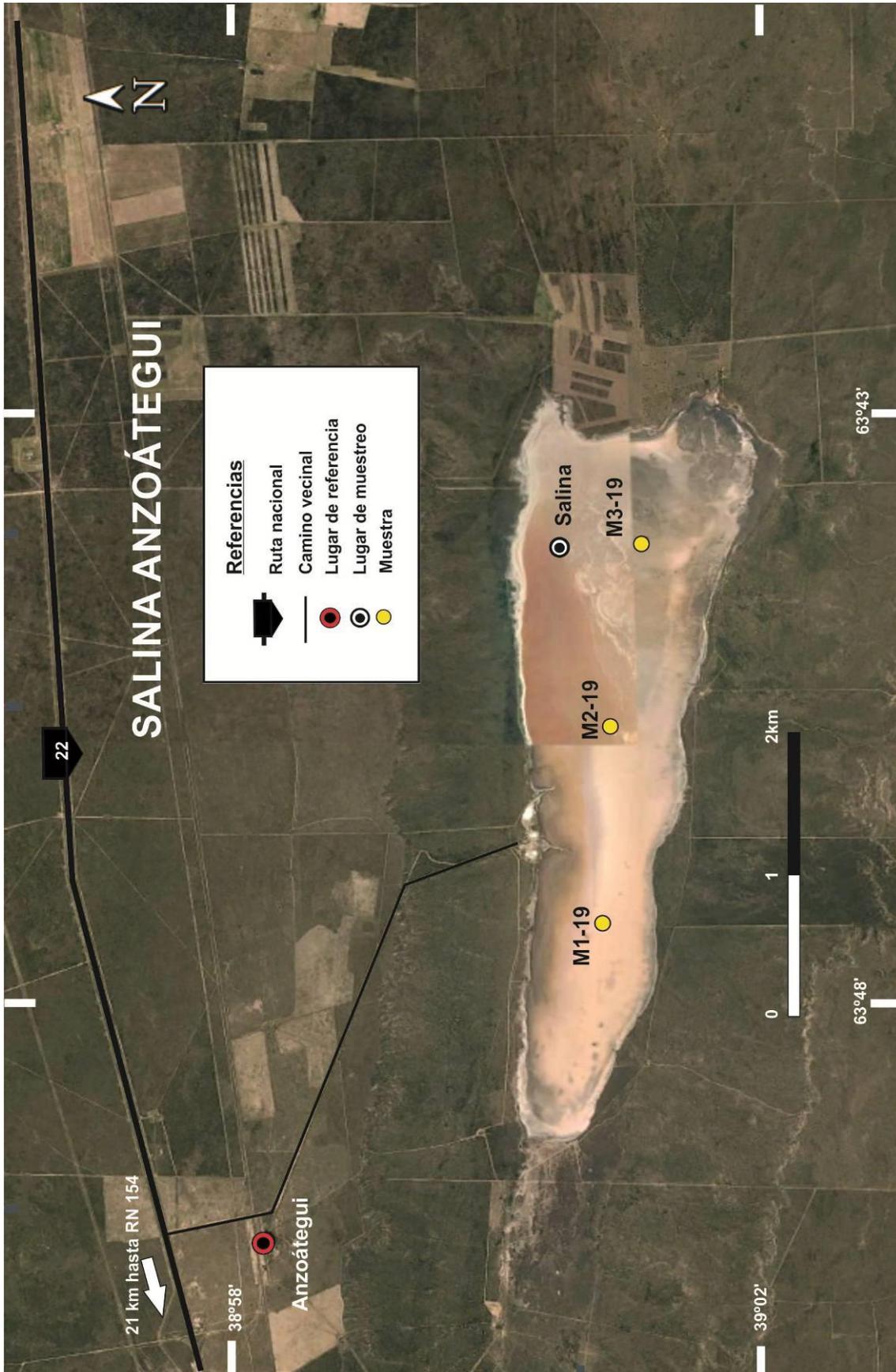


Figura 244. Salina El Chancho, composición porcentual de cationes en los fangos de la costra salina permanente, no incluye los niveles masivos de halita.

Los análisis de contenido de Li total del material clástico de los fangos salinos y rocas de los alrededores, que fueron realizados por el laboratorio Actlabs, arrojaron los valores que se detallan en el cuadro 94.

|                       | Elemento            | Na   | Mg     | Ca     | K      | Fe   | Sr     | Mn     | Ba   | Li     |
|-----------------------|---------------------|------|--------|--------|--------|------|--------|--------|------|--------|
|                       | Unidad              | %    | %      | %      | %      | %    | ppm    | ppm    | ppm  | ppm    |
|                       | Límite de detección | 0,01 | 0,01   | 0,01   | 0,01   | 0,01 | 1      | 1      | 50   | 1      |
|                       | Técnica             | INAA | TD-ICP | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP |
| <b>Fangos salinos</b> |                     | 1,15 | 1,20   | 12,3   | 0,52   | 2,18 | 1080   | 409    | <50  | 19     |

Cuadro 94. Salina El Chancho, resultados analíticos de cationes de los fangos salinos y rocas, expresados en porcentaje o partes por millón. INAA: activación neutrónica, TD-ICP: digestión total-plasma acoplado por inducción.



Mapa 24. Sector 5, Salina Anzoátegui. Ubicación de puntos de muestreo.

## Salina Anzoátegui



Figura 245. Vista lateral de la salina Anzoátegui, parvas y camiones de cosecha sobre la salina.

Salina en producción ubicada en la Sección V, Fracción B, Lote 22. Se accede por la Ruta Nacional 22, a los 21 km hacia el este de la localidad de La Adela en el paraje Anzoátegui, desde donde se transitan 8 km hacia el sur, por caminos vecinales (mapa 24).

Es una salina con reserva, desarrollada en un graben de orientación este-oeste (Cordini 1962-c y 1967). Longitudinalmente tiene 12 km y el ancho en el extremo este, es de 3,5 km mientras que en el extremo oeste es de 1,5 km, abarcando un área de 34 km<sup>2</sup>. La superficie explotable es de 27 km<sup>2</sup> con piso muy firme, salvo en los sectores de playa y algunos "ojos de agua".

La depresión del cuerpo salino está rodeada por barrancas donde afloran las formaciones Cerro Azul y Río Negro. En forma discordante y leve inclinación hacia la depresión de la salina, afloran rodados y areniscas cementados por carbonato de calcio, cubiertos por arenas y limos de origen eólico.

El muestreo para este trabajo fue realizado el 27-12-16, coincidiendo con la cosecha de sal 2016.

En los sectores en los que no se había retirado la sal de cosecha, se pudo observar una costra salina con alta capacidad portante y crecimiento en red poligonal rectangular a circular, con crestas formadas por agregados circulares de 1 cm de diámetro (figura 246).



Figura 246. Salina Anzoátegui, vista de la costra temporaria con sus crestas de crecimiento.

Se realizaron 3 pozos con profundidades variables, dependiendo de la dureza del material; cuando éste cedió, se barrenó hasta los 70 cm en donde el barreno encontró, nuevamente, resistencia al paso. La ubicación de los pozos (M1-19, M2-19, M3-19) puede observarse en el mapa 24 y sus geo-referencias y características generales se detallan en el cuadro 95.

| Fecha      | Denominación específica del lugar | Tipo de trabajo | Tipo de material recolectado | Nombre de la Muestra | Latitud       | Longitud      |
|------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| 27/12/2016 | Salina Anzoátegui                 | pozo cavado     | salmuera/sedimentos          | M1-19                | 39°00'47.10"S | 63°48'03.70"O |
| 27/12/2016 | Salina Anzoátegui                 | pozo cavado     | salmuera/sedimentos          | M2-19                | 39°00'49.69"S | 63°46'04.81"O |
| 27/12/2016 | Salina Anzoátegui                 | pozo cavado     | salmuera/sedimentos          | M3-19                | 39°01'05.70"S | 63°44'15.90"O |

Cuadro 95. Salina Anzoátegui, geo-referencias de las muestras.

En cada punto muestreado en la salina, se recolectaron salmueras intraporales y por debajo de la costra temporaria, se midió el pH, a temperatura

ambiente (39° C) y se recolectó material en los pozos hasta una profundidad de 70 cm. Durante la recolección de las salmueras, se les realizó in situ, una descripción del aspecto general. En el cuadro 96 se detallan las observaciones.

\*El color corresponde a la salmuera luego del precipitado natural de los sedimentos

| Número    | Muestra         | Extraída de                         | Color           | Olor    | Aspecto     | pH campo                |
|-----------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|---------|-------------|-------------------------|
| M1-19     | <b>Salmuera</b> | Intraporal a la costra superficial  | rosado          | inodoro | translúcido | 6<br>(temperatura 39°C) |
| M1bis-19  | <b>Salmuera</b> | Por debajo de la costra superficial | blanco grisáceo | fétido  | translúcido |                         |
| M2-19     | <b>Salmuera</b> | Intraporal a la costra superficial  | rosado          | inodoro | translúcido |                         |
| M2-bis-19 | <b>Salmuera</b> | Por debajo de la costra superficial | blanco grisáceo | fétido  | translúcido |                         |
| M3-19     | <b>Salmuera</b> | Intraporal a la costra superficial  | rosado          | inodora | translúcido |                         |
| M3bis-19  | <b>Salmuera</b> | Por debajo de la costra superficial | blanco grisáceo | fétido  | translúcido |                         |

Cuadro 96. Salina Anzoátegui, observaciones en campo de las salmueras muestreadas.

En los pozos se observaron características particulares en cuanto al espesor de los estratos (figura 247 y 248), por lo cual, para sus descripciones se asumió un perfil ideal, de tal modo de destacar la mayor cantidad de rasgos.



Figura 247. Salina Anzoátegui, pozo M2-19, detalle de los distintos estratos.



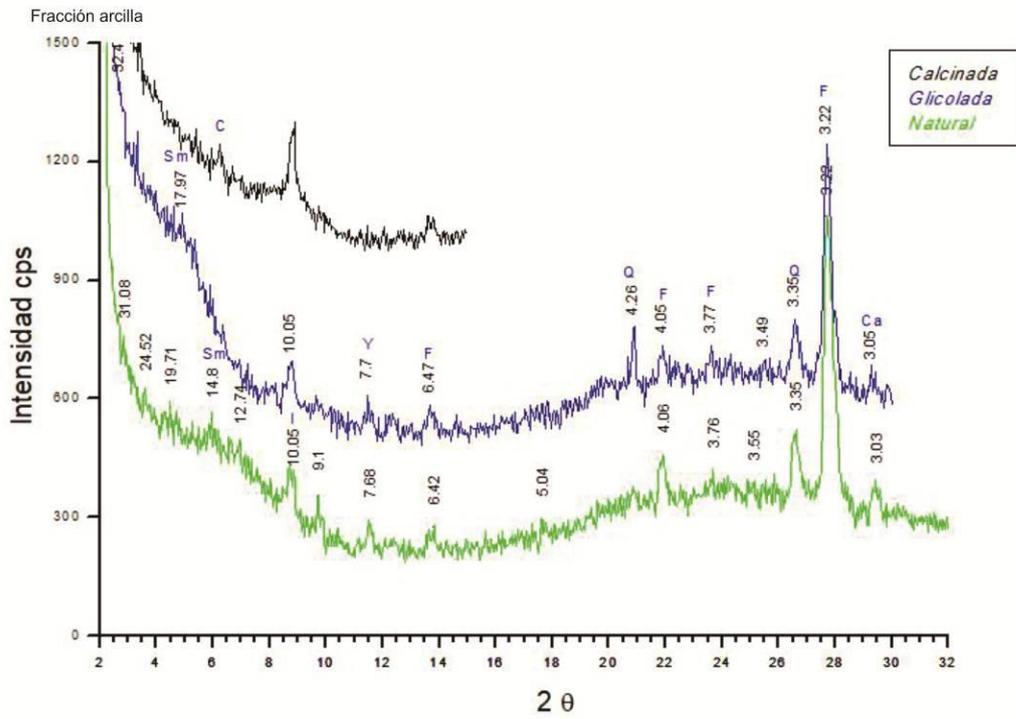
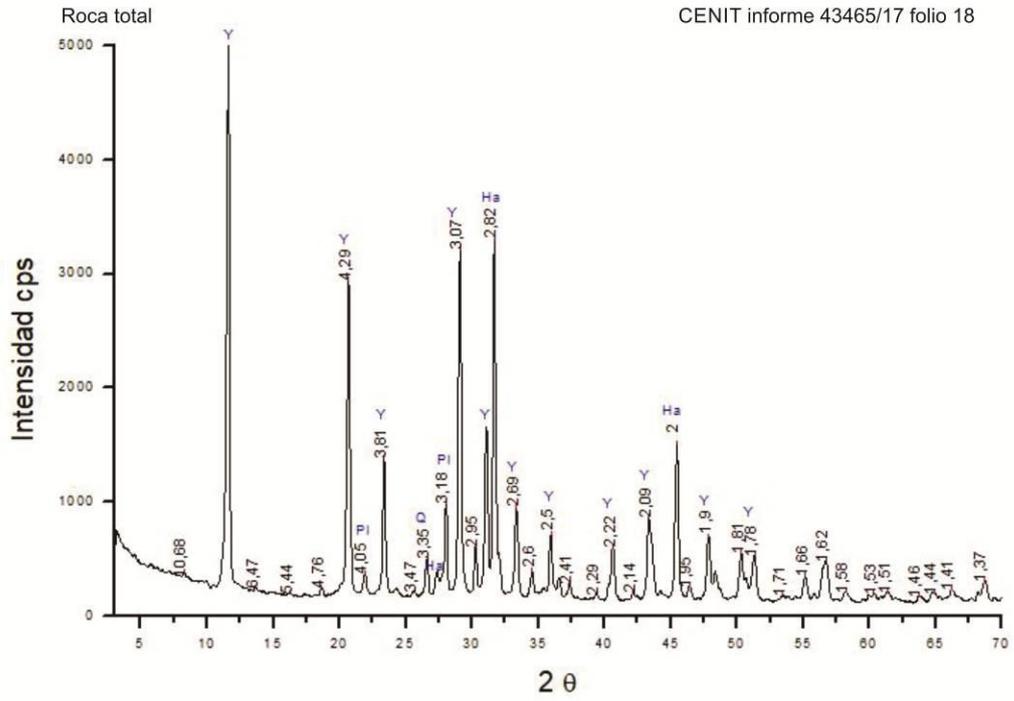
Figura 248. Salina Anzoátegui, material retirado de los primeros centímetros del pozo M3-19.

En la superficie, una costra temporaria de halita entre 6 y 8 cm inicia la secuencia depositada; subyacente a la costra salina, por lo menos hasta una profundidad de 70 cm, continúan fangos formados por sulfatos que alternan con costras subácueas de halita soldada.

Los fangos recolectados, se estudiaron posteriormente, con la técnica de Difractometría de Rayos X, que determinó una composición del 91% de sales y 9 % de material clástico formado por cuarzo y plagioclasa con trazas de arcilla del tipo esmectita e illita.

La fracción salina está formada por 68% de yeso, 22% de halita 1% de carbonato de Ca (figuras 249 y 250).

Con la información de los difractogramas de Rayos X, las observaciones en el campo, el análisis de los materiales a ojo desnudo y a la lupa binocular, se expone a continuación el perfil litológico con las descripciones de las estructuras sedimentarias, los componentes de los materiales y sus texturas correspondientes (figura 251).



Figuras 249 y 250. Salina Anzoátegui, difractogramas de Rayos X de fangos salinos.

**Salina Anzoátegui: perfil litológico**

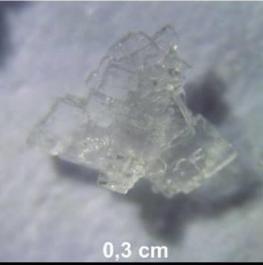
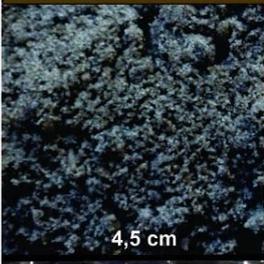
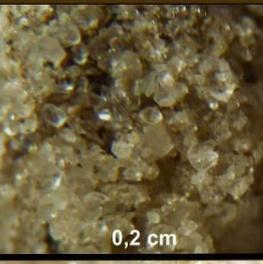
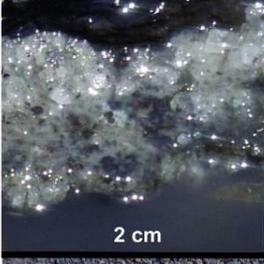
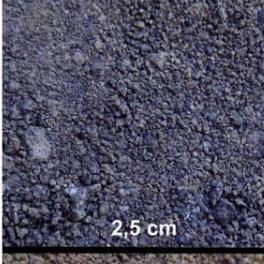
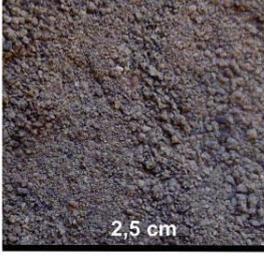
|                           | Material suelto - seco a ojo desnudo | Observación con lupa binocular  | Espesor Profundidad Descripción con lupa  |  |
|---------------------------|--------------------------------------|---|---|--|
| Costra salina superficial | Costra blanca                        |    |    | 2 - 3 cm<br>Costra compacta y con muy buena capacidad portante. Estructura laminar con crecimiento poligonal cuadrado a circular y crestas de crecimiento en círculos de diámetros hasta 1 cm. Formada por halita en cristales translúcidos blanquecinos y transparentes, con formas tabular o cúbica masiva y pirámide hopper. El tamaño de los cristales hasta 0,2 cm. |
|                           | Costra rosa                          |    |    | 4-5 cm<br>Estructura laminar compacta formada por halita rosa transparente o translúcida blanquecina, con forma cúbica masiva en tamaños hasta 0,3 cm. Por debajo se apoya sobre láminas de cristales blancos transparentes, con tamaños hasta 1,5 cm y texturas cúbica masiva y tabular hopper.   |
| Fangos pútridos           | Limo salino                          |   |   | 2 a 12 cm<br>Materiales saturados en agua<br>↓ ver ( — ) 0,2 a 0,5 cm de arcilla de color pardo amarillento moderado.<br>Limo semicompactado, color gris medio, con cristales de yeso (68%) y 22% de halita en tamaños no mayor a 0,05 mm.<br>1% de carbonato de calcio  |
|                           | Costra salina subácuea               | Costra blanca   |  |   |
| Fangos pútridos           | Arena media arcillosa salina         |  |  | 20 cm<br>Arena media arcillosa color gris medio, medianamente compactada, con partículas angulares a subredondeadas, mal seleccionadas.<br>Composición: líticos (basalto), cuarzo, feldespato, halita, yeso. Los cristales de halita tienen formas cúbicas masivas y tamaños hasta 0,2 cm.   |
|                           | Arena media arcillosa salina         |  |  | 28 cm (mínimo)<br>70 cm<br>Arena media arcillosa color pardo amarillento moderado, medianamente compactada, con partículas angulares a subredondeadas, mal seleccionadas.<br>Composición: líticos (basalto), cuarzo, feldespato, halita.   |

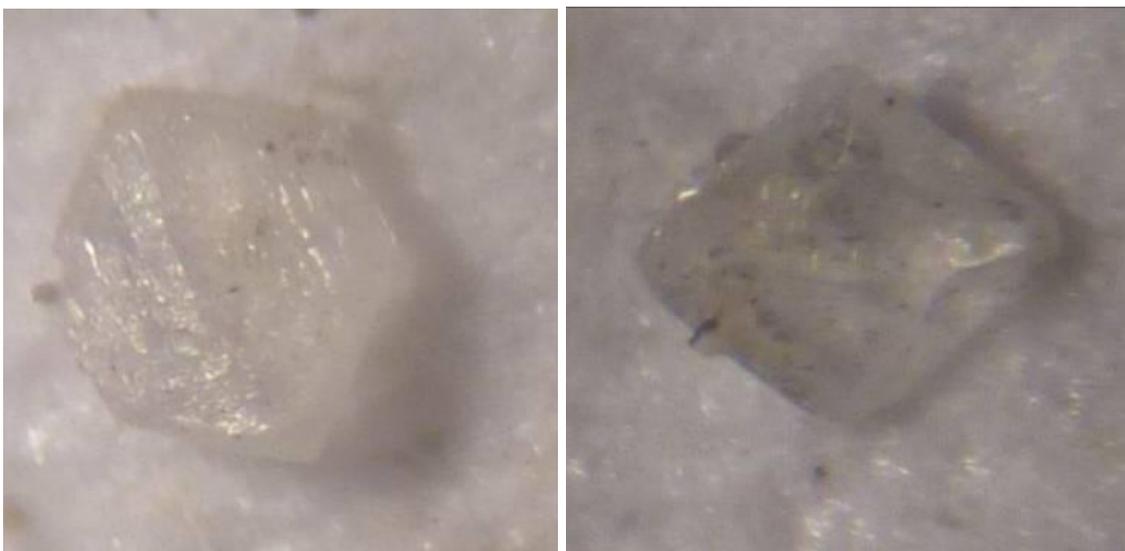
Figura 251. Salina Anzoátegui, perfil litológico generalizado.

Nota: el valor en cm, en la parte inferior de cada foto, corresponde a la base de la misma.

A continuación algunas fotografías de los minerales observados en lupa binocular



Figura 252. Salina Anzoátegui, imagen del fango salino, observación de lupa binocular (base de imagen 0,3 cm).



Figuras 253. Salina Anzoátegui, imágenes de lupa binocular (base de cada imagen 0,06 cm)  
der. cristal de yeso (en figura 255 imagen a microscopio electrónico). Izq: sulfato complejo de Ca (en figura 256 imagen al microscopio electrónico).

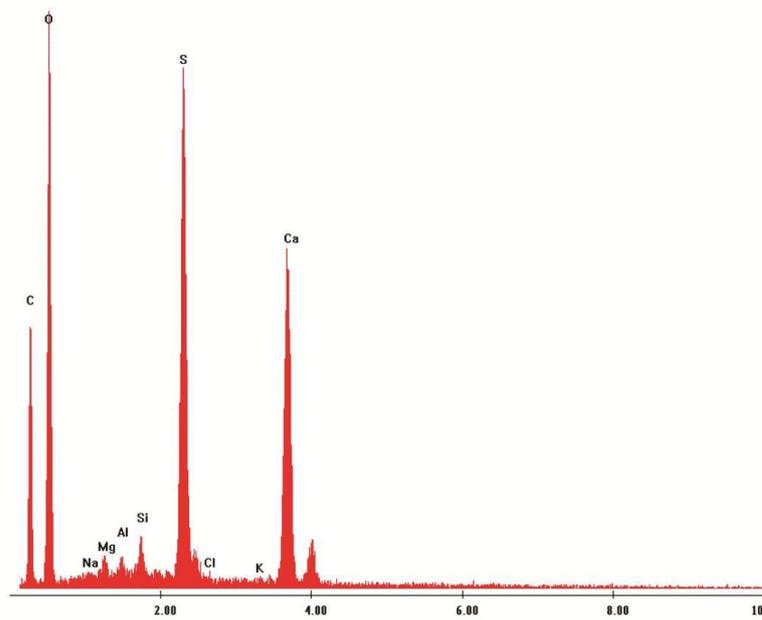
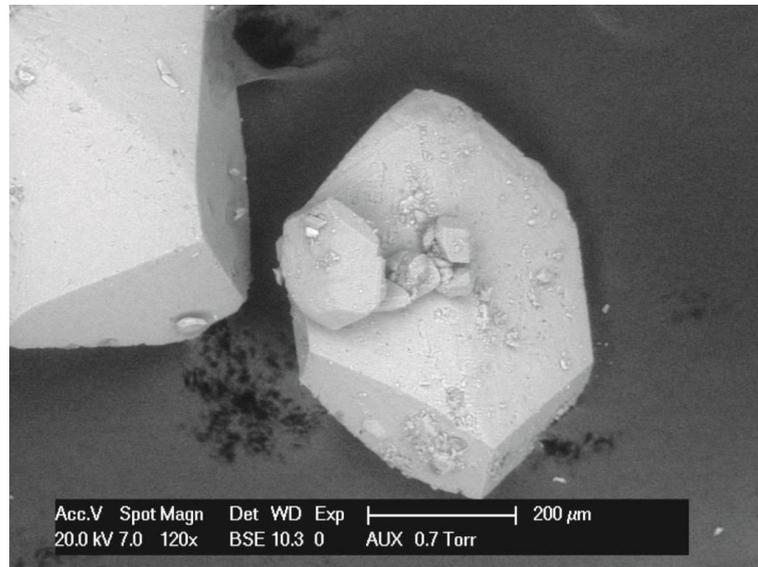


Figura 254. Salina Anzoátegui, yeso con trazas de Si, Mg, Al, Na y K, imagen de microscopio electrónico, (ver imagen de lupa binocular en figura 252).

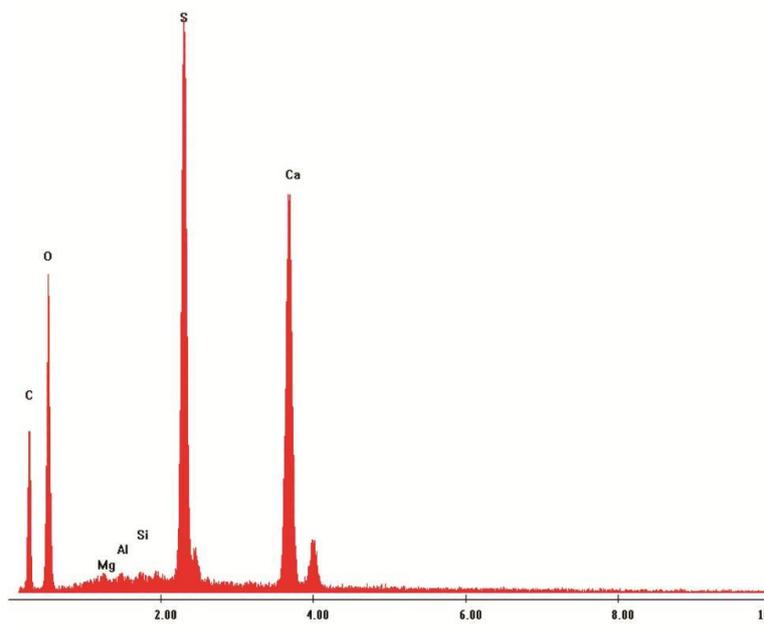
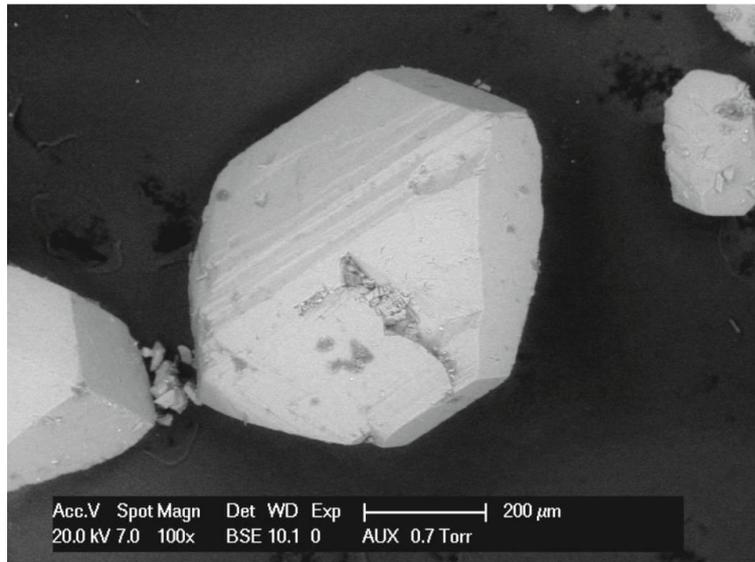


Figura 255. Salina Anzoátegui, cristal de yeso con trazas de Mg, Al y Si, imagen de microscopio electrónico, (ver imagen de lupa binocular en figura 253 derecha).

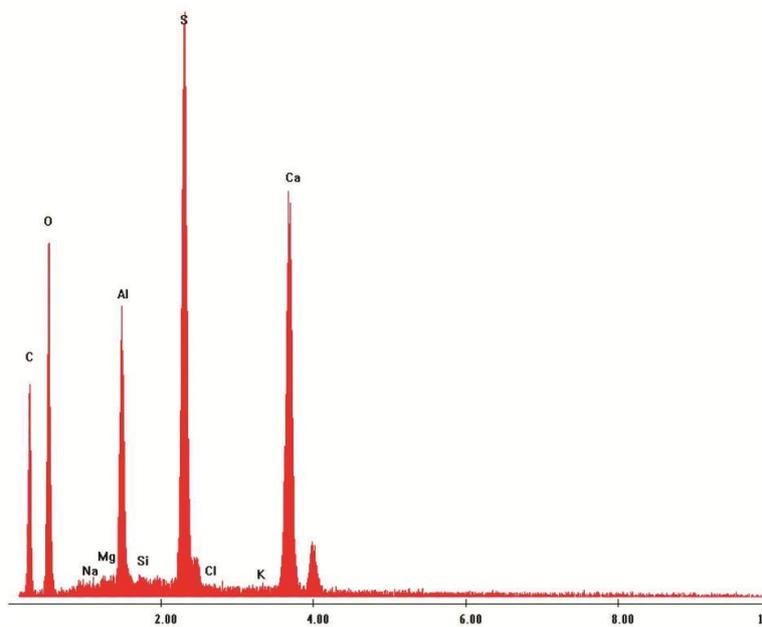
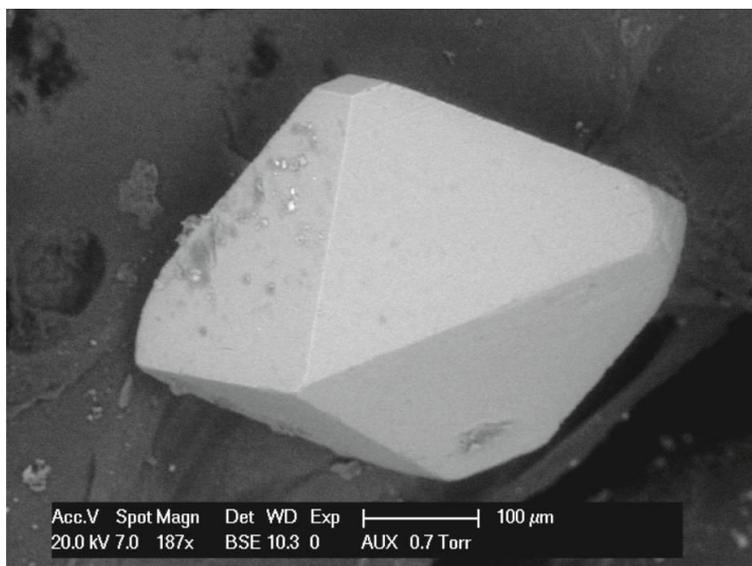


Figura 256. Salina Anzoátegui, sulfato de Ca y Al, con trazas de Mg, Na Si y K, imagen de microscopio electrónico (ver imagen de lupa binocular en figura 253, izquierda).

Análisis químicos y caracterización de salmueras, costras y sedimentos.

En los cuadros 97, 98 y 99, se detallan los resultados provistos por el laboratorio Alex Stewart S.A que corresponden a las muestras de salmueras y costras salinas recolectadas.

Del estudio analítico se desprende que las salmueras de la salina Anzoátegui, tienen un contenido de sodio ( $\text{Na}^+$ ) entre 48 y 86 g/l, de magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) entre 21 y 44 g/l, y de potasio ( $\text{K}^+$ ) entre 4,3 y 9,3 g/l).  $\text{Li}^+$  no se registró en las muestras.

En la figura 257 se muestran las relaciones porcentuales de cada catión.

En referencia a la concentración de aniones en las salmueras, el  $\text{Cl}^-$  se presenta con valores entre 180 y 190 g/l representando el 75%, mientras que los valores de sulfato están entre 36 y 78 g/l correspondiéndole un 25% (figura 258).

| Tipo de muestra       | número / ubicación | Elemento            | B          | Ba         | Ca         | Fe         | K           | Li            | Mg           | Mn         | Na           | Sr          |
|-----------------------|--------------------|---------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|---------------|--------------|------------|--------------|-------------|
|                       |                    | Unidad              | mg/L       | mg/L       | mg/L       | mg/L       | mg/L        | mg/L          | mg/L         | mg/L       | mg/L         | mg/L        |
|                       |                    | Técnica             | ICP-OES    | ICP-OES    | ICP-OES    | ICP-OES    | ICP-OES     | ICP-OES       | ICP-OES      | ICP-OES    | ICP-OES      | ICP-OES     |
|                       |                    | Límite de detección | 1          | 0,01       | 2          | 0,3        | 2           | 1             | 1            | 0,01       | 2            | 0,5         |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M1-19              |                     | 130        | <0,10      | 117        | 4,9        | 9369        | <10           | 43832        | 0,33       | 47589        | 6,5         |
| <b>Salmuera negra</b> | M1bis-19           |                     | 111        | 0,42       | 133        | 14,5       | 8204        | <10           | 39058        | 1,57       | 54981        | 13,2        |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M2-19              |                     | 120        | <10        | 125        | 4,9        | 9095        | <10           | 40728        | 0,38       | 48785        | 8,5         |
| <b>Salmuera negra</b> | M2-bis-19          |                     | 129        | <10        | 113        | 6,4        | 9579        | <10           | 43762        | 0,62       | 51048        | 8,2         |
| <b>Salmuera rosa</b>  | M3-19              |                     | 56         | <10        | 253        | 3,9        | 4348        | <10           | 21421        | 0,15       | 82278        | 14,7        |
| <b>Salmuera negra</b> | M3bis-19           |                     | 57         | <10        | 235        | 4,5        | 4493        | <10           | 21918        | 0,4        | 86235        | 14,2        |
| <b>Promedio</b>       |                    |                     | <b>101</b> | <b>0,4</b> | <b>163</b> | <b>6,5</b> | <b>7515</b> | <b>&lt;10</b> | <b>35120</b> | <b>0,6</b> | <b>61819</b> | <b>10,9</b> |

Cuadro 97. Salina Anzoátegui, resultados analíticos de cationes de salmueras expresados en miligramos/litro. Ubicación de sitios de muestreo en el mapa 24 .

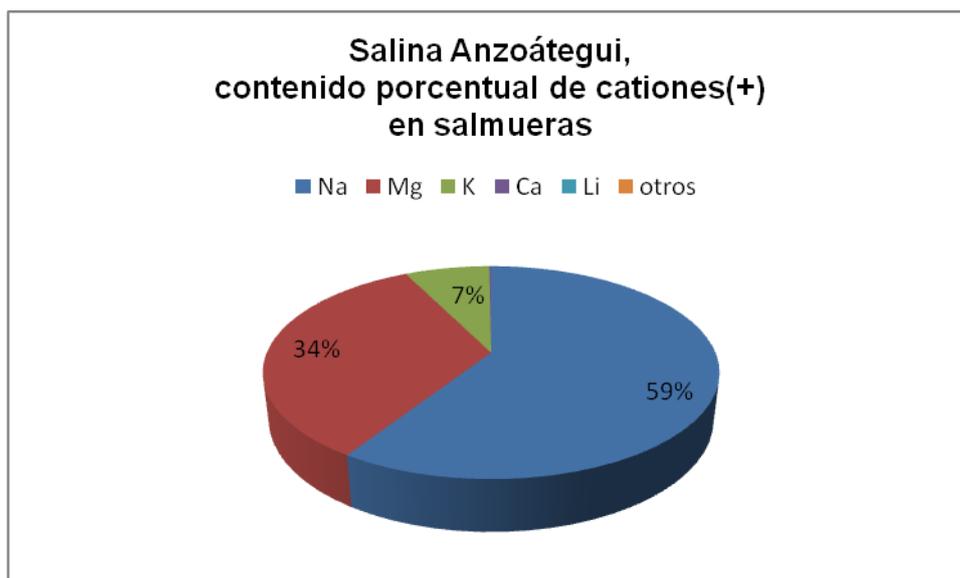


Figura 257. Salina Anzoátegui, contenido porcentual de cationes en salmueras.

| Tipo de Muestra | número / ubicación | Det. | Sulfatos SO <sub>4</sub> = | Cloruros Cl <sup>-</sup> | pH    | Conduct. | Sólidos disueltos totales (secados a 180°) | Sólidos totales (secados a 103°) |
|-----------------|--------------------|------|----------------------------|--------------------------|-------|----------|--|----------------------------------|
|                 |                    | U    | mg/l                       | mg/L                     | de pH | µS/cm    | mg/L                                       | mg/L                             |
|                 |                    | T    | Volum                      | Volum                    | ISE   | Instrum  | Grav.                                      | Grav.                            |
|                 |                    | LD   | 10                         | 5                        | 0,1   | 5        | 10   | 10                               |
| Salmuera rosa   | M1-19              |      | 77644                      | 189737                   | 6,5   | 142300   | 407760                                     | 584880                           |
| Salmuera negra  | M1bis-19           |      | 69412                      | 179245                   | 6,5   | 154100   | 398160                                     | 547260                           |
| Salmuera rosa   | M2-19              |      | 73051                      | 180119                   | 6,6   | 148400   | 404008                                     | 596220                           |
| Salmuera negra  | M2-bis-19          |      | 76673                      | 186240                   | 6,5   | 144500   | 402200                                     | 558180                           |
| Salmuera rosa   | M3-19              |      | 35233                      | 181868                   | 7     | 200300   | 356360                                     | 416800                           |
| Salmuera negra  | M3bis-19           |      | 36435                      | 180994                   | 7     | 199000   | 358320                                     | 436200                           |
| <b>Promedio</b> |                    |      | <b>61408</b>               | <b>183034</b>            |       |          |  |                                  |

Cuadro 98. Salina Anzoátegui, resultados analíticos de aniones de salmueras, expresados en miligramos/litro, (U= unidades; T= técnica; LD= límite de detección inferior).

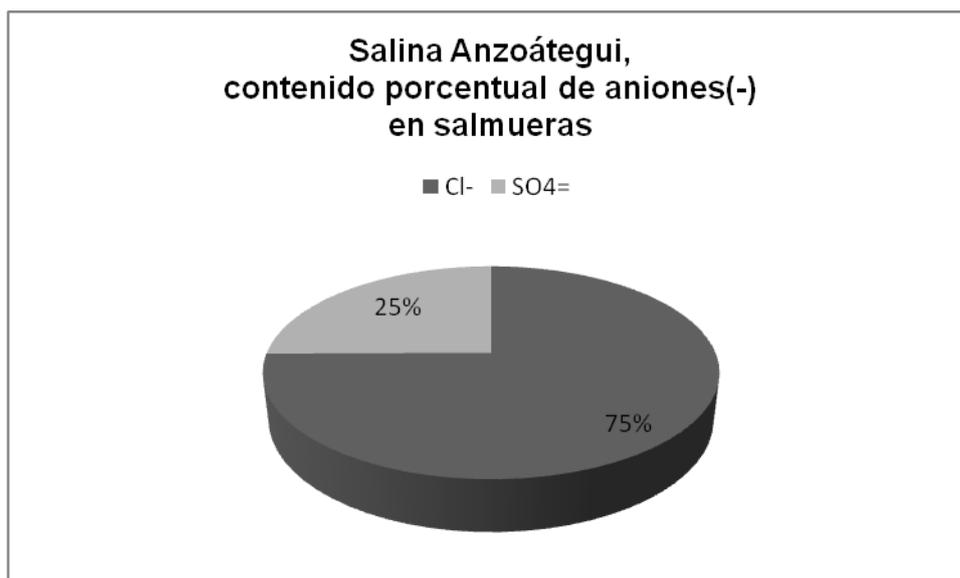


Figura 258. Salina Anzoátegui, contenido porcentual de aniones en salmueras.

Sobre la composición de las costras salinas, se puede observar en el cuadro 99 que la costra temporaria (superficial) está mayoritariamente formada por Na<sup>+</sup> en un 97% acompañada de un 3,5 % de cationes como Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> y Ca<sup>2+</sup> (figura 259).

El Na<sup>+</sup> forma con el Cl<sup>-</sup>, halita. En la lupa binocular no se detectaron a simple vista minerales con Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> o K<sup>+</sup>, que justifique la presencia de estos iones, ello puede deberse a la baja proporción con respecto al NaCl en la muestra o porque están como trazas dentro de la halita.

Por el contrario en los fangos salinos se ha observado con la lupa binocular, además de halita, yeso y otro sulfato de Ca.

El porcentaje de cationes de la figura 260, no toma en cuenta los estratos compactados-soldados de halita (probablemente con trazas de Mg y K) que también conforman la costra subácuea.

Un esquema comparativo de composición y valor químico entre las distintas muestras de salmuera, indica que las M3-19 y M3bis-19 tienen valores de Na superiores (casi duplica) a las otras 4 muestras. La concentración de Cl<sup>-</sup> es bastante similar en todas las muestras.

Por sus lados, las concentraciones de los SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, el Mg<sup>2+</sup> y el K<sup>+</sup> en la muestra M3-19 y M3bis-19 están en casi la mitad de la concentración del resto.

| Tipo de muestra | número / ubicación | Elemento            | B        | Ba       | Ca       | Fe       | K        | Li       | Mg       | Mn       | Na       | Sr       |
|-----------------|--------------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                 |                    | Unidad              | mg/kg MS |
|                 |                    | Técnica             | ICP-OES  |
|                 |                    | Límite de detección | 50       | 0,5      | 2        | 15       | 2        | 50       | 1        | 0,01     | 2        | 25       |
| <b>Costra</b>   | superficial        |                     | <50      | <0,5     | 1486     | <15      | 1857     | <50      | 7691     | 1,35     | 317132   | 38,8     |
| <b>Costra</b>   | Sub-ácuea          |                     | <50      | 8,90     | 130424   | 25,9     | 1747     | <50      | 4622     | 6,37     | 71530    | 471,7    |

Cuadro 99. Salina Anzoátegui, resultados analíticos de cationes en costras salinas, expresados en miligramo/kilogramo.

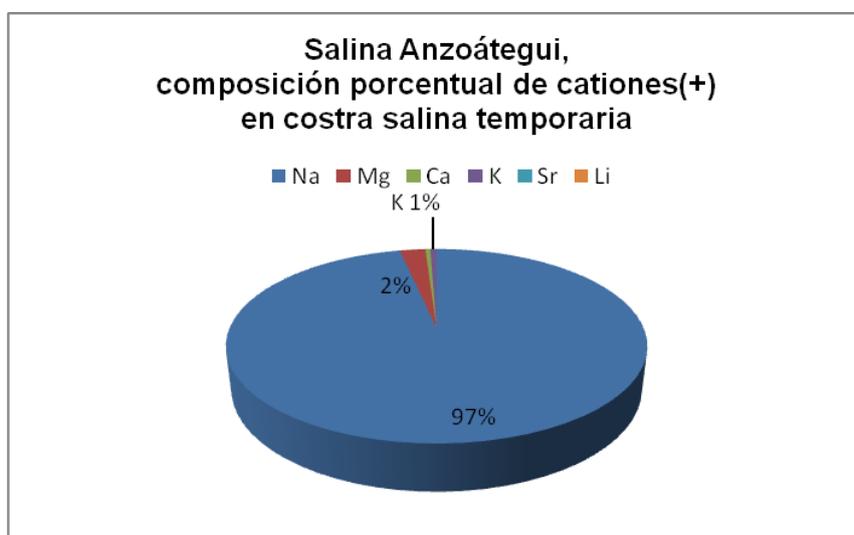


Figura 259. Salina Anzoátegui, composición porcentual de cationes en costra salinas temporaria.

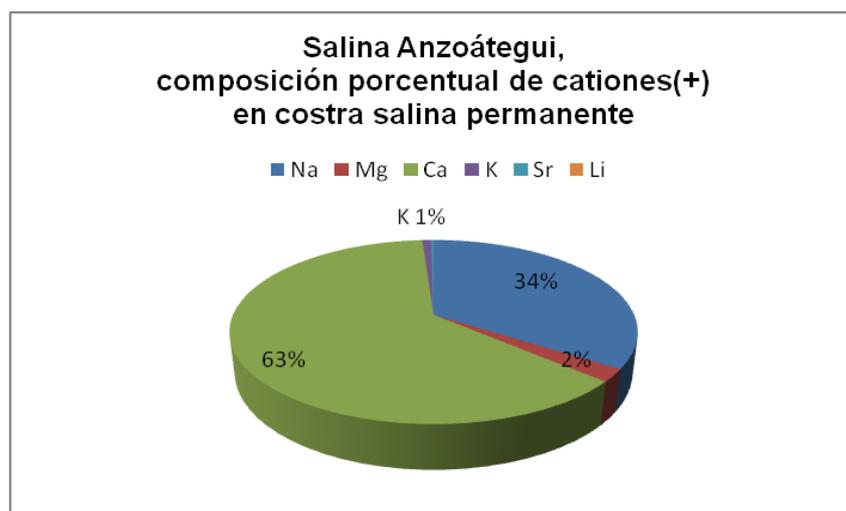


Figura 260. Salina Anzoátegui, composición porcentual de cationes en fangos salinos (no considera estratos compactos-soldados de halita).

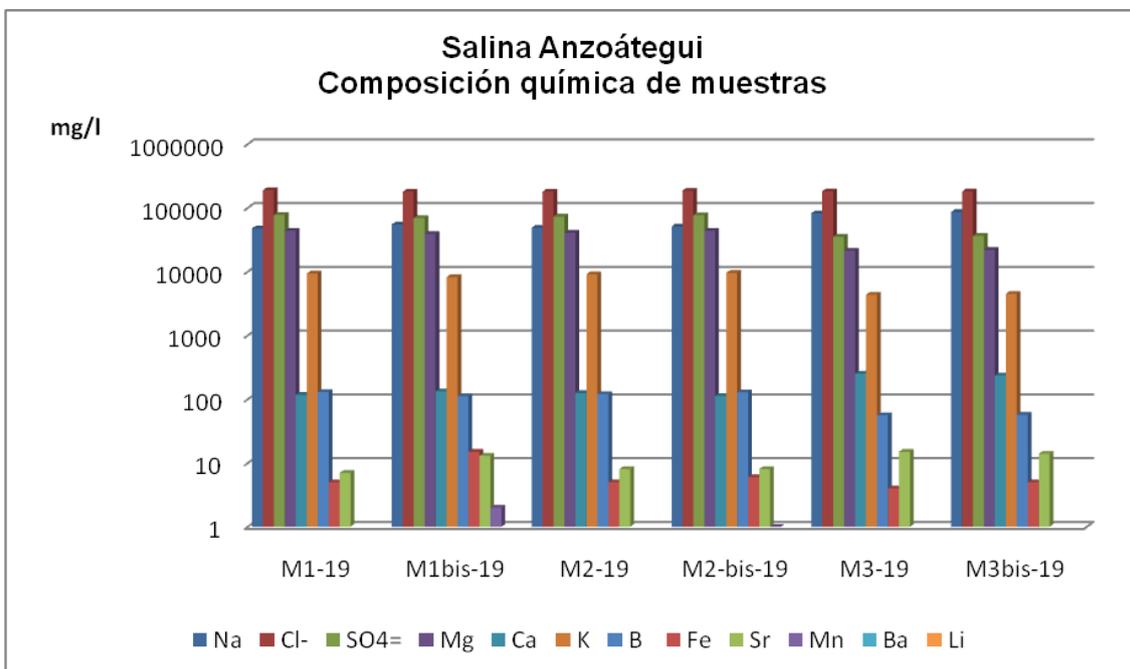


Figura 261. Salina Anzoátegui, esquema comparativo entre muestras.

Los análisis químicos del material clástico de los fangos salinos, que fueron provistos por el laboratorio Actlabs se detallan en el cuadro 100.

| Elemento            | Na   | Mg     | Ca     | K      | Fe   | Sr     | Mn     | Ba   | Li     |
|---------------------|------|--------|--------|--------|------|--------|--------|------|--------|
| Unidad              | %    | %      | %      | %      | %    | ppm    | ppm    | ppm  | ppm    |
| Límite de detección | 0,01 | 0,01   | 0,01   | 0,01   | 0,01 | 1      | 1      | 50   | 1      |
| Técnica             | INAA | TD-ICP | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP | TD-ICP | INAA | TD-ICP |
| <b>Anzoátegui</b>   | 0,28 | 0,55   | 17,4   | 0,16   | 0,56 | 788    | 152    | 70   | 6      |

Cuadro 100. Salina Anzoátegui, resultados analíticos de cationes de los fangos salinos y roca, expresados en porcentaje o partes por millón. INAA: activación neutrónica, TD-ICP: digestión total-plasma acoplado por inducción.

## Análisis de los datos químicos obtenidos en el Sector 5

Para la interpretación de los valores químicos de las salmueras recolectadas en las salinas del Sector 5, se utilizó la información provista por el laboratorio Alex Stewart S.A., calculando los valores promedio en cada cuerpo (cuadro 101). Además se realizó un gráfico comparativo entre salinas, con los valores de cationes y aniones absolutos acumulados, con el fin de diferenciar gráficamente la carga iónica total (figura 262).

| Locación              | mg/l | Na    | Cl-    | SO4=  | Mg    | K    | Ca  | B   | Fe | Sr | Mn | Ba | Li |
|-----------------------|------|-------|--------|-------|-------|------|-----|-----|----|----|----|----|----|
| salina Salitral Negro |      | 83015 | 168097 | 81176 | 26314 | 4686 | 89  | 82  | 5  | 7  | 1  | -- | -- |
| salitral El Chancho   |      | 96066 | 173674 | 77065 | 21096 | 6862 | 80  | 108 | 5  | 7  | 1  | -- | -- |
| salina Anzoátegui     |      | 61819 | 183034 | 61408 | 35120 | 7515 | 163 | 101 | 7  | 11 | 1  | -- | -- |

Cuadro 101. Sector 5, valores promedio de cationes y aniones en salmueras.

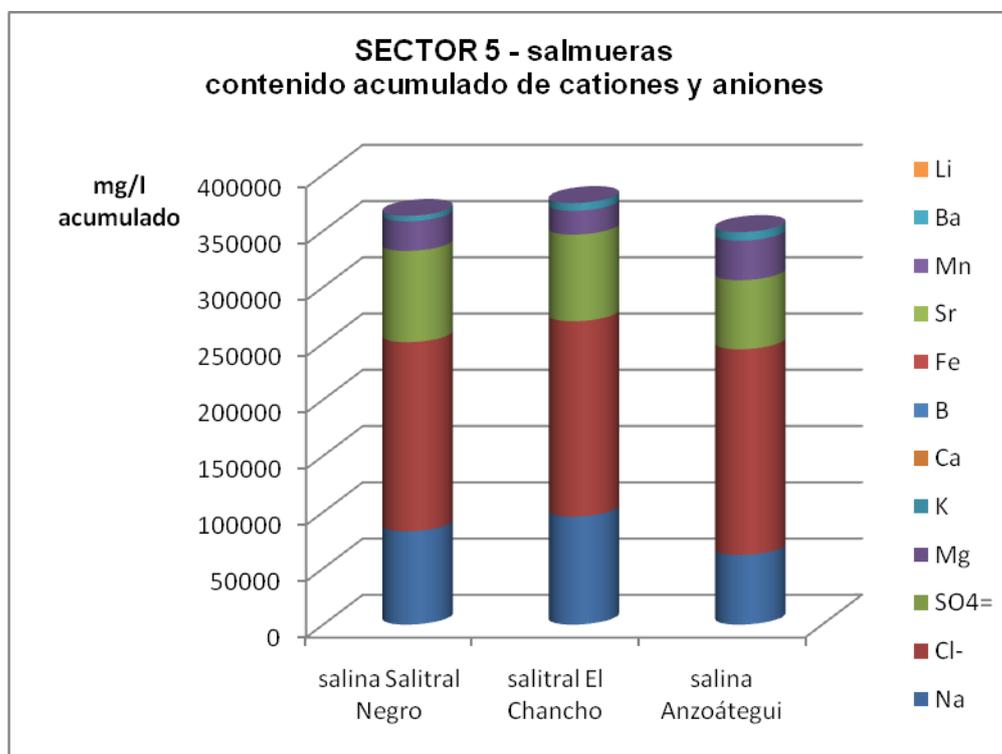


Figura 262. Sector 5, gráfico comparativo de cationes y aniones en salmueras.

Con respecto al  $\text{Li}^+$ , este catión no se registró en ninguna salmuera del Sector 5.

En el análisis comparado de carga iónica, las salmueras de las tres salinas son muy ricas en  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  (formadores de sal gema) con valores promedio de 70%.

En referencia a los sulfatos el Salitral Negro tiene el porcentaje mayor con 33%, luego le sigue El Chanco con 31% y Anzoátegui con 25%.

Con respecto al  $\text{Mg}^{2+}$ , Anzoátegui tiene un 34%, Salitral Negro 23% y El Chanco 17%.

El porcentaje de  $\text{K}^+$  es mayor en Anzoátegui 7%, le sigue El chanco con 6% y Salitral Negro 4%

Si se comparan las tres costras superficiales (temporarias), se puede decir que tienen similar composición de Na, en forma de halita, con cantidades variables de Mg, K y Ca.

| Locación       | Tipo de costra    | Na                   | Mg    | Ca   | K    | Sr |
|----------------|-------------------|----------------------|-------|------|------|----|
|                |                   | miligramos/kilogramo |       |      |      |    |
| Salitral Negro | costra temporaria | 335318               | 15711 | 377  | 2064 | 25 |
| El Chanco      | costra temporaria | 332836               | 10255 | 761  | 2580 | 31 |
| Anzoátegui     | costra temporaria | 317132               | 7691  | 1486 | 1857 | 39 |

Cuadro 102. Sector 5, resumen de composición catiónica de las costras superficiales.

En composición porcentual, el  $\text{Na}^+$  se combina con  $\text{Cl}^-$  en un 95-97% formando halita. Un porcentaje de  $\text{Na}^+$  (3-5 %) se combina con  $\text{Mg}^{2+}$  y los aniones  $\text{SO}_4^-$  para formar astracanita y otros sulfatos con Mg.

La mineralogía de las costras subácueas, es halita, yeso, astracanita epsomita y otros sulfatos de Ca y Mg

En ningún caso se detectó  $\text{Li}^+$  en las costras salinas de este Sector.

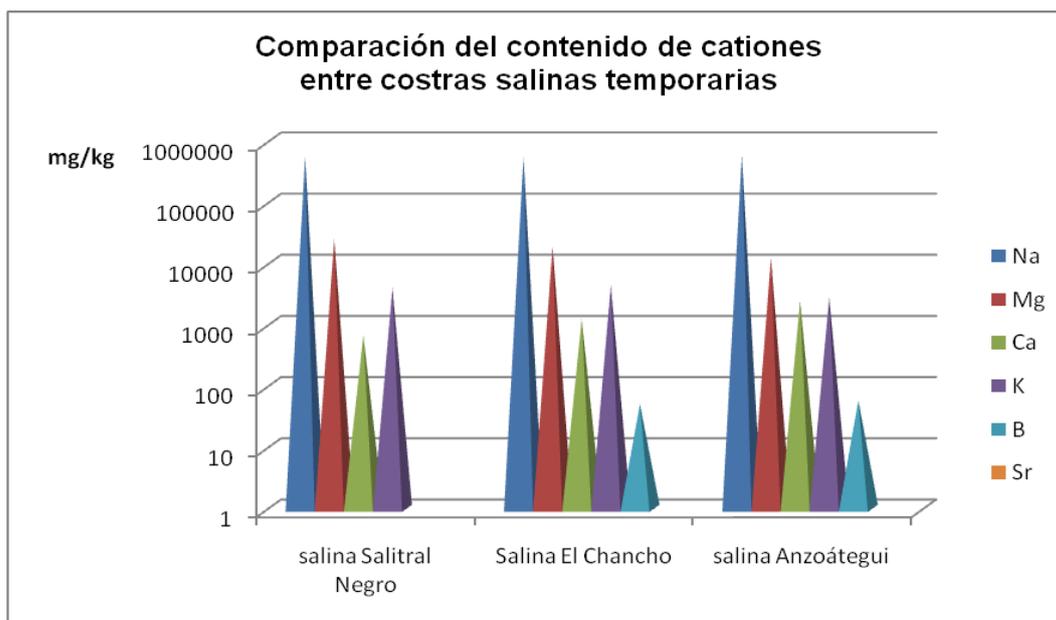


Figura 263. Sector 5, esquema comparativo entre costras salinas temporarias.

Se realizó la medición de contenido de Li del material clástico de los fangos salinos, con el fin de conocer el contenido total en los cuerpos estudiados y tener una mejor comprensión de la disponibilidad potencial de este elemento, en caso de meteorización de los minerales que lo portan.

| Cuerpos del Sector 5  | Contenido promedio de Li en sedimentos (ppm) |
|-----------------------|--|
| Salina Salitral Negro | 9  |
| Salina El Chanco      | 19   |
| Salina Anzoátegui     | 6  |

Cuadro 103. Sector 5, resumen de valores de Li en material clástico de fangos salinos (expresados en partes por millón).

El contenido de Li registrado en las salinas del Sector 5, es entre 6 y 19. Este ámbito de variación de valores es coincidente con el de rocas de tipo similar al que rodean a las salinas (loess, rocas graníticas y riolíticas) tomado

de varios sectores de la Tierra (según Sauzéat *et al.*, 2015 y de la base de datos GEOROC: <http://georoc.mpch-mainz.gwdg.de/georoc/Start.asp>)

A partir de los valores obtenidos se concluye que los mismos no representan interés ya que incluso en el caso hipotético (poco probable) de que esté todo disponible, los mismos no llegan a constituir una anomalía significativa.

## CONCLUSIONES

Con el desarrollo del presente trabajo se ha realizado la evaluación del contenido de Li (K y Mg) en las salinas del "corredor magmático" NO-SE en la provincia de La Pampa. A partir de ello, se puede concluir que se ha registrado Li en las salmueras de las salinas La Amarga y San Máximo del Sector 3 en bajas concentraciones (entre 24 y 37 ppm para La Amarga y entre 14 y 18 ppm para San Máximo) (cuadro 104).

| Locación                | mg/l | Na     | Cl-    | SO4=  | Mg    | K     | Ca   | B   | Fe | Sr  | Mn | Ba | Li |
|-------------------------|------|--------|--------|-------|-------|-------|------|-----|----|-----|----|----|----|
| Área Jagüel de la perra |      | 1713   | 1744   | 1476  | 242   | 138   | 56   |     |    |     |    |    |    |
| Área Aguada Chos Malal  |      | 1933   | 2302   | 1084  | 294   | 175   | 51   |     | 3  |     |    |    |    |
| Área salitral El Ñire   |      | 9646   | 9305   | 8533  | 409   | 739   | 20   | 17  |    | 12  |    |    |    |
| salitral La Salinilla   |      | 96539  | 160446 | 81077 | 21851 | 10101 | 69   | 97  |    |     | 1  |    |    |
| salitral De La perra    |      | 97972  | 160717 | 44667 | 13060 | 9730  | 132  | 132 | 10 |     | 6  |    |    |
| salina Grande           |      | 109804 | 183617 | 23031 | 8620  | 3272  | 385  | 29  | 7  | 10  |    |    |    |
| salina Huentenao        |      | 119563 | 182043 | 25009 | 4381  | 1907  | 304  | 19  | 8  | 10  |    |    |    |
| salina La Amarga        |      | 102390 | 177621 | 57596 | 18581 | 5079  | 131  | 206 | 3  | 5   | 1  |    | 30 |
| salina San Máximo       |      | 80699  | 193584 | 28362 | 23455 | 4178  | 292  | 42  | 5  | 17  | 3  |    | 16 |
| salina Gestau           |      | 99645  | 187992 | 4857  | 12903 | 2783  | 1381 | 14  | 4  | 90  | 11 | 1  |    |
| salina Pichi Sur        |      | 86281  | 201978 | 658   | 21607 | 2245  | 9309 | 31  |    | 371 | 10 |    |    |
| salitrales de Pichi Sur |      | 74903  | 136255 | 4698  | 7274  | 664   | 3200 | 24  |    | 95  | 9  |    |    |
| salina Pichi Norte      |      | 97270  | 195858 | 955   | 12877 | 973   | 5880 | 32  |    | 215 | 7  |    |    |
| salina Salitral negro   |      | 83015  | 168097 | 81176 | 26314 | 4686  | 89   | 82  | 5  | 7   |    |    |    |
| salitral El chanco      |      | 96066  | 173674 | 77065 | 21096 | 6862  | 80   | 108 | 5  | 7   |    |    |    |
| salina Anzoátegui       |      | 61819  | 183034 | 61408 | 35120 | 7515  | 163  | 101 | 7  | 11  |    |    |    |

Cuadro 104. Resumen de valores promedio de iones en salmueras expresados en miligramos por litro. Se resaltan las concentraciones más considerables.

Con respecto al K, se registran concentraciones medias con valores máximos de 10 g/l en las salmueras de los salitrales La Salinilla y de La Perra del sector 2 (cuadro 104 y figura 264). Estos valores no son de interés económico ya que usualmente deben alcanzar porcentajes no menores a 10% de K<sub>2</sub>O (equivalente a 83 g/l de K), pero son anómalos en la zona, por lo cual debería realizarse un estudio geológico complementario que analice, las características y condiciones de las aguas que aportan a las cuencas.

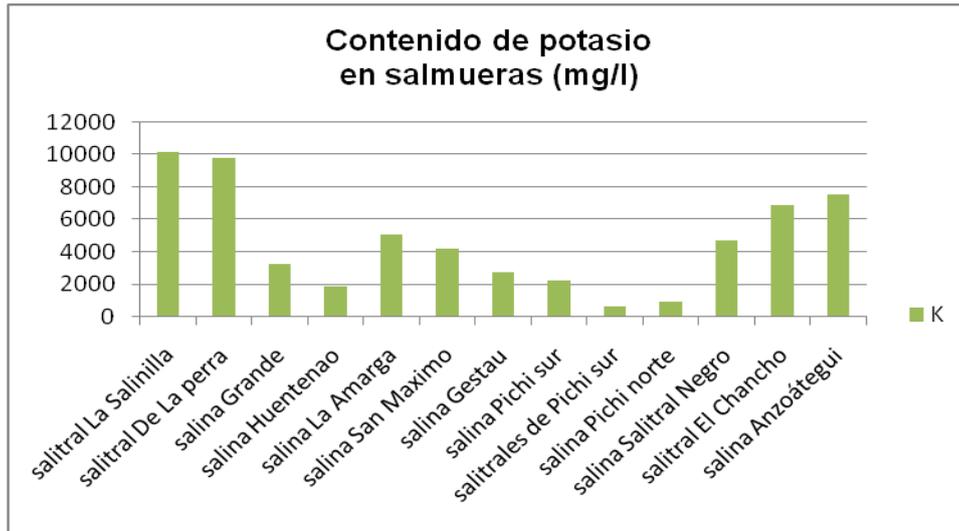


Figura 264. Gráfico comparativo de valores promedio de  $K^+$  en salmueras, expresados en miligramos/litro.

El Mg por otro lado, es abundante en la mayoría de los cuerpos de la región, con valores considerables entre (13 y 35 g/l) (cuadro 104 y figura 265).

Dado el elevado tenor de Mg hallado en las salmueras de los salitres La Salinilla (13 g/l), de La Perra (18 g/l) y la salina La Amarga (22 g/l), cuerpos que no están en explotación aún, es factible considerar que un proceso industrial podría propiciar la precipitación de una fase magnesiana final a partir de esta solución altamente salina.

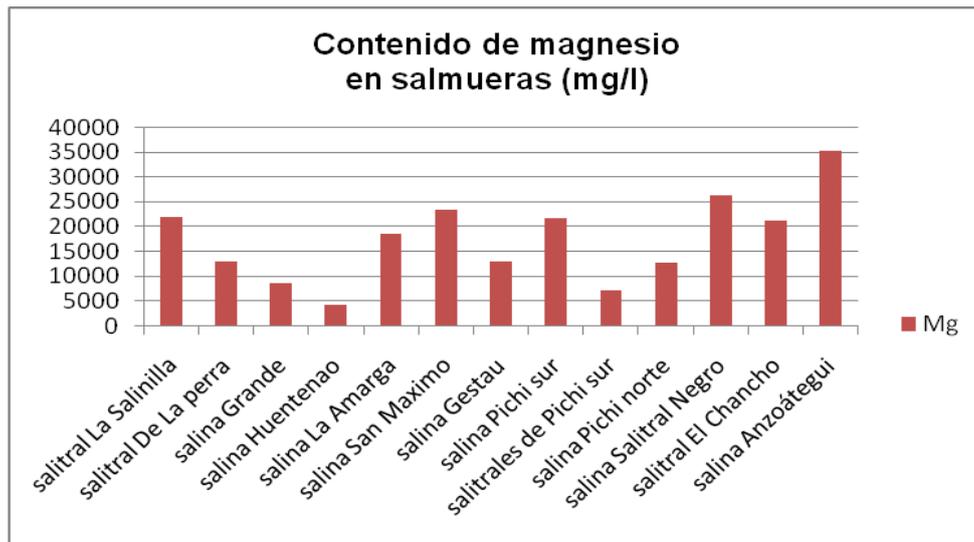


Figura 265. Gráfico comparativo de valores promedio de  $Mg^{2+}$  en salmueras, expresados en miligramos/litro.

Otros datos complementarios surgieron del presente estudio. Los valores de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  recopilados para la región (cuadro 104 y figuras 266 y 267), permiten inferir que las salinas Grande y La Amarga son cuerpos muy favorables para la explotación de  $\text{NaCl}$  tomando en cuenta su quimismo, su tamaño y su ubicación. En cuanto a los procesos de producción a emplear, se requieren estudios específicos. La salina Huentenao también es un cuerpo potencialmente económico (mediante explotación tradicional por cosecha) aunque de menor tamaño y con una ubicación algo más complicada. Los valores de cationes en salmueras, de las salinas de la región, actualmente en producción, están entre 60 y 100 g/l de  $\text{Na}^+$  y entre 170 y 200 g/l de  $\text{Cl}^-$ , las salinas mencionadas superan estos valores.

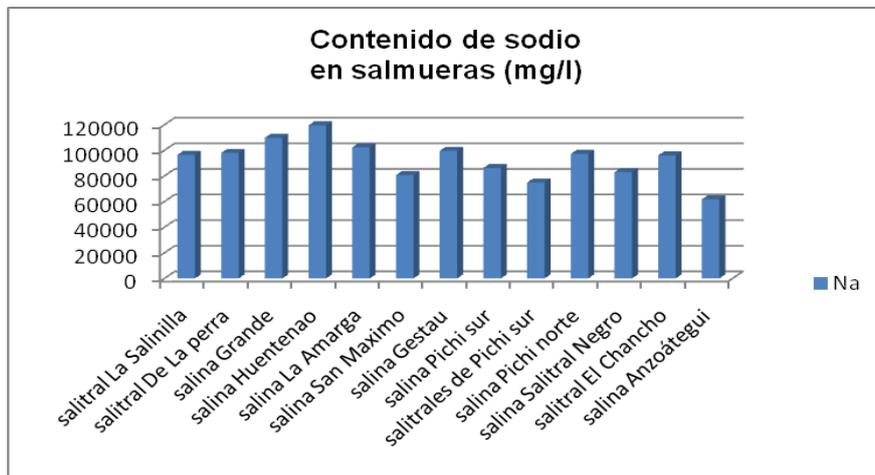


Figura 266. Gráfico comparativo de valores promedio de  $\text{Na}^+$  en salmueras, expresados en miligramos/litro.

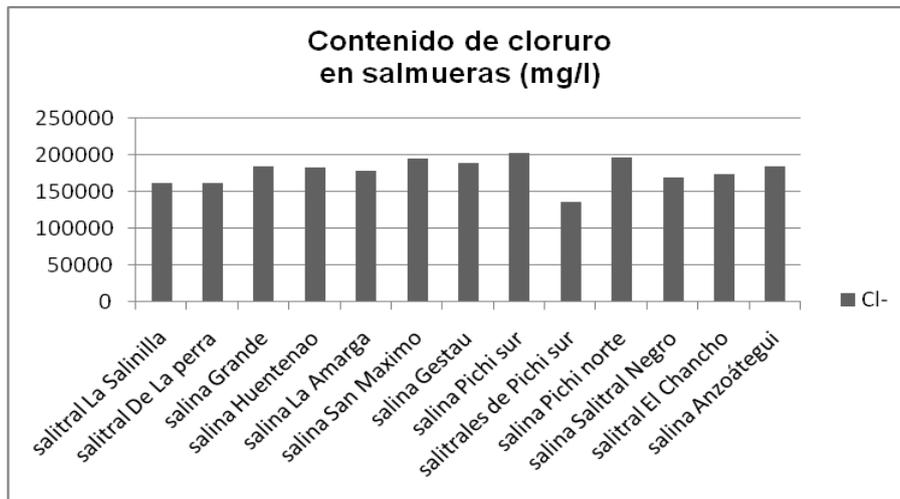


Figura 267. Gráfico comparativo de valores promedio de  $\text{Cl}^-$  en salmueras, expresados en miligramos/litro.

Asimismo, se recabó información de campo y laboratorio que permite actualizar datos que fueron obtenidos entre los años 1940 y 1970 y aportar nuevos conocimientos de cuerpos evaporíticos no estudiados hasta el momento. De todas maneras para la interpretación de la información obtenida, hay que tomar en cuenta que la dinámica de los cuerpos evaporíticos varía según la fecha de observación y las condiciones climáticas. También que las observaciones estuvieron limitadas a afloramientos de agua y pozos labrados a pala de muy poca profundidad (no más de 1 m).

A continuación se puntualizan las características más notables en lo regional y en lo particular de cada cuerpo.

Sobre los aspectos generales observados:

La región cuenta con cuencas endorreicas que permiten la concentración de elementos a consecuencia del balance negativo entre aporte de agua y evaporación. Al evaporarse el agua, ésta se concentra y lleva a la precipitación de sales. Utilizando las definiciones dadas por Cordini (1967), podemos diferenciar en la región: salitrales, con predominio de sedimentos sobre sales, algunos de los cuales tienen en superficie sólo eflorescencias salinas y otros, más evolucionados, desarrollan una costra primitiva. También salinas: cuencas evaporíticas con predominio de NaCl, y sulfatos de Mg, Ca y otros iones en distintas proporciones (figura 268, 269, 270 y 271).

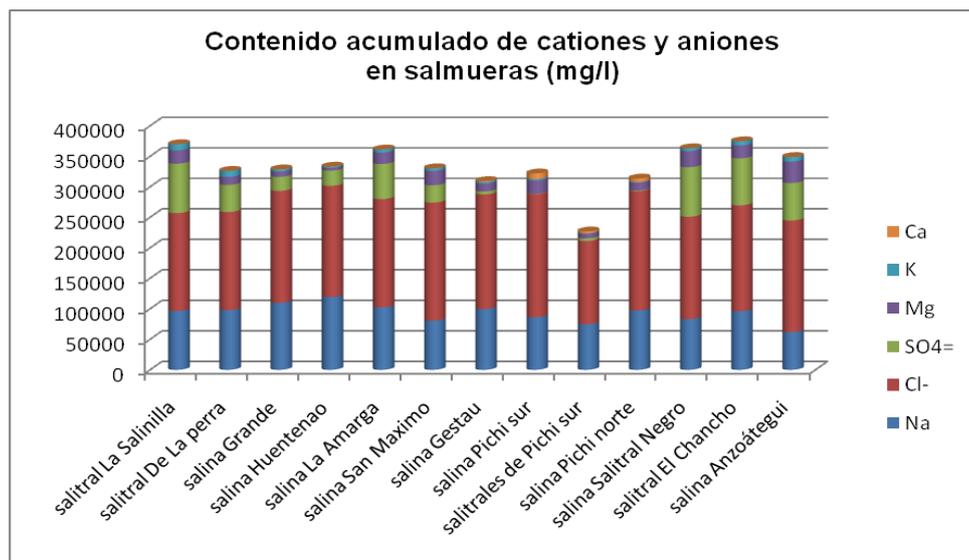


Figura 268. Gráfico comparativo de valores promedio acumulados de iones en salmueras, expresados en miligramos/litro.

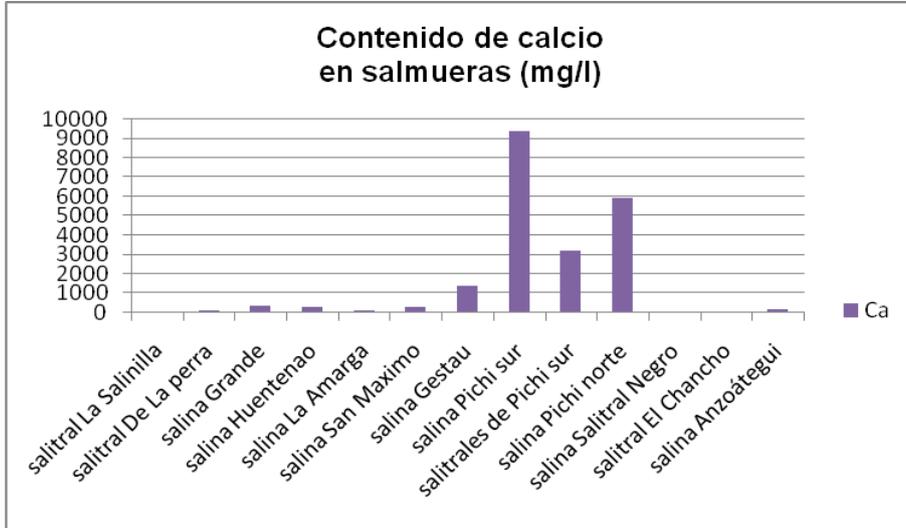


Figura 269. Gráfico comparativo de valores promedio de  $Ca^{2+}$  en salmueras, expresados en miligramos/litro.

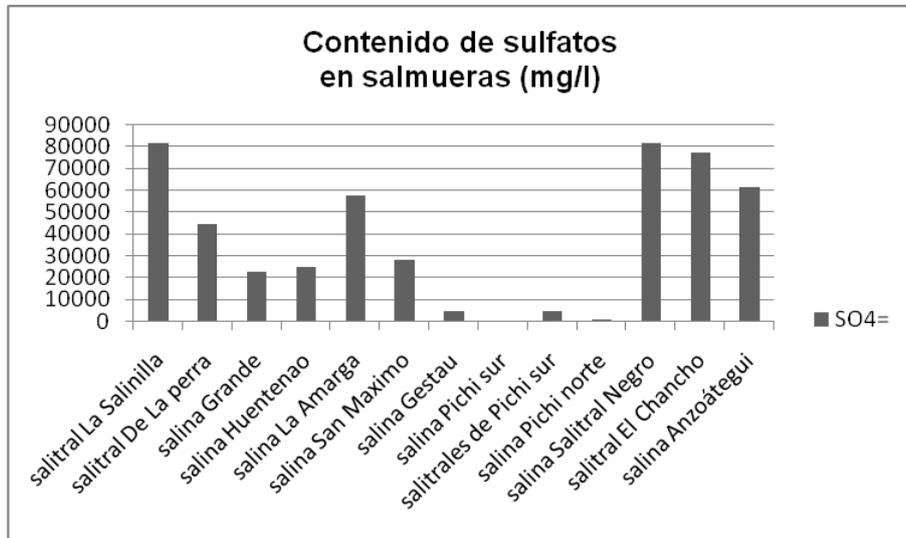


Figura 270. Gráfico comparativo de valores promedio de  $SO_4^{=}$  en salmueras, expresados en miligramos/litro.

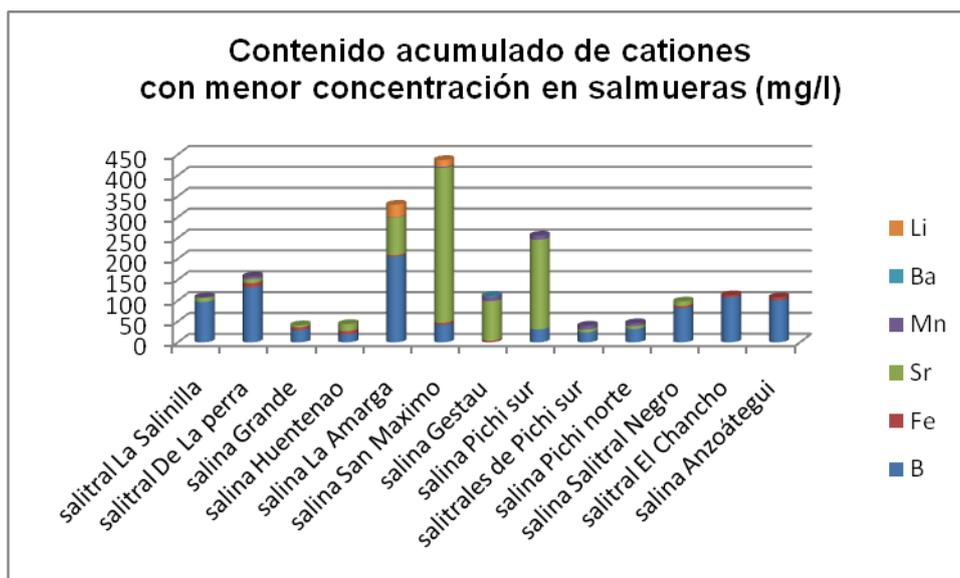


Figura 271. Gráfico comparativo de valores promedio acumulados de cationes en salmueras, expresados en miligramos/litro.

La mineralogía está dominada por halita con astracanita/bloedita en las costras superficiales y halita, glauberita, astracanita, epsomita, yeso, y algunos sulfatos de Ca y Mg complejos en los fangos salinos o costras subácueas por lo menos hasta el metro de profundidad.

Considerando que la naturaleza de los minerales producidos está definida por el aporte y los posteriores fraccionamiento y diferenciación que se llevan a cabo (Eugster, 1980), se puede establecer un modelo de evolución del quimismo de las aguas debidas a la evaporación. Existen en la bibliografía modelos, (ej. Garrels y Mackenzie (1967); Hardie y Eugster (1970) y Eugster y Hardie (1978)), que pueden ser utilizados para interpretar la mineralogía de las salinas pampeanas.

En un orden general, el primer mineral en precipitar es la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). Si en la solución inicial hay más carbonato que calcio, se concentrará el  $\text{CO}_3^{=}$  y disminuirá el  $\text{Ca}^{2+}$ , subiendo el pH por encima de 10. Es la **vía alcalina** que conduce a salmueras del tipo  $\text{Na-CO}_3\text{-(SO}_4\text{)-Cl}$  que precipitan carbonatos de sodio.

Si en la solución inicial hay más calcio que carbonato, la solución al evaporarse se enriquecerá en  $\text{Ca}^{2+}$  y se empobrecerá en  $\text{CO}_3^{=}$ , manteniéndose el pH por debajo de 9. Es la vía **salina neutra**.

Por otro lado, en la vía neutra, el aumento de la concentración del calcio conduce a la precipitación del yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Si al inicio de la precipitación del yeso hay más calcio que sulfato en la solución, ésta se enriquecerá en  $\text{Ca}^{2+}$  y se empobrecerá en  $\text{SO}_4^{=}$  llegando así a una salmuera del tipo Na-Ca-(Mg)-Cl o **salmuera cálcica**.

Si al contrario, hay más sulfato que calcio cuando empieza a precipitar el yeso, el  $\text{SO}_4^{=}$  se concentra y el  $\text{Ca}^{2+}$  disminuye originando una salmuera del tipo Na-(Mg)- $\text{SO}_4$ -Cl denominadas **salmueras "sulfatadas"** (Eugster, 1980).

Del análisis realizado en las salinas de la Pampa se puede inferir un modelo de evolución de tipo vía neutra con salmueras "sulfatadas" ya que se destaca la precipitación de minerales de Na, Mg  $\text{SO}_4^{=}$  y  $\text{Cl}^-$  que conforman las costras salinas temporarias y permanentes.

Desde una perspectiva regional los cuerpos presentan mayor evolución en cuanto a su contenido salino a medida que nos desplazamos a los sectores del sur. Los salitrales del extremo norte (Sector 1) son sólo cuencas con eflorescencias salinas cuyas aguas tienen un contenido salino apenas superior al agua dulce.

En el centro de la región estudiada (Sector 2), aparecen salitrales con costra salina temporaria aunque sin capacidad portante (La Salinilla y de La Perra) y salinas con costras temporarias compactas de varios centímetros y media a buena resistencia a la compresión (salina Grande y Huentena).

En el sur, (Sectores 3,4 y 5) los cuerpos son ya salinas productivas, en la mayor parte, con pisos que soportan maquinaria pesada (San Máximo, Gestau, Pichi Sur, Salitral negro, El Chancho, Anzoátegui).

En el siguiente cuadro se detallan algunos aspectos de interés en cada cuerpo.

| Nombre                | Situación     | salmueras ricas en | Extensión aprox. de costra salina en km <sup>2</sup> | Capacidad portante                   |
|-----------------------|---------------|--------------------|--|--------------------------------------|
| salitrales área 1     |               |                    |  |                                      |
| salitral La Salinilla |               | Na Cl Mg y K       | 4  | no                                   |
| salitral de La Perra  |               | Na Cl Mg y K       | 40   | no                                   |
| salina Grande         |               | NaCl               | 150  | no para maquinaria pesada            |
| salina Huentenao      |               | NaCl               | 3  | si                                   |
| salina La Amarga      |               | NaCl Mg            | 120  | con dudas por múltiples ojos de agua |
| salina San Máximo     | en producción | NaCl Mg            | 14   | si                                   |
| salina Gestau         | en producción | NaCl Mg            | 8  | si                                   |
| salina Pichi Sur      | en producción | NaCl Mg            | 3  | si                                   |
| salitral A            |               | NaCl               | 3  | no                                   |
| salitral B            |               | NaCl               | 3  | no                                   |
| salina Pichi Norte    | en producción | NaCl Mg            | 2  | si                                   |
| salina Salitral Negro | en producción | NaCl Mg            | 28   | si                                   |
| salina El Chancho     | en producción | NaCl Mg            | 7  | si                                   |
| salina Anzoátegui     | en producción | NaCl Mg            | 27   | si                                   |

Cuadro 105. Características químicas y estructurales de las salinas de la región.

## RECOMENDACIONES

Analizada toda la información y los resultados obtenidos en el presente trabajo, se recomienda enfatizar los estudios geológicos-económicos en el salitral de La Perra, en la salina Grande (o Gran Salitral) y en la Salina La Amarga (Puelches) para cuantificar la capacidad productora de sales de Mg y Na que se evidencia por los parámetros químicos observados y el tamaño de los cuerpos, así como evaluar la forma de explotación más conveniente y eficiente.

Por otro lado, en el caso de la salina La Amarga, con esta medida, se analizaría también si existen variaciones en profundidad o en otros sectores de la cuenca, que mejoren las concentraciones de Li halladas en las salmueras, en este estudio.

La recomendación de explotación de la salina La Amarga y Salina Grande, no surge por primera vez con este trabajo, de hecho ya ha sido mencionada en varias oportunidades desde el año 1960 (ej: Bioconsult latinoamericana S.A., 1978; Industrias del salitre, 1974); sin embargo, cuestiones de infraestructura, cuidado ambiental y escaso desarrollo local, dejaron le lado esta visión.

En estos últimos tiempos, las condiciones generales se han modificado, la capacidad técnica de las empresas provinciales y su interés de fortalecerse, la evolución sostenida de la educación en los jóvenes y la necesidad de desarrollo de las comunidades locales, la mejora en los servicios de transporte, comunicación y habitacional, así como la evolución química de ambas salinas. Por lo cual ahora, parece oportuno tomar en cuenta este desafío.

Un sólo tema quedaría por zanjar para un desarrollo sustentable: las cuestiones ambientales.

Actualmente se cuenta con protocolos ambientales fuertes, oportunos e inteligentes por parte del Estado provincial, que propician, si se quiere, un desarrollo controlado en convivencia con el ambiente natural.

De esta manera se tendría a corto plazo la posibilidad de ofrecer nuevos polos de desarrollo, que redundarían inmediatamente en una mejora de la calidad de vida en especial, para las nuevas generaciones de la región.

# BIBLIOGRAFÍA

**ASSERETO, R.L. y Kendall, C.G. 1977.** Nature, origin and classification of peritidal tepees structures and related breccias. *Sedimentology*, vol 24, 2: 153-210.

**BERNARDI, M.I. 2016.** Petrología y volcanología de los flujos basálticos neógenos-cuaternarios del retroarco extraandino entre los 36°S y 37°30'S, provincias de Mendoza y La Pampa, Argentina. Tesis doctoral Universidad Nacional de Córdoba. 352 p. Córdoba.

**BIOCONSULT LATINOAMERICANA S.A. 1978.** Informe sobre la presencia del catión magnesio, en laguna "La Amarga", de Curacó, Informe inédito, 15 p. Dirección de Minería de la provincia de La Pampa. Santa Rosa.

**CANGIOLI, G. 1971.** Manifestaciones saliníferas de la provincia de La Pampa. Salitral Negro-Salitral Colorado. I Simposio Nacional de Geología Económica 1:205-212. San Juan.

**CASPARRI, J.M y MALAN, J.M. 2011.** Estimaciones del comportamiento hidrológico en la Región del Salitral de La Perra y Valle de Puelén, con evaluación química de la costra salina y/o salmueras de dicho salitral. Consejo Federal de Inversiones. Informe inédito, 67 p. Buenos Aires.

**CAZENAVE, H.W. 1987.** Diagonal fluvial pampeana. Un análisis hidrográfico por satelitaria. 3°s Jornadas pampeanas de Ciencias Naturales: 137-145. Santa Rosa.

**CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES. 1981.** Aprovechamiento minero de la provincia de La Pampa. Antecedentes para la evaluación de salinas y

salmueras. Anteproyecto de recursos de magnesio. Servicios Técnicos Spartan S.A. Informe final V 4, 349 p. Buenos Aires.

**CORDINI, I.R. 1947.** Contribución al conocimiento de los cuerpos salinos de la Argentina. Colorada Grande, cuerpos salinos de Utracán-Acha. La Pampa. Extracto. Dirección Nacional de Minería y Geología anales 1 n° 18, Buenos Aires.

**CORDINI, I.R. 1950.** Contribución al conocimiento de los cuerpos salinos de la Argentina: Colorada Grande, Choiqué, cuerpos salinos de Utracán-Acha, salitral y salinas de Pocitos, salinas Chicas y Chasicó. Dirección Nacional de Minería y Geología, Anales 3. Buenos Aires.

**CORDINI, I.R. 1958a.** Salinas Grandes de Hidalgo, provincia de La Pampa. Dirección Nacional de Geología y Minería, Carpeta n° 387. Informe inédito. Buenos Aires.

**CORDINI, I.R. 1958b.** Salinas Grandes de Hidalgo, La Pampa. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín informativo n° 14/15: 10-20. Buenos Aires.

**CORDINI, I.R. 1962a.** Informe sobre los trabajos geológicos realizados durante los meses de agosto a octubre de 1962. Ente Provincial del Río Colorado, informe inédito, 4 p. y 1 mapa en escala 1:100.000. Santa Rosa

**CORDINI, I.R. 1962b.** Salinas Grandes: su aptitud como reserva industrial de cloruro de sodio. Ente Provincial del Río Colorado, informe inédito, 6 p. Santa Rosa.

**CORDINI, I.R. 1962c.** Salina Anzoátegui - La Pampa. Ente Provincial del Río Colorado, informe inédito, 8 p. y 1 mapa. Santa Rosa.

**CORDINI, I.R. 1962d.** El Salitral negro (salina del lote 4) departamento Caleu-Caleu (provincia de La Pampa). Ente Provincial del Río Colorado, informe inédito, 4 p. Santa Rosa.

**CORDINI, I.R. 1963.** Las reservas salinas de La Pampa. Dirección Nacional de Geología y Minería, informe inédito, carpeta n° 765, 105 p. Buenos Aires.

**CORDINI, I.R. 1967.** Reservas salinas de Argentina. Secretaría de Estado de Energía y Minería. Anales 13:1-108. Buenos Aires.

**DAVIS, S.N. y De WIEST, R.J.M. 1967.** Hidrogeology, Wiley, New York, 463 p.

**ETCHEVERRÍA, M.P. y FOLGUERA, A. 2009.** Hojas Geológicas 3963-III y IV Colonia Juliá y Echarren y Pedro Luro. 1:250.000. Programa nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Provincias de Río Negro, Buenos Aires y La Pampa. Boletín 382. 61 p. Buenos Aires.

**ESPEJO, P.M. y SILVA NIETO, D.G. 1996.** Hoja Geológica 3966-II Puelches. 1:250.000. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. La Pampa – Río Negro. Boletín 216. 35 p. Buenos Aires.

**ESPEJO, P.M. y SILVA NIETO, D.G. 2007.** Hoja Geológica 3966-I Gobernador Duval. 1:250.000. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. La Pampa – Río Negro. Boletín 368. 67 p. Buenos Aires.

**EUGSTER, H.P. 1980.** Geochemistry of evaporitic lacustrine deposits. Annual Review Earth Planet. Sci. 8:35-63.

**EUGSTER, H.P. y HARDIE, L.A. 1978.** Saline lakes. In Chemistry, Geology and Physics of Lakes, ed. A. Lerman: 237-93.

**FOLGUERA A., ETCHEVERRÍA M. Y ZÁRATE, M. 2015.** Hoja Geológica 3963-I, Río Colorado. Provincias de La Pampa, Buenos Aires y Río Negro.

1:250.000. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Boletín 2410. 69 p. Buenos Aires.

**GARRELS, R. M. y MACKENZIE, F.T. 1967.** Origin of the chemical composition of some springs and lakes. In Equilibrium Concepts in Natural Water Systems. American Chemical Society. Adv. Chem. 67:222-42

**HARDIE, L.A. y EUGSTER, H.P. 1970.** The evolution of closed-basin brines. Mineral Society of America. Publicación especial 3:273-90.

**INDUSTRIAS DEL SALITRE. 1974.** Informe realizado con motivo de la consulta para la explotación de sales de Mg en la laguna La Amarga – Curacó. Informe Inédito 13 p. Dirección de Minería de la provincia de La Pampa. Santa Rosa

**MELCHOR, R. y CASADIO, S. 2000.** Hoja Geológica 3766-III La Reforma, La Pampa 1:250.000. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Boletín 295. 70 p. Buenos Aires.

**MELCHOR, R. y LLAMBÍAS, E.J. 2004.** Hoja Geológica 3766-I Santa Isabel, La Pampa 1:250.000. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Boletín 344. 41 p. Buenos Aires.

**NARCISO, V., ZANETTINI J.M. y SEPULVEDA, E. 2007.** Hoja Geológica 3769-II Agua Escondida. Provincia de Mendoza y La Pampa, 1:250.000. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. La Pampa. Boletín 300. 54 p. Buenos Aires.

**SAUZÉAT L., RUDNICK, R.L., CHAUVEL, C., GARÇON, M., y TANG, M. 2015.** A New perspectives on the Li isotopic composition of the upper continental crust and its weathering signature. Earth and Planetary Science Letters 428:181–192

**SCHALAMUK, I., DEL BLANCO, M., MARCHIONNI, D., ROMERO S. y CÁBANA, C. 1999.** Salinas y sulfateras de la región pampeana, Buenos Aires y La Pampa. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E.O. Zappettini) INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES SEGEMAR, Anales 35: 1947-1962. Buenos Aires.

**SILVA NIETO, G.G., MONTALVO, C.I., ZÁRATE, M. y SZELAGOWSKI, M., 2008.** VALLE ARGENTINO. Un corredor hacia los Andes. Sitios de Interés Geológico, SEGEMAR. Tomo 2: 521-535.

**STAUFFACHER, W. 1964.** Las salinas de La Pampa y la industria salinera argentina. 92 p. Copia en Dirección de Minería de la provincia de La Pampa, Santa Rosa.

**TULLIO, J. 1968.** Condiciones de explotabilidad de la salina San Máximo. Informe inédito, 5 p. Dirección de Minería de la provincia de La Pampa, Santa Rosa.

**TULLIO, J. 1971.** Informe sobre el Salitral Negro- Departamento Caleu-Caleu. Informe inédito 3 p. Dirección de Minería de la provincia de La Pampa, Santa Rosa.

**ZLATAR ALE, Y. 1977.** Estudio geológico-minero de la laguna La Amarga. Informe inédito 10 p. Dirección de Minería de la provincia de La Pampa, Santa Rosa.

**YUBERO DE MATEO, M.T. 2008.** Análisis del proceso de compactación en una escombrera de sal. Tesina de especialidad, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, 190 p.

## ANEXO.

### 1. Geo-referencias

| Fecha      | Denominación específica del lugar | Nombre de la Muestra | Latitud       | Longitud      |
|------------|-----------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| 12/12/2016 | salitral de La Perra              | M1-1                 | 36°43'21.35"S | 68°11'35.94"O |
| 12/02/2017 | salitral de La Perra              | M1-1bis              | 36°43'21.35"S | 68°11'35.94"O |
| 12/02/2017 | salitral de La Perra              | M2-1                 | 36°43'32.44"S | 68°10'53.29"O |
| 12/02/2017 | salitral "B"                      | M3-1                 | 36°44'43.58"S | 68°09'34.12"O |
| 12/12/2016 | salitral "C"                      | M4-1                 | 36°45'50.06"S | 68°02'44.12"O |
| 11/02/2017 | Aguada Chos Malal                 | M1-2                 | 36°47'20.30"S | 68°09'38.62"O |
| 11/02/2017 | Puesto Rumbo al Oeste             | M2-2                 | 36°47'47.82"S | 68°12'26.18"O |
| 11/02/2017 | Puesto El Salitralito             | M3-2                 | 36°45'28.32"S | 68°13'04.61"O |
| 11/02/2017 | Puesto El Salitralito             | M4-2                 | 36°45'41.56"S | 68°12'56.26"O |
| 13/12/2016 | Puesto Los Carrizales             | M5-2                 | 36°48'30.22"S | 68°06'46.24"O |
| 13/12/2016 | Aguada Los Carrizales             | M6-2                 | 36°49'01.67"S | 68°06'02.19"O |
| 13/12/2016 | salitral El Ñire                  | M1-5                 | 37°04'41.72"S | 67°55'26.91"O |
| 13/12/2016 | Estancia Los Carrizales           | M2-5                 | 37°03'50.57"S | 67°50'59.73"O |
| 11/02/2017 | salitral El Ñire                  | M3-5                 | 37°04'39.26"S | 67°57'16.03"O |
| 11/02/2017 | salitral El Ñire                  | M4-5                 | 37°04'55.36"S | 67°55'59.54"O |
| 11/02/2017 | salitral El Ñire                  | M5-5                 | 37°05'11.44"S | 67°56'02.86"O |
| 13/12/2016 | Puesto Los Ramblones              | M6-5                 | 36°57'43.49"S | 67°59'11.69"O |
| 02/02/2017 | salitral La Salinilla             | M1-8                 | 37°29'26.51"S | 67°48'17.79"O |
| 02/02/2017 | salitral La Salinilla             | M2-8                 | 37°29'22.26"S | 67°48'01.37"O |
| 14/12/2016 | Puesto Martes 13                  | M1-9                 | 37°36'40.71"S | 67°35'08.71"O |
| 14/12/2016 | salitral de La Perra              | M2-9                 | 37°36'07.72"S | 67°33'49.30"O |
| 03/02/2017 | salina Grande                     | M1-10                | 37°30'18.48"S | 66°58'24.38"O |
| 03/02/2017 | salina Grande                     | M2-10                | 37°29'52.27"S | 66°58'49.53"O |
| 03/02/2017 | salina Grande                     | M3-10                | 37°29'15.29"S | 66°59'22.11"O |
| 03/02/2017 | salina Grande                     | M4-10                | 37°28'44.98"S | 66°59'51.04"O |
| 03/02/2017 | salina Grande                     | M5-10                | 37°28'16.20"S | 67°00'39.85"O |
| 03/02/2017 | salina Grande                     | M6-10                | 37°27'33.61"S | 67°01'44.97"O |
| 10/02/2017 | salina Huentenao                  | M1-11                | 37°28'31.49"S | 66°49'17.28"O |
| 10/02/2017 | salina Huentenao                  | M2-11                | 37°28'51.57"S | 66°49'15.08"O |
| 10/02/2017 | salina Huentenao                  | M3-11                | 37°29'05.85"S | 66°49'47.91"O |
| 10/02/2017 | salina Huentenao                  | M4-11                | 37°29'03.34"S | 66°50'23.89"O |
| 20/12/2016 | salina La Amarga                  | M1-12                | 38°11'58.77"S | 66°08'12.63"O |
| 20/12/2016 | salina La Amarga                  | M2-12                | 38°12'46.18"S | 66°07'18.93"O |
| 20/12/2016 | salina La Amarga                  | M3-12                | 38°13'16.95"S | 66°06'32.28"O |
| 20/12/2016 | salina La Amarga                  | M4-12                | 38°13'44.51"S | 66°05'55.27"O |
| 22/03/2017 | salina La Amarga                  | M0-12                | 38°11'19.47"S | 66°08'46.45"O |
| 22/03/2017 | salina La Amarga                  | M1'-12               | 38°11'47.23"S | 66°07'44.55"O |
| 22/03/2017 | salina La Amarga                  | M2'-12               | 38°12'16.28"S | 66°06'45.14"O |
| 22/03/2017 | salina La Amarga                  | M3'-12               | 38°12'28.01"S | 66°05'34.63"O |
| 22/12/2016 | salina San Máximo                 | M1-15                | 38°25'23.65"S | 65°54'57.10"O |
| 22/12/2016 | salina San Máximo                 | M2-15                | 38°26'15.68"S | 65°54'26.80"O |

|            |                       |       |               |               |
|------------|-----------------------|-------|---------------|---------------|
| 22/12/2016 | salina San Máximo     | M3-15 | 38°26'48.83"S | 65°53'31.08"O |
| 22/12/2016 | salina San Máximo     | M4-15 | 38°27'05.75"S | 65°52'41.90"O |
| 21/12/2016 | salina Gestau         | M1-16 | 38°31'14.05"S | 65°50'45.01"O |
| 21/12/2016 | salina Gestau         | M2-16 | 38°31'39.27"S | 65°50'49.66"O |
| 21/12/2016 | salina Gestau         | M3-16 | 38°31'06.07"S | 65°49'57.72"O |
| 18/03/2017 | salina Pichi Sur      | M1-13 | 38°35'23.32"S | 65°12'54.46"O |
| 17/03/2017 | salina Pichi Sur      | M2-13 | 38°36'10.52"S | 65°13'18.63"O |
| 17/03/2017 | salina Pichi Sur      | M3-13 | 38°36'32.08"S | 65°12'55.65"O |
| 19/03/2017 | salitral "A"          | M4-13 | 38°34'40.64"S | 65°13'27.92"O |
| 20/03/2017 | salitral "B"          | M5-13 | 38°31'40.04"S | 65°09'55.02"O |
| 21/03/2017 | salina Pichi Norte    | M1-14 | 38°35'36.56"S | 65°10'08.12"O |
| 26/12/2016 | salina Salitral Negro | M1-17 | 38°40'51.38"S | 64°11'32.43"O |
| 26/12/2016 | salina Salitral Negro | M2-17 | 38°40'18.18"S | 64°11'05.33"O |
| 26/12/2016 | salina Salitral Negro | M3-17 | 38°39'57.28"S | 64°10'23.96"O |
| 28/12/2016 | salina El Chancho     | M1-18 | 38°37'15.61"S | 63°46'46.63"O |
| 28/12/2016 | salina El Chancho     | M2-18 | 38°37'26.56"S | 63°47'28.09"O |
| 28/12/2016 | salina El Chancho     | M3-18 | 38°37'48.15"S | 63°48'11.68"O |
| 28/12/2016 | salina El Chancho     | M4-18 | 38°37'15.22"S | 63°45'46.10"O |
| 27/12/2016 | salina Anzoátegui     | M1-19 | 39°00'47.10"S | 63°48'03.70"O |
| 27/12/2016 | salina Anzoátegui     | M2-19 | 39°00'49.69"S | 63°46'04.81"O |
| 27/12/2016 | salina Anzoátegui     | M3-19 | 39°01'05.70"S | 63°44'15.90"O |

# ANEXO

## 2.Mapas

| Número | Sector             | Nombre del cuerpo                        | Página |
|--------|--------------------|--|--------|
| 1      | Corredor magmático | General                                  | 14     |
| 2      | Zonas de estudio   | General                                  | 15     |
| 3      | Sector 1           | General                                  | 27     |
| 4      | Sector 1           | Área Puesto Jagüel de la perra           | 30     |
| 5      | Sector 1           | Área Aguada Chos Malal                   | 39     |
| 6      | Sector 1           | Área Puesto El Ñire, lugares de muestreo | 47     |
| 7      | Sector 1           | Área Puesto El Ñire, muestras            | 48     |
| 8      | Sector 2           | General                                  | 60     |
| 9      | Sector 2           | salitral La Salinilla (La Salina)        | 62     |
| 10     | Sector 2           | salitral de La Perra                     | 81     |
| 11     | Sector 2           | salina Grande (Gran Salitral)            | 93     |
| 12     | Sector 2           | salina Huentenao (Chicas)                | 115    |
| 13     | Sector 3           | General                                  | 133    |
| 14     | Sector 3           | salina La Amarga                         | 135    |
| 15     | Sector 3           | salina San Máximo                        | 158    |
| 16     | Sector 3           | salina Gestau                            | 177    |
| 17     | Sector 4           | General                                  | 196    |
| 18     | Sector 4           | salina Pichi Sur                         | 198    |
| 19     | Sector 4           | salitrales de Pichi Sur A y B            | 209    |
| 20     | Sector 4           | salina Pichi norte                       | 222    |
| 21     | Sector 5           | General                                  | 233    |
| 22     | Sector 5           | salina Salitral Negro                    | 235    |
| 23     | Sector 5           | salina El Chancho                        | 252    |
| 24     | Sector 5           | salina Anzoátegui                        | 269    |

# ANEXO

## 3.Cuadros

| Número | Locación                       | Descripción  | Página |
|--------|--------------------------------|--|--------|
| 1      | General                        | límites de detección en salmueras                                | 22     |
| 2      | General                        | límites de detección en costras salinas                          | 23     |
| 3      | General                        | límites de detección en sedimentos y rocas                       | 24     |
| 4      | Área Puesto Jagüel de la perra | geo-referencias de las muestras                                  | 31     |
| 5      | Área Puesto Jagüel de la perra | observaciones en campo de las aguas muestreadas                  | 33     |
| 6      | Área Puesto Jagüel de la perra | resultados analíticos de cationes de aguas muestreadas           | 37     |
| 7      | Área Puesto Jagüel de la perra | resultados analíticos de aniones de aguas muestreadas            | 37     |
| 8      | Área Puesto Jagüel de la perra | resultados analíticos de cationes de sedimentos muestreados      | 38     |
| 9      | Área Aguada Chos Malal         | geo-referencias de las muestras                                  | 40     |
| 10     | Área Aguada Chos Malal         | observaciones en campo de las aguas muestreadas                  | 41     |
| 11     | Área Aguada Chos Malal         | resultados analíticos de cationes de aguas muestreadas           | 45     |
| 12     | Área Aguada Chos Malal         | resultados analíticos de aniones de aguas muestreadas            | 46     |
| 13     | Área Aguada Chos Malal         | resultados analíticos de cationes de sedimentos muestreados      | 46     |
| 14     | Área Puesto El Ñire            | geo-referencias de las muestras                                  | 49     |
| 15     | Área Puesto El Ñire            | observaciones en campo de las aguas muestreadas                  | 50     |
| 16     | Área Puesto El Ñire            | resultados analíticos de cationes de aguas muestreadas           | 55     |
| 17     | Área Puesto El Ñire            | resultados analíticos de aniones de aguas muestreadas            | 56     |
| 18     | Área Puesto El Ñire            | resultados analíticos de cationes de sedimentos muestreados      | 56     |
| 19     | Sector 1                       | valores promedio de cationes en aguas del Sector                 | 57     |
| 20     | Sector 1                       | clasificación de salinidad de las aguas muestreadas en el Sector | 57     |
| 20 1   | Sector 1                       | resumen de valores de Li en sedimentos muestreados               | 59     |
| 21     | salitral La Salinilla          | geo-referencias de las muestras                                  | 64     |
| 22     | salitral La Salinilla          | observaciones en campo de las salmueras muestreadas              | 72     |
| 23     | salitral La Salinilla          | resultados analíticos de cationes de salmueras                   | 76     |
| 24     | salitral La Salinilla          | resultados analíticos de aniones de salmueras                    | 77     |
| 25     | salitral La Salinilla          | resultados analíticos de cationes de costras salinas             | 78     |
| 26     | salitral La Salinilla          | resultados analíticos de cationes en sedimentos muestreados      | 80     |
| 27     | salitral de La Perra           | geo-referencias de las muestras                                  | 83     |
| 28     | salitral de La Perra           | observaciones en campo de las aguas muestreadas                  | 88     |
| 29     | salitral de La Perra           | resultados analíticos de cationes de salmueras                   | 88     |
| 30     | salitral de La Perra           | resultados analíticos de aniones de salmueras                    | 90     |
| 31     | salitral de La Perra           | resultados analíticos de cationes de costras salinas             | 91     |
| 32     | salitral de La Perra           | resultados analíticos de cationes en sedimentos muestreados      | 92     |
| 33     | Salina Grande                  | geo-referencias de las muestras                                  | 95     |
| 34     | Salina Grande                  | observaciones en campo de las salmueras muestreadas              | 98     |
| 35     | Salina Grande                  | resultados analíticos de cationes de salmueras                   | 110    |
| 36     | Salina Grande                  | resultados analíticos de aniones de salmueras                    | 111    |
| 37     | Salina Grande                  | resultados analíticos de cationes en costras salinas             | 113    |

|    |                         |   |            |
|----|-------------------------|---|------------|
| 38 | Salina Grande           | resultados analíticos de cationes de sedimentos         | <b>114</b> |
| 39 | salina Huentenao        | geo-referencias de las muestras                         | <b>117</b> |
| 40 | salina Huentenao        | observaciones en campo de las salmueras muestreadas     | <b>121</b> |
| 41 | salina Huentenao        | resultados analíticos de cationes de salmueras          | <b>123</b> |
| 42 | salina Huentenao        | resultados analítico de aniones de salmueras            | <b>124</b> |
| 43 | salina Huentenao        | resultados analíticos de cationes en costras salinas    | <b>126</b> |
| 44 | salina Huentenao        | resultados analíticos de cationes de sedimentos         | <b>127</b> |
| 45 | Sector 2                | valores promedio de cationes en salmueras               | <b>128</b> |
| 46 | Sector 2                | resumen de resultados analíticos de cationes en costras | <b>130</b> |
| 47 | Sector 2                | resumen de valores de Li en sedimentos                  | <b>132</b> |
| 48 | salina La Amarga        | geo-referencias de las muestras                         | <b>137</b> |
| 49 | salina La Amarga        | observaciones en campo de las salmueras muestreadas     | <b>145</b> |
| 50 | salina La Amarga        | resultados analíticos de cationes de salmueras          | <b>152</b> |
| 51 | salina La Amarga        | resultados analíticos de aniones de salmueras           | <b>153</b> |
| 52 | salina La Amarga        | resultados analíticos de cationes en costras salinas    | <b>156</b> |
| 53 | salina La Amarga        | resultados analíticos de cationes de sedimentos         | <b>157</b> |
| 54 | salina San Máximo       | geo-referencias de las muestras                         | <b>160</b> |
| 55 | salina San Máximo       | observaciones en campo de las salmueras muestreadas     | <b>163</b> |
| 56 | salina San Máximo       | resultados analíticos de cationes de salmueras          | <b>171</b> |
| 57 | salina San Máximo       | resultados analíticos de aniones de salmueras           | <b>172</b> |
| 58 | salina San Máximo       | resultados analíticos de cationes en costras salinas    | <b>174</b> |
| 59 | salina San Máximo       | resultados analíticos de cationes de sedimentos         | <b>176</b> |
| 60 | salina Gestau           | geo-referencias de las muestras                         | <b>179</b> |
| 61 | salina Gestau           | observaciones en campo de las salmueras muestreadas     | <b>181</b> |
| 62 | salina Gestau           | resultados analíticos de cationes de salmueras          | <b>186</b> |
| 63 | salina Gestau           | resultados analíticos de aniones de salmueras           | <b>187</b> |
| 64 | salina Gestau           | resultados analíticos de cationes en costras salinas    | <b>189</b> |
| 65 | salina Gestau           | resultados analíticos de cationes de sedimentos         | <b>190</b> |
| 66 | Sector 3                | promedios de cationes y aniones en salmueras            | <b>191</b> |
| 67 | Sector 3                | resumen composición química de costras salinas          | <b>193</b> |
| 68 | Sector 3                | Li en sedimentos y rocas                                | <b>194</b> |
| 69 | salina Pichi sur        | geo-referencias de las muestras                         | <b>200</b> |
| 70 | Pichi sur y encadenadas | observaciones en campo de las aguas envasadas           | <b>214</b> |
| 71 | Pichi sur y encadenadas | resultados analíticos de cationes de salmueras          | <b>215</b> |
| 72 | Pichi sur y encadenadas | resultados analíticos de aniones de salmueras           | <b>217</b> |
| 73 | Pichi sur y encadenadas | resultados analíticos de cationes en costra             | <b>219</b> |
| 74 | Pichi sur y encadenadas | resultados analíticos de cationes de sedimentos         | <b>221</b> |
| 75 | salina Pichi norte      | geo-referencias de las muestras                         | <b>224</b> |
| 76 | salina Pichi norte      | observaciones en campo de las aguas envasadas           | <b>225</b> |
| 77 | salina Pichi norte      | resultados analíticos de cationes de salmueras          | <b>226</b> |
| 78 | salina Pichi norte      | resultados analíticos de aniones de salmueras           | <b>227</b> |
| 79 | salina Pichi norte      | resultados analíticos de cationes en costra             | <b>228</b> |
| 80 | salina Pichi norte      | resultados analíticos de cationes de sedimentos         | <b>228</b> |
| 81 | Sector 4                | valores promedios de cationes y aniones de salmueras    | <b>229</b> |

|      |                       |  |            |
|------|-----------------------|--|------------|
| 81-b | Sector 4              | resumen de composición catiónica de costras superficiales        | <b>230</b> |
| 82   | Sector 4              | Resumen de valores de Li en sedimentos y rocas                   | <b>231</b> |
| 83   | salina Salitral negro | geo-referencias de las muestras                                  | <b>237</b> |
| 84   | salina Salitral negro | observaciones en campo de las aguas envasadas                    | <b>237</b> |
| 85   | salina Salitral negro | resultados analíticos de cationes de salmueras                   | <b>247</b> |
| 86   | salina Salitral negro | resultados analíticos de aniones de salmueras                    | <b>248</b> |
| 87   | salina Salitral negro | resultados analíticos de cationes en costra                      | <b>250</b> |
| 88   | salina Salitral negro | resultados analíticos de cationes de sedimentos                  | <b>251</b> |
| 89   | salina El Chanco      | geo-referencias de las muestras                                  | <b>254</b> |
| 90   | salina El Chanco      | observaciones en campo de las aguas envasadas                    | <b>255</b> |
| 91   | salina El Chanco      | resultados analíticos de cationes de salmueras                   | <b>264</b> |
| 92   | salina El Chanco      | resultados analíticos de aniones de salmueras                    | <b>265</b> |
| 93   | salina El Chanco      | resultados analíticos de cationes en costra                      | <b>267</b> |
| 94   | salina El Chanco      | resultados analíticos de cationes de sedimentos                  | <b>268</b> |
| 95   | salina Anzoátegui     | geo-referencias de las muestras                                  | <b>271</b> |
| 96   | salina Anzoátegui     | observaciones en campo de las aguas envasadas                    | <b>272</b> |
| 97   | salina Anzoátegui     | resultados analíticos de cationes de salmueras                   | <b>280</b> |
| 98   | salina Anzoátegui     | resultados analíticos de aniones de salmueras                    | <b>281</b> |
| 99   | salina Anzoátegui     | resultados analíticos de cationes en costra                      | <b>283</b> |
| 100  | salina Anzoátegui     | resultados analíticos de cationes de sedimentos                  | <b>284</b> |
| 101  | Sector 5              | valores promedios de cationes y aniones de salmueras             | <b>285</b> |
| 102  | Sector 5              | resumen de composición catiónica de costras superficiales        | <b>286</b> |
| 103  | Sector 5              | resumen de valores de Li en material clástico de fangos salinos  | <b>287</b> |
| 104  | Región total          | Resumen de valores promedio de iones en salmueras para la región | <b>289</b> |
| 105  | Región total          | características particulares de salinas y salitrales             | <b>296</b> |

# ANEXO

## 4.Figuras

| Referencias |                                |
|-------------|--------------------------------|
|             |                                |
|             | Difractograma RX               |
|             |                                |
|             | Perfil litológico              |
|             |                                |
|             | Gráfico estadístico            |
|             |                                |
|             | Imagen microscopio electrónico |
|             |                                |
|             | Fotos                          |

| Número y código de color | Locación                | Descripción  | Página |
|--------------------------|-------------------------|--|--------|
| 1                        | General                 | morfología de cristales de halita de crecimiento libre | 20     |
| 2                        | Área Jagüel de La Perra | foto vista del Salitral de La Perra                    | 31     |
| 3                        | Área Jagüel de La Perra | foto del perfil del pozo muestreado                    | 32     |
| 4                        | Área Jagüel de La Perra | difractograma de rayos x - roca total                  | 33     |
| 5                        | Área Jagüel de La Perra | difractograma de rayos x - fracción arcillas           | 34     |
| 6                        | Área Jagüel de La Perra | perfil litológico generalizado                         | 35     |
| 7                        | Área Jagüel de La Perra | fotos de minerales de grano suelto al microscopio      | 36     |
| 8                        | Área Jagüel de La Perra | fotos de minerales de grano suelto al microscopio      | 36     |
| 9                        | Área Aguada Chos Malal  | foto vista del salitral El Salitralito                 | 40     |
| 10                       | Área Aguada Chos Malal  | foto del perfil del pozo muestreado                    | 41     |
| 11                       | Área Aguada Chos Malal  | difractograma de rayos x - roca total                  | 42     |
| 12                       | Área Aguada Chos Malal  | difractograma de rayos x - fracción arcillas           | 42     |
| 13                       | Área Aguada Chos Malal  | perfil litológico generalizado                         | 43     |
| 14                       | Área Aguada Chos Malal  | fotos de minerales a grano suelto                      | 44     |
| 15                       | Área Aguada Chos Malal  | fotos de minerales a grano suelto                      | 44     |
| 16                       | Área Puesto El Ñire     | foto vista del salitral El Ñire                        | 49     |
| 17                       | Área Puesto El Ñire     | foto del perfil del pozo muestreado                    | 50     |
| 18                       | Área Puesto El Ñire     | difractograma de rayos x - roca total                  | 51     |
| 19                       | Área Puesto El Ñire     | difractograma de rayos x - fracción arcillas           | 51     |
| 20                       | Área Puesto El Ñire     | difractograma de rayos x - roca total                  | 52     |
| 21                       | Área Puesto El Ñire     | difractograma de rayos x - fracción arcillas           | 52     |

|    |                     |  |    |
|----|---------------------|--|----|
| 22 | Área Puesto El Ñire | perfil litológico generalizado   | 53 |
| 23 | Área Puesto El Ñire | fotos de minerales a grano suelto  | 54 |
| 24 | Área Puesto El Ñire | fotos de minerales a grano suelto  | 54 |
| 25 | Sector 1            | gráfico comparativo de contenidos aniones, cationes y agua dulce         | 58 |
| 26 | La Salinilla        | foto vista del salitral  | 63 |
| 27 | La Salinilla        | foto vista de los mega polígonos de sal sobre la playa                   | 64 |
| 28 | La Salinilla        | foto del perfil del pozo   | 65 |
| 29 | La Salinilla        | perfil litológico en la playa  | 65 |
| 30 | La Salinilla        | foto lupa binocular cristal de glauberita                                | 66 |
| 31 | La Salinilla        | foto lupa binocular cristal de hidroglauberita                           | 66 |
| 32 | La Salinilla        | imagen ME cristal de glauberita  | 67 |
| 33 | La Salinilla        | imagen ME hidroglauberita  | 68 |
| 34 | La Salinilla        | fotos minerales a grano suelto   | 69 |
| 35 | La Salinilla        | fotos minerales a grano suelto   | 69 |
| 36 | La Salinilla        | fotos de rosetas de bloedita a la lupa binocular                         | 70 |
| 37 | La Salinilla        | imagen ME cristal de bloedita-astracanita                                | 71 |
| 38 | La Salinilla        | foto del perfil del pozo   | 72 |
| 39 | La Salinilla        | difractograma de rayos x - roca total                                    | 73 |
| 40 | La Salinilla        | difractograma de rayos x - fracción arcillas                             | 73 |
| 41 | La Salinilla        | perfil litológico en la salina   | 74 |
| 42 | La Salinilla        | foto minerales a grano suelto  | 75 |
| 43 | La Salinilla        | gráfico contenido porcentual de cationes en salmueras                    | 76 |
| 44 | La Salinilla        | gráfico contenido porcentual de aniones en salmueras                     | 77 |
| 45 | La Salinilla        | gráfico comparativo de valores químicos de muestras                      | 78 |
| 46 | La Salinilla        | gráfico composición porcentual de cationes en costras salinas temporaria | 79 |
| 47 | La Salinilla        | gráfico composición porcentual de cationes en costras salinas permanente | 80 |
| 48 | de La Perra         | foto vista del salitral  | 82 |
| 49 | de La Perra         | foto del perfil del pozo en la playa sur                                 | 83 |
| 50 | de La Perra         | foto minerales costra superficial a la lupa binocular                    | 84 |
| 51 | de La Perra         | foto del sedimento del pozo a la lupa binocular                          | 85 |
| 52 | de La Perra         | foto cristales de hidroglauberita a la lupa binocular                    | 85 |
| 53 | de La Perra         | imagen ME hidroglauberita  | 86 |
| 54 | de La Perra         | difractograma de rayos x - roca total                                    | 87 |
| 55 | de La Perra         | difractograma de rayos x - fracción arcillas                             | 87 |
| 56 | de La Perra         | gráfico composición química de la salmuera en mg/l                       | 89 |
| 57 | de La Perra         | gráfico contenido porcentual de cationes en salmueras                    | 89 |
| 58 | de La Perra         | gráfico contenido porcentual de aniones en salmueras                     | 90 |
| 59 | de La Perra         | gráfico composición porcentual de cationes en costra superficial         | 91 |
| 60 | salina Grande       | foto vista de la salina  | 94 |
| 61 | salina Grande       | foto vista playa sureste y mega polígonos                                | 96 |
| 62 | salina Grande       | foto del perfil del pozo en la playa sur                                 | 96 |
| 63 | salina Grande       | foto del sedimento del pozo en la playa                                  | 97 |
| 64 | salina Grande       | foto del sedimento del pozo en la playa                                  | 97 |
| 65 | salina Grande       | foto perfil de la costra en el interior de la salina                     | 98 |

|     |                  |   |     |
|-----|------------------|---|-----|
| 66  | salina Grande    | difractograma de rayos x - roca total   | 99  |
| 67  | salina Grande    | difractograma de rayos x - fracción arcillas                                  | 99  |
| 68  | salina Grande    | perfil litológico generalizado  | 100 |
| 69  | salina Grande    | foto halita con textura tabular hopper  | 101 |
| 70  | salina Grande    | foto halita con textura pirámide hopper                                       | 101 |
| 71  | salina Grande    | foto minerales estrato A a la lupa binocular                                  | 102 |
| 72  | salina Grande    | foto de fragmento de costra salina sub-ácuea compactada-soldada               | 102 |
| 73  | salina Grande    | foto de fragmento de costra salina sub-ácuea compactada-soldada (más detalle) | 103 |
| 74  | salina Grande    | foto de glauberita en costra compactada-soldada                               | 103 |
| 75  | salina Grande    | foto de gasterópodos en estrato C   | 104 |
| 76  | salina Grande    | foto minerales en estrato C a la lupa binocular                               | 104 |
| 77  | salina Grande    | imagen ME sulfato de Ca Mg y Na (Si, Al, K)                                   | 105 |
| 78  | salina Grande    | imagen ME sulfato de Na y Mg astracanita                                      | 106 |
| 79  | salina Grande    | imagen ME sulfato complejo de Ca, Mg (Si, Al)                                 | 107 |
| 80  | salina Grande    | imagen ME sulfato de Ca, Na, Al, Mg   | 108 |
| 81  | salina Grande    | imagen ME sulfato Ca y Na   | 109 |
| 82  | salina Grande    | gráfico contenido porcentual de cationes en salmueras                         | 111 |
| 83  | salina Grande    | gráfico contenido porcentual de aniones en salmueras                          | 112 |
| 84  | salina Grande    | gráfico comparativo entre composición química de muestras                     | 112 |
| 85  | salina Grande    | gráfico composición porcentual de cationes en costra superficial              | 113 |
| 86  | salina Grande    | gráfico composición porcentual de cationes de sales en fangos salinos         | 114 |
| 87  | salina Huentenao | foto vista de la salina   | 116 |
| 88  | salina Huentenao | foto vista mega polígonos en la playa   | 117 |
| 89  | salina Huentenao | foto aspecto de la costra superficial   | 118 |
| 90  | salina Huentenao | foto perfil del pozo  | 118 |
| 91  | salina Huentenao | difractograma de rayos x - roca total   | 119 |
| 92  | salina Huentenao | difractograma de rayos x - fracción arcillas                                  | 119 |
| 93  | salina Huentenao | perfil litológico generalizado  | 120 |
| 94  | salina Huentenao | imagen ME sulfato de Ca, Mg, Na, Si y Al                                      | 122 |
| 95  | salina Huentenao | gráfico contenido porcentual de cationes en salmueras                         | 123 |
| 96  | salina Huentenao | gráfico contenido porcentual de aniones en salmueras                          | 124 |
| 97  | salina Huentenao | gráfico comparativo composición química entre muestras                        | 125 |
| 98  | salina Huentenao | gráfico composición porcentual de cationes en costra salina temporaria        | 126 |
| 99  | salina Huentenao | gráfico composición porcentual de cationes en costra salina permanente        | 126 |
| 100 | Sector 2         | gráfico comparativo acumulado de aniones y cationes de salinas                | 128 |
| 101 | Sector 2         | gráfico comparativo de Mg y K de salinas                                      | 129 |
| 102 | Sector 2         | gráfico comparativo de costras superficiales de salinas                       | 130 |
| 103 | salina La Amarga | foto vista de la Salina   | 136 |
| 104 | salina La Amarga | foto vista general de la playa externa - bioturbación hormigueros             | 138 |
| 105 | salina La Amarga | foto cristales de yeso de la bioturbación                                     | 138 |
| 106 | salina La Amarga | foto costra superficial en playa externa, estructura tepee                    | 139 |
| 107 | salina La Amarga | foto pozo en la playa externa   | 140 |
| 108 | salina La Amarga | foto materiales de pozo en la playa - observación a ojo desnudo               | 140 |

|     |                   |   |     |
|-----|-------------------|---|-----|
| 109 | salina La Amarga  | foto materiales de pozo en la playa - observación a la lupa binocular         | 141 |
| 110 | salina La Amarga  | foto sulfatos a la lupa binocular   | 141 |
| 111 | salina La Amarga  | imagen ME sulfato Ca con Mg, Na, Al, Si                                       | 142 |
| 112 | salina La Amarga  | imagen ME sulfato de Ca con Na, Mg, Al, Si                                    | 143 |
| 113 | salina La Amarga  | foto de costra superficial y ojos de agua                                     | 144 |
| 114 | salina La Amarga  | foto de ojos de agua en la costra superficial                                 | 144 |
| 115 | salina La Amarga  | foto perfil del pozo  | 145 |
| 116 | salina La Amarga  | difractograma de rayos x - roca total   | 146 |
| 117 | salina La Amarga  | difractograma de rayos x - fracción arcillas                                  | 146 |
| 118 | salina La Amarga  | perfil litológico   | 147 |
| 119 | salina La Amarga  | foto perfil 2 del pozo  | 148 |
| 120 | salina La Amarga  | foto de cristal de halita en pirámide hopper a la lupa binocular              | 148 |
| 121 | salina La Amarga  | imagen ME sulfato de Mg y Mg al ME costra superficial                         | 149 |
| 122 | salina La Amarga  | foto de cristal de halita trihedral chevron a la lupa binocular               | 150 |
| 123 | salina La Amarga  | fotos de minerales en estrato con arcillas a la lupa binocular                | 150 |
| 124 | salina La Amarga  | imagen ME sulfato de Ca y Na con Mg   | 151 |
| 125 | salina La Amarga  | gráfico contenido porcentual de cationes en salmueras                         | 153 |
| 126 | salina La Amarga  | gráfico contenido porcentual de aniones en salmueras                          | 154 |
| 127 | salina La Amarga  | gráfico comparativo composición química entre muestras                        | 155 |
| 128 | salina La Amarga  | gráfico composición porcentual de cationes en costra superficial              | 156 |
| 129 | salina La Amarga  | gráfico composición porcentual de cationes en costra permanente               | 156 |
| 130 | salina San Máximo | foto vista de la salina   | 159 |
| 131 | salina San Máximo | foto costra superficial con agregados circulares                              | 161 |
| 132 | salina San Máximo | foto de fragmento de costra laminar superficial                               | 161 |
| 133 | salina San Máximo | foto de cristal de halita con textura tabular hopper                          | 162 |
| 134 | salina San Máximo | foto de cristal de halita en pirámide hopper                                  | 162 |
| 135 | salina San Máximo | foto de fragmento de costra superficial rosa crestas con agregados circulares | 163 |
| 136 | salina San Máximo | foto de pozo muestreado   | 164 |
| 137 | salina San Máximo | foto de estratos del pozo   | 164 |
| 138 | salina San Máximo | difractograma de rayos x - roca total   | 165 |
| 139 | salina San Máximo | difractograma de rayos x - fracción arcillas                                  | 165 |
| 140 | salina San Máximo | perfil litológico generalizado  | 166 |
| 141 | salina San Máximo | foto de fragmento de costra soldada   | 167 |
| 142 | salina San Máximo | foto de fragmento de costra soldada a la lupa binocular                       | 167 |
| 143 | salina San Máximo | foto de minerales del fango salino, yeso prismático a la lupa binocular       | 168 |
| 144 | salina San Máximo | imagen ME yeso prismático   | 168 |
| 145 | salina San Máximo | foto sulfato de Ca con N y Al   | 169 |
| 146 | salina San Máximo | imagen ME sulfato de Ca con N y Al  | 169 |
| 147 | salina San Máximo | imagen ME sulfato de Ca Si Mg y Al  | 170 |
| 148 | salina San Máximo | gráfico contenido porcentual de cationes en salmueras                         | 172 |
| 149 | salina San Máximo | gráfico contenido porcentual de aniones en salmueras                          | 173 |
| 150 | salina San Máximo | gráfico comparativo composición química entre muestras                        | 173 |
| 151 | salina San Máximo | gráfico porcentaje de cationes en costra salina superficial                   | 174 |
| 152 | salina San Máximo | gráfico porcentaje de cationes en costra salina soldada                       | 175 |

|     |                   |  |     |
|-----|-------------------|--|-----|
| 153 | salina San Máximo | grafico porcentaje de cationes de sales en fangos salinos                | 175 |
| 154 | salina Gestau     | foto vista general de la salina  | 178 |
| 155 | salina Gestau     | foto de la costra salina   | 179 |
| 156 | salina Gestau     | foto sectores con agua   | 180 |
| 157 | salina Gestau     | foto de la costra en formación   | 180 |
| 158 | salina Gestau     | foto del pozo muestreado   | 181 |
| 159 | salina Gestau     | difractograma de rayos x - roca total                                    | 182 |
| 160 | salina Gestau     | difractograma de rayos x - fracción arcillas                             | 182 |
| 161 | salina Gestau     | perfil litológico  | 183 |
| 162 | salina Gestau     | foto minerales de grano suelto al microscopio                            | 184 |
| 163 | salina Gestau     | foto minerales de grano suelto al microscopio                            | 184 |
| 164 | salina Gestau     | foto minerales a la lupa binocular                                       | 185 |
| 165 | salina Gestau     | imagen ME sulfato de Ca con Si, Al, Mg                                   | 185 |
| 166 | salina Gestau     | gráfico contenido porcentual de cationes en salmueras                    | 187 |
| 167 | salina Gestau     | gráfico contenido porcentual de aniones en salmueras                     | 188 |
| 168 | salina Gestau     | gráfico comparativo de la composición química de las muestra de salmuera | 188 |
| 169 | salina Gestau     | gráfico porcentaje de cationes en costra salina superficial              | 189 |
| 170 | salina Gestau     | gráfico porcentaje de cationes en costra salina permanente               | 190 |
| 171 | Sector 3          | gráfico comparativo acumulado de aniones y cationes de salinas           | 191 |
| 172 | Sector 3          | gráfico comparativo de Mg de salinas                                     | 192 |
| 173 | Sector 3          | gráfico comparativo de costras superficiales de salinas                  | 193 |
| 174 | salina Pichi Sur  | foto vista general de la salina  | 199 |
| 175 | salina Pichi Sur  | foto de pozo muestreado en sector sin costra                             | 200 |
| 176 | salina Pichi Sur  | difractograma de rayos x - roca total + arcillas                         | 201 |
| 177 | salina Pichi Sur  | difractograma de rayos x - roca total + arcillas                         | 202 |
| 178 | salina Pichi Sur  | difractograma de rayos x - roca total + arcillas                         | 203 |
| 179 | salina Pichi Sur  | perfil litológico en sector sin costra                                   | 204 |
| 180 | salina Pichi Sur  | foto de la costra superficial  | 205 |
| 181 | salina Pichi Sur  | foto de costra superficial media a inferior y cristal chevron            | 205 |
| 182 | salina Pichi Sur  | foto perfil del pozo   | 206 |
| 183 | salina Pichi Sur  | foto yeso discoidal a la lupa binocular                                  | 206 |
| 184 | salina Pichi Sur  | perfil litológico en la salina   | 207 |
| 185 | salina Pichi Sur  | imagen ME de yeso discoidal  | 207 |
| 186 | salina Pichi Sur  | imagen ME de yeso discoidal  | 208 |
| 187 | salitral A        | foto vista general del salitral  | 210 |
| 188 | salitral A        | foto de la costra superficial  | 210 |
| 189 | salitral A        | foto del perfil del pozo y sedimentos                                    | 211 |
| 190 | salitral A        | foto de los sedimentos a ojo desnudo y la lupa binocular                 | 212 |
| 191 | salitral B        | foto vista del salitral  | 212 |
| 192 | salitral B        | foto de la cubierta salina   | 213 |
| 193 | salitral B        | foto del pozo muestreado   | 213 |
| 194 | salitral B        | foto de afloramientos de cuarzo  | 214 |
| 195 | salina Pichi Sur  | gráfico contenido porcentual de cationes en salmueras                    | 216 |
| 196 | salitrales        | gráfico contenido porcentual de cationes en salmueras                    | 216 |

|       |                               |  |     |
|-------|-------------------------------|--|-----|
| 197   | salina Pichi Sur              | gráfico contenido porcentual de aniones en salmueras                       | 217 |
| 198   | salitrales                    | gráfico contenido porcentual de aniones en salmueras                       | 218 |
| 199   | salina Pichi Sur y salitrales | gráfico comparativo de muestras de salitrales y Pichi sur                  | 218 |
| 200   | salina Pichi Sur              | gráfico contenido de cationes en costras temporarias                       | 220 |
| 201   | salitral A                    | gráfico contenido de cationes en costras temporarias                       | 220 |
| 202   | salitral B                    | gráfico contenido de cationes en costras temporarias                       | 220 |
| 203   | salina Pichi Norte            | foto vista de la salina  | 223 |
| 204   | salina Pichi Norte            | foto del pozo  | 224 |
| 205   | salina Pichi Norte            | perfil litológico en la salina   | 225 |
| 206   | salina Pichi Norte            | gráfico contenido porcentual de cationes en salmueras                      | 226 |
| 207   | salina Pichi Norte            | gráfico contenido porcentual de aniones en salmueras                       | 227 |
| 208   | salina Pichi Norte            | gráfico porcentaje de cationes en costra salina superficial                | 228 |
| 209   | Sector 4                      | gráfico comparativo de la composición química de las muestras de salmuera  | 229 |
| 210   | Sector 4                      | gráfico comparativo de la composición química de las costras superficiales | 231 |
| 211   | salina Salitral Negro         | foto vista de la salina  | 236 |
| 212   | salina Salitral Negro         | foto del pozo muestreado   | 238 |
| 213   | salina Salitral Negro         | foto del material del pozo   | 238 |
| 214   | salina Salitral Negro         | perfil litológico en la salina   | 239 |
| 215   | salina Salitral Negro         | difractograma de rayos x - roca total                                      | 240 |
| 216   | salina Salitral Negro         | difractograma de rayos x - fracción arcillas                               | 240 |
| 217   | salina Salitral Negro         | foto de halita en arcilla a la lupa binocular                              | 241 |
| 218   | salina Salitral Negro         | foto de yeso con diferentes hábitos  | 241 |
| 219   | salina Salitral Negro         | foto yeso prismático   | 242 |
| 220   | salina Salitral Negro         | imagen ME sulfato de Ca con Na y Mg Si Al                                  | 243 |
| 220-1 | salina Salitral Negro         | imagen ME sulfato de Ca con Na y Mg Si Al                                  | 244 |
| 221   | salina Salitral Negro         | imagen ME sulfato de Ca con Al Na y Mg                                     | 245 |
| 222   | salina Salitral Negro         | imagen ME glauberita   | 246 |
| 223   | salina Salitral Negro         | gráfico contenido porcentual de cationes en salmueras                      | 248 |
| 224   | salina Salitral Negro         | gráfico contenido porcentual de aniones en salmueras                       | 249 |
| 225   | salina Salitral Negro         | gráfico comparativo de la composición química de las muestra de salmuera   | 249 |
| 226   | salina Salitral Negro         | gráfico porcentaje de cationes en costra salina superficial                | 250 |
| 227   | salina Salitral Negro         | gráfico porcentaje de cationes en costra salina permanente                 | 251 |
| 228   | salina El Chancho             | foto vista general del salitral  | 253 |
| 229   | salina El Chancho             | foto aspecto de la costra superficial                                      | 254 |
| 230   | salina El Chancho             | perfil pozo muestreo   | 255 |
| 231   | salina El Chancho             | difractograma de rayos x roca total  | 256 |
| 232   | salina El Chancho             | difractograma de rayos x fracción arcilla                                  | 257 |
| 233   | salina El Chancho             | perfil litológico generalizado   | 258 |
| 234   | salina El Chancho             | foto cristal astracanita-bloedita a la lupa binocular                      | 259 |
| 235   | salina El Chancho             | foto cristal de glauberita a la lupa binocular                             | 259 |
| 236   | salina El Chancho             | imagen ME astracanita-bloedita   | 260 |
| 237   | salina El Chancho             | imagen ME glauberita   | 261 |
| 238   | salina El Chancho             | imagen ME sulfato de Ca y Na con Mg  | 262 |
| 239   | salina El Chancho             | imagen ME sulfato de Na y Mg   | 263 |

|     |                   |   |     |
|-----|-------------------|---|-----|
| 240 | salina El Chancho | gráfico contenido porcentual de cationes en salmueras                       | 265 |
| 241 | salina El Chancho | gráfico contenido porcentual de aniones en salmueras                        | 266 |
| 242 | salina El Chancho | gráfico comparativo entre muestras de salmueras                             | 266 |
| 243 | salina El Chancho | gráfico composición porcentual de cationes en costra superficial            | 267 |
| 244 | salina El Chancho | gráfico composición porcentual de cationes en costras permanentes           | 268 |
| 245 | salina Anzoátegui | foto vista general del salitral   | 270 |
| 246 | salina Anzoátegui | foto aspecto de la costra superficial                                       | 271 |
| 247 | salina Anzoátegui | foto vista del pozo cavado  | 272 |
| 248 | salina Anzoátegui | foto del material del pozo  | 273 |
| 249 | salina Anzoátegui | difractograma de rayos x - roca total                                       | 274 |
| 250 | salina Anzoátegui | difractograma de rayos x - fracción arcillas                                | 274 |
| 251 | salina Anzoátegui | perfil litológico generalizado  | 275 |
| 252 | salina Anzoátegui | foto de los minerales del fango salino a lupa binocular                     | 276 |
| 253 | salina Anzoátegui | foto de minerales del fango salino, a la lupa binocular                     | 276 |
| 254 | salina Anzoátegui | imagen ME yeso  | 277 |
| 255 | salina Anzoátegui | imagen ME yeso  | 278 |
| 256 | salina Anzoátegui | imagen ME minerales del fango salino  | 279 |
| 257 | salina Anzoátegui | gráfico contenido porcentual de cationes en salmueras                       | 281 |
| 258 | salina Anzoátegui | gráfico contenido porcentual de aniones en salmueras                        | 282 |
| 259 | salina Anzoátegui | gráfico composición porcentual de cationes en costras superficial           | 283 |
| 260 | salina Anzoátegui | gráfico composición porcentual de cationes en costra permanente (fangos)    | 283 |
| 261 | salina Anzoátegui | gráfico comparativo entre muestras de salmueras                             | 284 |
| 262 | Sector 5          | gráfico comparativo de cationes y aniones en salmuera, acumulado            | 285 |
| 263 | Sector 5          | gráfico comparativo de cationes entre costras salinas temporarias           | 287 |
| 264 | Conclusión        | gráfico comparativo de valores promedio de K en salmueras                   | 290 |
| 265 | Conclusión        | gráfico comparativo de valores promedio de Mg en salmueras                  | 290 |
| 266 | Conclusión        | gráfico comparativo de valores promedio de Na <sup>+</sup> en salmueras     | 291 |
| 267 | Conclusión        | gráfico comparativo de valores promedio de Cl <sup>-</sup> en salmueras     | 291 |
| 268 | Conclusión        | gráfico comparativo de valores promedio de iones en salmueras               | 292 |
| 269 | Conclusión        | gráfico comparativo de valores promedio de Ca <sup>2+</sup> en salmueras    | 293 |
| 270 | Conclusión        | gráfico comparativo de valores de SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> en salmueras | 293 |
| 271 | Conclusión        | gráfico comparativo de valores promedio acumulado cationes menores          | 294 |