

EVAPOFACIES HALÍTICA EN EL SALAR DEL RINCÓN, DEPARTAMENTO LOS ANDES, SALTA

Alberto OVEJERO TOLEDO¹, Ricardo N. ALONSO^{2,3}, Teresita del V. RUIZ² y Alicia G. QUIROGA²

¹ Rincon Lithium. E-mail: aovejero221@hotmail.com

² Universidad Nacional de Salta, CIUNSA, Campo Castañares, Salta. E-mails: rnalonso@gmail.com, ruiz@unsa.edu.ar, gquiroga@unsa.edu.ar

³ CONICET

RESUMEN

El salar del Rincón se encuentra ubicado en el departamento Los Andes, provincia de Salta en el extremo noroeste de la Puna Austral, a una altura media de 3.660 m s.n.m. En este trabajo se dan a conocer los resultados de la correlación de sondeos, que permitieron determinar facies de halita, texturas, estructuras, materiales clásticos intersticiales, mineralogía, composición química de la salmuera y los parámetros hidráulicos del acuífero, determinados a lo largo de una transecta este-oeste que cubre aproximadamente 30 km². La fase cristalina está compuesta mayoritariamente de halita, con yeso, mirabilita, thenardita, glauberita, hidroglauberita, eugsterita, calcita y ulexita solo en el sector oeste de la transecta. Se identificaron las siguientes evapofacies halítica: costra salina, geodas y halita bandeada. Las texturas observadas incluyen: cristales *hoppers*, pirámides *chevron*, halita intersticial *muddy halite* y halita *cloudy*. La composición de la salmuera es de naturaleza clorurada sódica con variaciones en profundidad de sulfato y borato. Los cationes son Ca, Mg, Li y K, la relación K/Li es de 20/1. El cálculo de reserva a nivel de recurso mineral, en sectores con distinta porosidad eficaz, dio para Li⁺ 208,2 kt y para K⁺ 4231,9 kt (> 30 %); y Li⁺ 14,9 kt y K⁺ 302,9 kt (< 10 %). Los contenidos de Li⁺ y K⁺ en toda la transecta son 223,1 kt y 4534,8 kt respectivamente. El estudio permitió determinar una concentración promedio de 0,4 g/l de litio y 8 g/l de potasio.

Palabras clave: *Salar del Rincón, Litio, Potasio, Borato, Puna.*

ABSTRACT: *Halite facies in the salar del Rincon, Andes Department, Salta.* Salar del Rincón is located at 3,660 m.a.s.l. in the Andes district, Salta province, and northeast of the Southern Puna. This paper shows the results of the borehole correlation that helped determine the halite facies, textures, structures, interstitial clastic material, mineralogy, chemical composition of the brine and the aquifer hydraulic parameters determined in an E-W transect that covers approximately 30 km². The crystalline phase is mainly made up of halite with gypsum, mirabilite, thenardite, glauberite, hydroglauberite, eugsterite, calcite, and ulexite only in the western area of transect. The following halite evapofacies were identified: saline crust, geodes and banded halite. The observed textures include: crystal *hoppers*, *chevron* folds, *muddy halite* and *cloudy* halite. The brine composition is sodium chloride with variations in sulphate and borate at depth. The cations are Ca, Mg, Li and K. The K/Li relationship is 20/1. The reserve estimated at a mineral resource level in areas with different effective porosity was 208,2 kt for Li⁺ and 4231.9 kt (> 30 %) for K⁺; 14.9 kt for Li⁺ and 302.9 kt (< 10 %) for K⁺. The Li⁺ and K⁺ contents in the entire transect are 223.1 kt and 4534.8 kt, respectively. Research carried on contributed to determine an average concentration of 0.4 g/l of lithium and 8 g/l of potassium.

Keywords: *Salar del Rincón, Lithium, Potassium, Borate, Puna.*

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene la finalidad de determinar la evapofacies halítica del cuerpo evaporítico del salar del Rincón, a partir de la correlación e interpretación de siete sondeos exploratorios realizados en el sector central, sobre una transecta este-oeste. Al mismo tiempo se estudian los parámetros hidráulicos en el acuífero del salar, para determinar su capacidad de reserva y el volumen explotable de sal-

muera con una concentración importante de litio y potasio. Asimismo este estudio es un aporte al conocimiento geológico, económico y minero de uno de los recursos minerales más abundante en el marco de la Puna argentina.

La región de los Andes Centrales fue afectada por los movimientos diástróficos de la orogenia andina, los cuales generaron bloques montañosos de orientación meridiana a submeridiana que encierran amplias cubetas. Las depresiones in-

termontanas están limitadas en sus extremos por conos aluviales, dunas y estratovolcanes de composición mesosilícica cuyas alturas alcanzan y hasta superan los 6.000 metros. El endorreísmo logrado a causa de la conjunción volcánico-tectónica origina lagunas o salares. Las aguas circulantes llegan a las cuencas por drenaje centrípeto y los elementos que llevan en solución se concentran y precipitan debido a una rápida evaporación. Los salares ocupan un área aproximadamente de

5.000 km², que representa el 5% de la superficie de la Puna. Estos cuerpos evaporíticos son el resultado de una larga evolución paleoambiental, que se inicia con la formación de lagos de agua dulce durante el Pleistoceno, los cuales se salinizan tempranamente hasta su desecación en el Holoceno (Igarzábal 1984, 1991). La desertización climática originada a principios del Holoceno acentuó una retracción lacustre generalizada, amplias concentraciones salinas y una posterior precipitación evaporítica. Un mecanismo importante y decisivo fue el aporte de soluciones calientes mineralizadas a los ambientes salinos continentales, con las fuentes termales ubicadas a lo largo de planos de falla profundos que limitan los salares o alrededor de los edificios volcánicos mediante la emisión de sales en las fases exhalativas terminales de los episodios volcánicos. Estas fuentes termales derramaron soluciones con Na, Ca, Mg, Mn, Li, K, como cationes principales y cloruros, carbonatos, sulfatos y boratos como aniones que alimentaron los lagos altoandinos. El desarrollo de los lagos cuaternarios también estuvo relacionado con la impermeabilización del fondo de las cubetas lo cual favoreció su expansión y la retracción de los elementos químicos en solución. Es decir que la formación de las evaporitas ha significado en el caso de los Andes Centrales la concurrencia de varios factores: la tectónica, el volcanismo, el termalismo, el endorreísmo y el clima. El volcanismo llevó a una transferencia masiva de iones a las cuencas, cuyo resultado se manifiesta en importantes volúmenes de sales diversas, con predominio de cloruro de sodio (Alonso 1991). El salar del Rincón se encuentra emplazado en la provincia geológica Puna (Turner 1972), en el borde noroccidental de la Puna Austral (Alonso y Viramonte 1985) y cubre una superficie de 260 kilómetros cuadrados. Las coordenadas geográficas para el punto central son 24°10'16" latitud sur y 67°05'46" longitud oeste (coordenadas Gauss-Krüger: 7.327.288,60 - 3.388.612,17), con una altura media de 3.660 metros sobre el nivel del mar (Fig. 1).

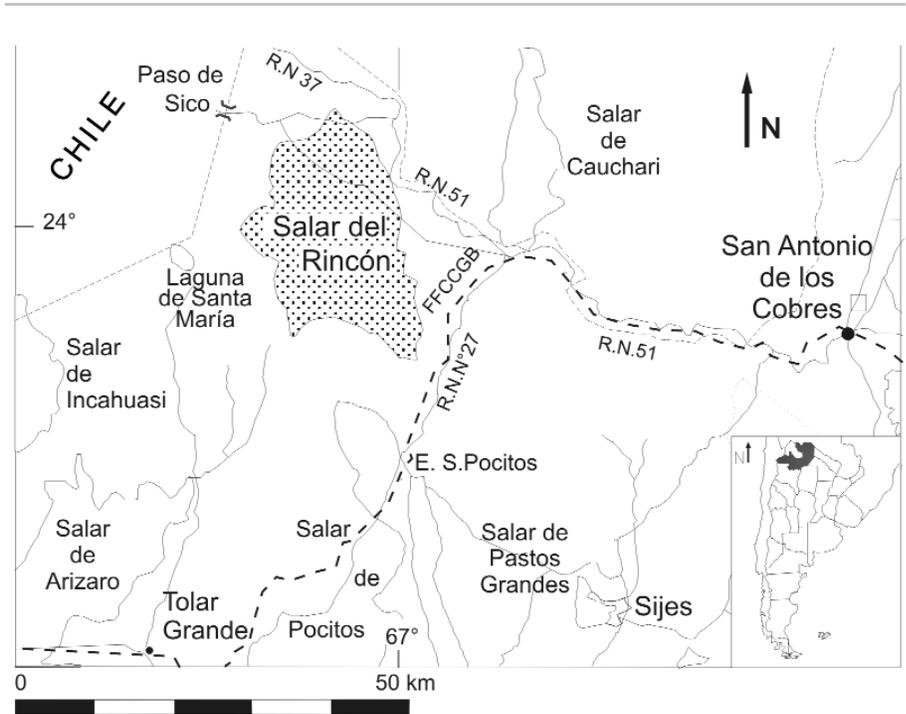


Figura 1: Mapa de ubicación del salar del Rincón

El salar está limitado al este por la sierra de Guayaos, integrada por sedimentitas ordovícicas asignadas a la Formación Coquena (Schwab 1971) y reducidos afloramientos terciarios correspondientes a la Formación Pozuelos perteneciente al Grupo Pastos Grandes (Turner 1960); al oeste por las volcanitas miocenas del cerro Rincón representadas por la Formación Pucará (Turner 1964) y la Formación Tajamar (Blasco *et al.* 1996), con afloramientos también al sur del salar. En el sector austral cierran la cuenca los volcanes Tul - Tul, del Medio y Pocitos (Matteini 1999, 2001, Matteini *et al.* 2002) y hacia el norte el piedemonte de los ríos Huaitiquina, Pompón y Catua. Los depósitos del Cuaternario están compuestos por acumulaciones detríticas y sedimentos químicos, que normalmente ocurren en las depresiones tectónicas de la Puna. Los materiales detríticos están representados por sedimentos poco consolidados, compuestos por facies fanglomerádicas y cenoglomerádicas, responsables del desarrollo de los conos y piedemontes desarrollados hacia el norte, este y oeste del salar. Los sedimentos químicos en el salar, están integrados por minerales eva-

poríticos, principalmente halita acompañada de yeso, glauberita, mirabilita, thenardita, hidroglauberita, eugsterita, bórax y ulexita, coincidentes con los identificados en estudios anteriores (Igarzábal *et al.* 1987, Ruiz y Quiroga 1992, Ruiz *et al.* 1993). También se reconocieron carbonatos de origen hidrotermal asociados a planos de falla que se encuentran sobre los márgenes del cuerpo evaporítico y sedimentos carbonáticos originados por desgasificación en el norte, este y oeste del salar (Igarzábal 1989). La composición evaporítica revela que las soluciones emanadas de las fuentes volcanogénicas, como así también de la denudación de las rocas volcánicas y los fluidos provenientes de los sistemas hidrotermales, han sido las fuentes para los solutos de la Puna (Alonso *et al.* 1991). En el flanco oriental de la depresión, en el escarpamiento tectónico de la sierra de Guayaos, yacen cuerpos travertínicos de volumen variable, parcialmente soterrados por los depósitos pedemontanos. Los afloramientos de travertino son importantes para la cuenca del salar, a pesar de no tener gran volumen, porque están estrechamente vinculados al origen de la masa

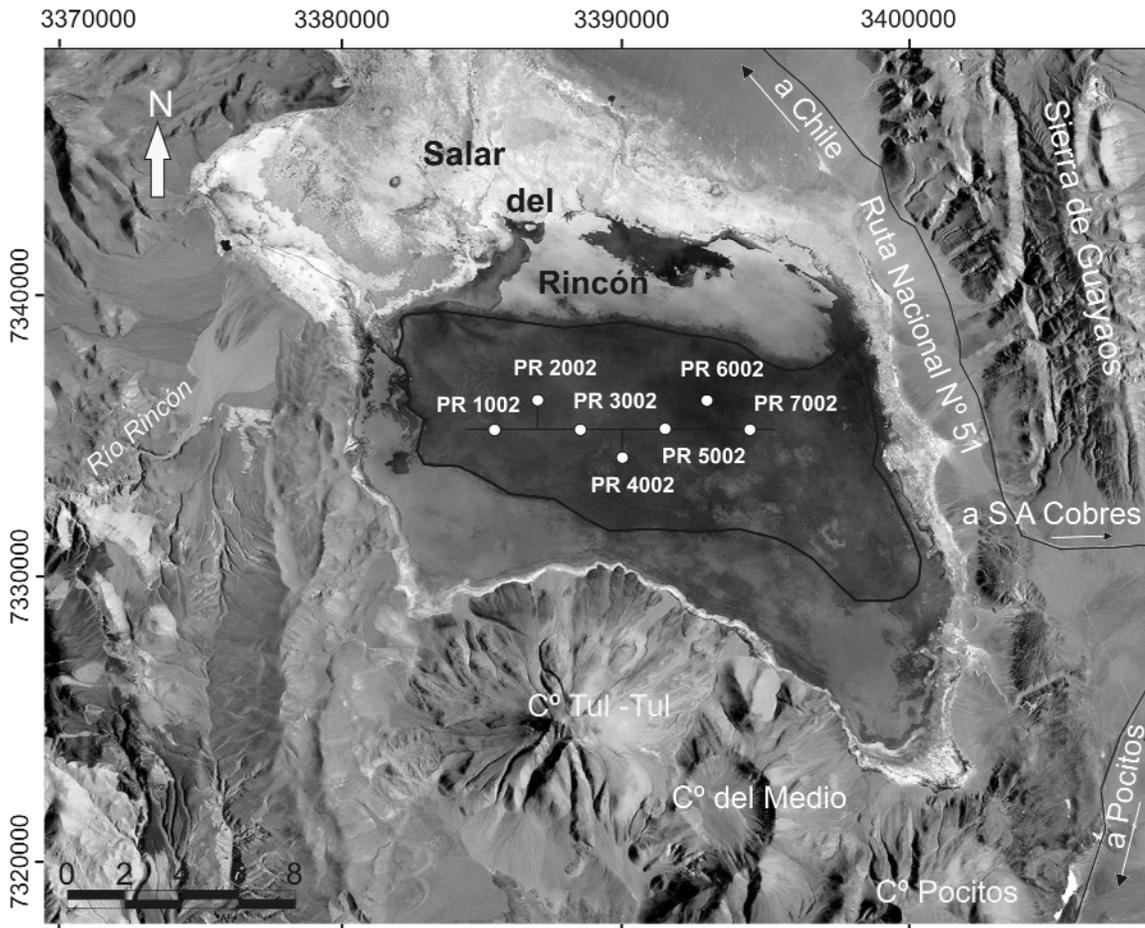


Figura 2: Ubicación de los sondeos en el salar del Rincón.

evaporítica y son la fuente de potasio, litio y boro de acuerdo con los análisis químicos realizados en las aguas residuales de esas paleofuentes termales donde se obtuvieron valores de hasta 1.500 ppm de litio.

METODOLOGÍA

Para determinar la evapofacies halítica del cuerpo evaporítico del salar del Rincón se efectuaron siete sondeos exploratorios en una transecta de dirección este-oeste ubicada en el sector central del salar (Fig. 2), en un área aproximada de 30 km². Las perforaciones alcanzaron entre 40 y 55 m de profundidad, fueron efectuadas mediante el método de testigo corona con un diámetro BQ de 40 mm y una recuperación total de 330 metros (Ovejero Toledo 2007). Se obtuvo un cilindro de testigo mediante el corte anular producido por la rotación y avance de

una corona de perforación de 40 mm de diámetro, el cual se almacenó temporalmente en un tubo portatestigo situado detrás de la corona. La inyección de perforación empleada fue la salmuera del salar, y eventualmente el aire para extraer el relleno del pozo exploratorio. El sistema *wire-line* (recuperación por cable), ha permitido la extracción de los testigos sin necesidad de extraer todo el varillaje, disminuyendo así considerablemente el tiempo de maniobra. La perforación con coronas fue el método adecuado en esta etapa de exploración, para lograr una completa información estructural y textural de la mineralización. Con la información obtenida (mineralogía, texturas, estructuras, etc.) se elaboró la correlación de los sondeos (Fig. 3).

Asimismo se realizaron siete pozos de evaluación con un diámetro de 254 mm, ubicados en proximidades de los sondeos de exploración, con la ayuda de una má-

quina portadrill de capacidad de 200 m, mediante sistema rotativo de perforación. En ellos se efectuaron una serie de ensayos de bombeo a caudal constante, con el objeto de determinar los parámetros hidráulicos en el acuífero del salar y tomar muestras de salmuera en profundidad para caracterizar su composición química. El ensayo permitió obtener datos de transmisividad, permeabilidad y coeficiente de almacenamiento (Cuadro 1). Para la realización de los ensayos de bombeo se utilizó una bomba de eje vertical de 8". El caudal de descarga fue medido mediante un caudalímetro digital de paleta, que proporciona información del caudal extraído y el volumen total bombeado. Con el fin de evitar el efecto de la recarga producida por el agua bombeada, fue necesario conducir la descarga a través de una cañería auxiliar de PVC a 1500 m del lugar de bombeo. En el ensayo de bombeo se empleó el método de New-

Este

Oeste

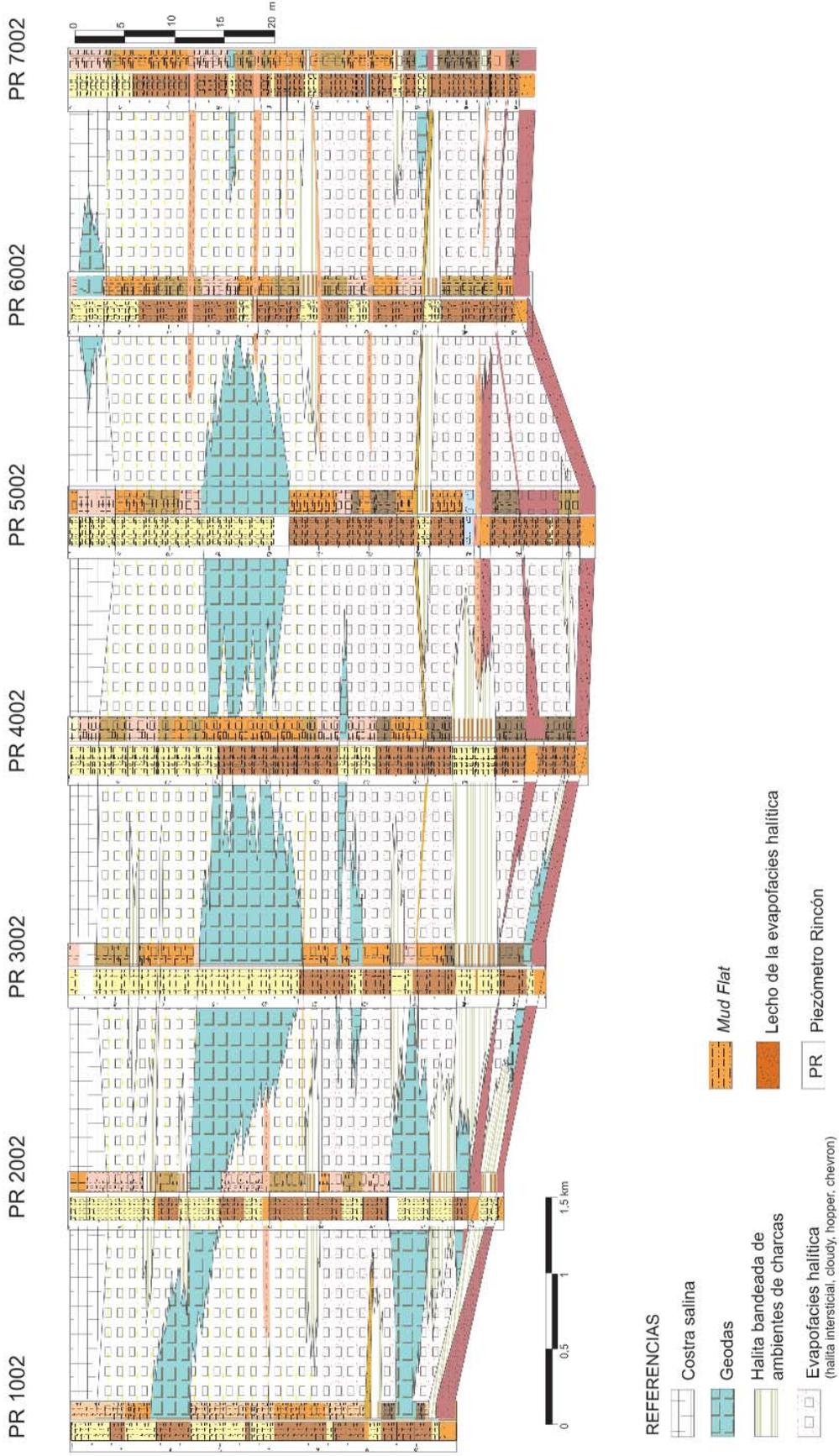


Figura 3: Perfil de correlación de sondajes en el salar del Rincón

man para acuíferos libres, debido a que el salar del Rincón se comporta como tal. En esta situación el coeficiente de almacenamiento representa la porosidad eficaz. Los resultados indicaron diferencias en la porosidad eficaz del cuerpo cristalino, resultando superiores al 30 % en el sector centro-oeste (WR 5000 a WR 1000) e inferiores al 10 % en el extremo este (WR 6000 y WR 7000) de la transecta. Esto se corresponde con los sondeos exploratorios que muestran un mayor grado de cavernosidad y estructuras de geodas en el tramo centro-oeste, mientras que en el extremo opuesto se presenta mayor cantidad de material arcilloso intercalado en el cuerpo evaporítico.

MINERALOGÍA DE LOS SONDEOS

En las perforaciones realizadas en el salar, se pudo identificar la presencia de distintas especies evaporíticas, a través de sus propiedades físicas, ópticas y organolépticas. Macroscópicamente se reconoció halita como mineral esencial, junto a yeso, ulexita, mirabilita y bórax. Bajo lupa binocular, se determinó thenardita y glauberita. Las especies minoritarias hidroglauberita - eugsterita se certificaron con un microscopio electrónico de barrido y difracción de rayos X.

CORRELACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS SONDEOS

A partir del análisis mineralógico y textural de los testigos obtenidos de las perforaciones se realizó un perfil de correlación, el cual permitió definir los subambientes evaporíticos y las evapofacies del cuerpo cristalino central (Fig. 3).

La descripción de los sondeos permitió determinar una fase cristalina que corresponde aproximadamente a un 80% del volumen total del depósito, y está integrada por halita mayoritaria acompañada por yeso, mirabilita, thenardita, ulexita, glauberita, hidroglauberita, eugsterita y calcita (Igarzábal *et al.* 1987, Ruiz y Qui-

CUADRO 1: Parámetros hidráulicos del acuífero salar del Rincón*.

Pozo de evaluación	Transmisividad (m ² /d)	Coficiente de almacenamiento	Porosidad eficaz (%)	Permeabilidad (m/d)
WR 1000	4,80 x 10 ⁴	3,13 x 10 ⁻¹	31,3	1,33 x 10 ³
WR 2000	2,27 x 10 ⁶	3,80 x 10 ⁻¹	38	5,39 x 10 ³
WR 3000	1,09 x 10 ⁶	3,80 x 10 ⁻¹	38	2,73 x 10 ³
WR 4000	1,12 x 10 ⁶	3,70 x 10 ⁻¹	37	2,53 x 10 ³
WR 5000	1,09 x 10 ⁶	3,96 x 10 ⁻¹	39,6	2,37 x 10 ³
WR 6000	9,24 x 10 ⁵	4,71 x 10 ⁻²	4,71	2,20 x 10 ²
WR 7000	2,76 x 10 ⁴	8,00 x 10 ⁻²	8,00	6,73 x 10 ²

* Según Ovejero Toledo 2007.

roga 1992, Ruiz *et al.* 1993). La masa cristalina se desarrolla desde la superficie hasta los 35 m de profundidad promedio en el margen occidental, mientras que en el margen opuesto llega hasta los 45 metros. En el sector central alcanza una profundidad de 50 metros. La base está definida por la presencia de un lecho arenoso de color negro. El cuerpo evaporítico a partir de los 0,30 m de profundidad está embebido ininterrumpidamente por salmuera hasta la base del depósito. Se ha estimado su volumen en 10 km³ aproximadamente con una porosidad media de 20 % (espacios intergranulares y cavidades de disolución). Los influjos laterales generan un elevado grado de cavernosidad sobre los márgenes del salar y se manifiestan en los 20 m superiores. Esta porosidad se reduce en profundidad, especialmente la de carácter secundaria y el empaquetamiento granular denso alterna con otros más abiertos.

En el cuerpo cristalino se han identificado tres evapofacies halítica: costra salina (actual o antigua), geodas y halita bandeada de ambiente de charcas.

La costra salina que cubre el 80 % de la superficie del salar, corresponde a una cristalización primaria desarrollada hasta los 2 a 4 m de profundidad. En superficie se manifiesta a través de un micro relieve rugoso y quebradizo, especialmente en la zona superior. La porosidad es moderada y el contenido de detritos no supera el 1 %. Esta costra se forma por ascensos capilares de soluciones a partir de un nivel freático superficial, que genera halita de elongación vertical, los ejemplares son anhedrales a subhedrales, con ta-

maños entre 4 y 20 mm, translúcidos y con moderada cantidad de inclusiones de salmuera y arcilla. Al oeste de la transecta se identificaron restos de costras antiguas a una profundidad de siete a ocho metros. La correlación de los sondeos permitió reconocer varios niveles de halita recristalizada denominados geodas. Estas zonas son transparentes representan una estructura secundaria, y proporcionan información de los mecanismos diagenéticos que afectaron a la evapofacies halítica. Estas cavidades alojan grandes cristales bien desarrollados de halita transparente e incolora, con abundantes inclusiones de salmuera. Estas estructuras tienen forma lenticular y se localizan entre los 9 y 23 m de profundidad. La correlación de los sondeos permitió ubicar las geodas en el borde occidental y central donde alcanzan espesores de 10 metros (Fig. 3).

La evapofacies halita bandeada es una estructura primaria ubicada en la parte inferior del perfil, característica de ambientes de charcas. Se localiza en toda la extensión de la transecta a distintas profundidades, entre los 30 y 45 m en el sector occidental, entre los 39 y 50 m en la zona central y a los 35 y 37 m en el extremo oriental. Esta evapofacies exhibe niveles compactos, sin porosidad, con finas estratificaciones paralelas de cristales de halita de textura granular sacaroides de hasta cuatro milímetros. El mineral es transparente, carece de impurezas, es incoloro a débilmente grisáceo, y alterna con halita translúcida y coloreada por inclusiones terrosas de tonos rojizo y negro atrapadas durante la cristalización. En la parte

inferior de los sondeos, se encuentra una intercalación continua arenosa fina parda rojiza, de espesores entre 40 cm a 1 m de espesor.

El lecho de la evapofacies del cuerpo evaporítico del salar del Rincón está constituido por arena mediana de color negro, por la presencia de material volcániclastico, con matriz halítica, yeso y componentes líticos de origen sedimentario. Es un banco arenoso presente en toda la base del perfil y de espesor no determinado.

Se han reconocido cuatro texturas de halita: cristales *hoppers*, pirámides *chevron*, halita intersticial *muddy halite* y halita *cloudy*.

Los cristales *hoppers* se forman en la interfase agua - aire bajo elevada saturación, esto genera el crecimiento rápido de vértices y aristas del cubo respecto a las caras, lo que origina el desarrollo de cristales con caras deprimidas y escalonadas.

Las pirámides *chevron* se originan en el fondo depositacional a partir del sobrecrecimiento de los ejemplares hundidos desde la interfase agua - aire o desde el seno de la salmuera. Esta textura consiste en el desarrollo subvertical de uno de los vértices de cada tolva o cubo, generando una estructura elongada de tres aristas, con la confluencia de tres caras deprimidas.

En el seno de un sedimento encajante se produce el crecimiento intersticial lento de especímenes de halita transparente, de forma cúbica, de tamaño centimétrico, que durante su desarrollo incorpora material detrítico (inclusiones arcillosas), es la llamada halita intersticial *muddy halite* y caracteriza al *mud flat* salino.

Los cristales de halita *cloudy* son traslúcidos y blanquecinos de aspecto lechoso y contienen abundantes inclusiones de salmuera, observándose que un cubo de halita puede tener el núcleo o los sectores periféricos traslúcidos, y las zonas externas transparentes debido al crecimiento sintaxial de los núcleos.

Esta última textura es la más desarrollada en el cuerpo cristalino alcanzando 40 a 50 m de espesor. En orden de abundancia le siguen halita *cloudy*, *hoppers* y ocasio-

nalmente halita *chevron*.

HIDROQUÍMICA DEL NÚCLEO EVAPORÍTICO

Los pozos piezométricos permitieron obtener muestras puntuales de salmuera en profundidad y estimar el radio de influencia del cono de depresión que existe al momento de poner en producción el pozo de evaluación. Existen dos sondeos piezométricos (PPR) ubicados a ambos lados de cada pozo de evaluación (WR), a una distancia aproximada de 10 m. La nomenclatura de los sondeos de exploración (PR) se corresponden con los pozos piezométricos (PPR).

Los cationes fueron analizados por espectrometría de absorción atómica; los aniones cloruro y borato por volumetría y sulfato por gravimetría (Ovejero Toledo 2007). Los resultados obtenidos señalan la naturaleza clorurada sódica de la salmuera, homogeneidad y ausencia de estratificación en profundidad. Sin embargo el sulfato aumenta en profundidad, en las adyacencias con el lecho de la evapofacies halítica, debido a la disolución de yeso detrítico en la base del depósito. Otra variación corresponde al incremento en el contenido de borato, especialmente en el sector occidental, en coincidencia con la presencia de ulexita identificada durante las perforaciones a 7-8 metros de profundidad. El cloruro tiende a decrecer hacia la base de la cubeta.

Entre los cationes se determinó que el calcio muestra una ligera disminución de concentración en profundidad y el contenido de sodio presenta un comportamiento inverso. Por otro lado los valores de magnesio, litio y potasio no muestran prácticamente variaciones, resultando la relación K/Li de 20/1 (Ovejero Toledo 2007).

Los sondeos exploratorios efectuados en el salar permitieron realizar el cálculo de reserva a nivel de recurso mineral, para sectores con distinta porosidad eficaz, es decir contando para ello con los datos de la ley media calculada, la porosidad eficaz

media de cada sector (> 30 % y < 10 %) y el volumen correspondiente a cada zona. El cálculo se realizó con un programa minero específico GEMCOM. El cálculo del recurso mineral fue medido en kt (kilo tonelada) y Mt (mega tonelada). Para la zona con porosidad eficaz media > 30% el tonelaje de Li⁺ es de 208,2 kt y el de K⁺ es de 4231,9 kt. En el sector con porosidad eficaz media < 10% el tonelaje de Li⁺ es de 14,9 kt y el de K⁺ es de 302,9 kt. Los contenidos de Li⁺ en toda la transecta son de 223,1 kt y de K⁺ 4534,8 kt (Ovejero Toledo 2007).

El estudio realizado permitió determinar un importante volumen explotable de salmuera, con una concentración promedio de 0,4 g/l de litio y 8 g/l de potasio (Cuadros 2 y 3).

CONCLUSIONES

El salar del Rincón es uno de los ambientes evaporíticos mejor estudiados de la Puna Argentina. A las investigaciones previas, se suma en este trabajo el análisis en tercera dimensión de la evapofacies halítica, la cual ocupa gran parte del actual depocentro de la depresión. Siete perforaciones profundas fueron realizadas en el centro del salar, las que alcanzaron la base de la formación halítica a los 40 a 55 m de profundidad.

La mineralogía identificada en el salar del Rincón a través de los sondeos está integrada principalmente por halita y en orden decreciente de abundancia yeso, mirabilita, thenardita, glauberita, hidroglauberita, eugsterita, calcita y ulexita exclusivamente en el sector oeste de la transecta. Esta fase cristalina ocupa el 80% del volumen total del depósito.

Los minerales presentes forman un conjunto de litofacies, que se adapta a un modelo de zonalidad concéntrica, aproximadamente simétrico siguiendo una configuración *bull's eye*, aunque sus límites no resultan netamente definidos. La más externa, de carácter limolítica, muestra ulexita que se dispone en forma discontinua según la influencia de los focos termales.

CUADRO 2: Ponderación de ley de litio*.

Pozo piezométrico	Profundidad de muestra (m)				
	10	20	30	40	50
Li ⁺ (mg/l)					
PPR 1001	456	397	409		
PPR 1002	401	400	392	334	
PPR 2001	385	369	345	337	
PPR 2002	393	395	379	338	
PPR 3001	388	361	369	380	
PPR 3002	417	418	415	383	376
PPR 4001	394	426	390	427	370
PPR 4002	427	438	389	401	
PPR 5001	383	405	393	390	384
PPR 5002	444	456	449	408	453
PPR 6001	410	414	446	435	
PPR 6002	436	423	390	372	
PPR 7001	370	364	369	349	
PPR 7002	434	407	388	372	
Media aritmética	397 mg/l				

* Según Ovejero Toledo 2007.

CUADRO 3: Ponderación de ley de potasio*.

Pozo piezométrico	Profundidad de muestra (m)				
	10	20	30	40	50
K ⁺ (mg/l)					
PPR 1001	8.141	7.836	8.072		
PPR 1002	7.898	7.990	7.659	7.156	
PPR 2001	7.346	7.510	7.038	6.584	
PPR 2002	7.965	7.918	7.696	6.632	
PPR 3001	8.756	8.018	8.137	8.692	
PPR 3002	8.638	8.393	8.394	7.585	7.200
PPR 4001	8.851	9.531	8.623	8.604	7.982
PPR 4002	8.449	8.520	8.022	7.859	
PPR 5001	8.177	8.331	8.018	7.850	7.813
PPR 5002	8.484	8.824	8.542	8.247	8.805
PPR 6001	8.419	8.508	8.854	8.762	
PPR 6002	8.911	8.505	7.791	7.497	
PPR 7001	7.907	7.368	7.411	7.889	
PPR 7002	8.505	7.978	7.660	7.355	
Media aritmética	8.070 mg/l				

* Según Ovejero Toledo 2007.

La abundancia de esa actividad sobre el borde oriental de la cuenca, se traduce en la concentración de bórax y ulexita. En la zona externa la facies limolítica contiene halita y yeso, las que se vuelven abundantes en el sector central; la facies sulfática, incluye yeso dominante con thenardita, mirabilita y glauberita subordinadas. En algunos sectores superficiales la transición de la facies limolítica a la sulfatada, está interrumpida por la presencia de la facies carbonática que se expresa como amplias plataformas de naturaleza traver-

tínica. La facies clorurada ocupa el núcleo evaporítico central del salar y está caracterizado por una masa cristalina compuesta esencialmente por halita. Verticalmente la distribución mineral para cada facies, concuerda con lo señalado precedentemente, como lo revelan los perfiles mineralógicos de cada sondeo.

La correlación de las perforaciones efectuadas permitió reconocer tres evapofacies halítica: costra salina, geodas y halita bandeada. La costra salina hasta los 2 a 4 m de profundidad, representa la cristali-

zación primaria del depósito evaporítico. Las geodas corresponden a niveles de recristalización, tienen forma lenticular y se manifiestan entre los 9 y 23 m de profundidad. La halita bandeada se desarrolla en la parte inferior de la transecta, en amplios niveles compactos, carentes de porosidad, con finas estratificaciones paralelas de textura granular sacaroide y alternancia de colores. Esta estructura es característica de ambientes de charcas. La halita muestra textura elongada, intersticial, *hopper*, *chevron* y *cloudy*.

El lecho de la evapofacies está formado por arena negra, de origen volcániclastico, con cristales de halita y yeso. Este banco es continuo en la base del perfil y de espesor desconocido.

La ausencia de intercalaciones detríticas de significación, señala que la sedimentación evaporítica del salar del Rincón corresponde a un ambiente depositacional de escasa energía (lacustre o lagunar) de aguas someras, con un ritmo de cristalización continuo a partir de una solución homogénea y persistente en el tiempo.

Se indicaron diferencias en la porosidad eficaz del cuerpo cristalino, resultando superiores al 30 % en el sector centro-oeste (WR 1000 a WR 5000) e inferiores al 10 % en el extremo este (WR 6000 y WR 7000) de la transecta. Esto se corresponde con un mayor grado de cavernosidad y estructuras de geodas en el tramo centro-oeste, mientras que en el extremo opuesto se presenta mayor cantidad de material arcilloso intercalado en el cuerpo evaporítico.

La composición de la salmuera del núcleo evaporítico, es de naturaleza clorurada sódica. Se identificaron variaciones en el contenido de sulfato, borato y cloruro. Los valores de litio, convierten al salar del Rincón en el segundo depósito de interés comercial de la Puna, luego del salar del Hombre Muerto y en el cuarto yacimiento de importancia después de los salares de Atacama en Chile y Uyuni en Bolivia. Son importantes además los valores de potasio, magnesio, rubidio y cesio. Por sus reservas de litio, el salar del Rincón es

considerado en la literatura específica como un *World Class Deposit*, esto es un depósito de clase mundial.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte de las investigaciones que los autores desarrollan sobre esta temática, en el marco del CONICET y del CIUNSA con el Proyecto N° 1677. Nuestro especial agradecimiento al Dr. Carlos M.R. Sorrentino de la empresa RINCON LITHIUM por el apoyo brindado a través del Proyecto de Exploración del salar del Rincón; a los geólogos Pablo Dib Ashur y César Abraham de la consultora MERCOAGUAS; y a los doctores Juan José Pueyo Mur y Santiago Giralt de la Universidad de Barcelona y del Instituto de Ciencias de la Tierra "Jaume Almera" (CSIC) respectivamente, expertos internacionales en evaporitas, por las investigaciones conjuntas de campo y de gabinete. Los autores expresan su agradecimiento a los árbitros por las correcciones, comentarios y sugerencias que mejoraron significativamente la presente contribución.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Alonso, R.N. 1991. Evaporitas Neógenas de los Andes Centrales. En Pueyo, J.J. (coord.), Génesis de Formaciones Evaporíticas, Modelos Andinos e Ibéricos, Publicación 2: 267-329, Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Alonso, R.N., Jordan, K., Tabutt, K. y Vandervoort, D. 1991. Giant Evaporite Belts in the Neogene Central Andes. *Geology* 19: 401-404.
- Alonso, R.N. y Viramonte, J.G. 1985. Provincia Boratífera Centroandina. 4° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 45-63, Antofagasta.
- Blasco, G., Zappettini, E.O. y Hong, F. 1996. Hoja Geológica 2566 - I. San Antonio de los Cobres. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. 1:250.000. Subsecretaría de Minería de la Nación, Dirección Nacional del Servicio Geológico, Boletín 217, 128 p. Buenos Aires.
- Igarzábal, A.P. 1984. Origen y evolución morfológica de las cuencas evaporíticas cuartáricas de la Puna Argentina. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 595-607, San Carlos de Bariloche.
- Igarzábal, A.P. 1989. Exploración subterránea de un salar tipo de la Puna. CONICET-SECYT, Universidad Nacional de Salta (inédito), 63 p., Salta.
- Igarzábal, A.P. 1991. Evaporitas cuaternarias de la Puna argentina. En Pueyo, J.J. (coord.), Génesis de Formaciones Evaporíticas, Modelos Andinos e Ibéricos, Publicación 2: 333-374, Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Igarzábal, A.P., Salas, R.J. y Quiroga, A.G. 1987. Quimismo, mineralización y potencialidad del salar del Rincón, departamento Los Andes, provincia de Salta. 9° Congreso Geológico Argentino, Acta 2: 171-174, Tucumán.
- Matteini, M. 1999. Los volcanes Tul-Tul, del Medio y Pocitos. En González Bonorino, G., Omarini, R. y Viramonte, J. (eds.), Geología del Noroeste Argentino. Relatorio del 14° Congreso Geológico Argentino 1: 394-395, Salta.
- Matteini, M. 2001. Evolución petrológica, geoquímica y evaluación de los mecanismos eruptivos en los complejos volcánicos Tul-Tul, del Medio y Pocitos, Puna Argentina: el rol del lineamiento Calama-Olacapato-El Toro. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ciencias Naturales, (inédita), 132 p., Salta.
- Matteini, M., Mazzuoli, R., Omarini, R., Cas, R. y Maas, R. 2002. The geochemical variations of the upper cenozoic volcanism along the Calama-Olacapato-El Toro transversal fault system in central Andes (~24°S): petrogenetic and geodynamic implications. *Tectonophysics* 345: 211-227.
- Ovejero Toledo, A. 2007. Estudio geológico de sondeos en la transecta E-W de la evaporación halítica en el salar del Rincón (Salta). Tesis Profesional, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, (inédita), 105 p., Salta.
- Ruiz, T. del V. y Quiroga, A.G. 1992. Mineralogía comparativa de thenarditas de los salares del Rincón y Río Grande, departamento Los Andes, Salta. 1° Reunión de Mineralogía y Metalogenia, Publicación 2: 259-258, La Plata.
- Ruiz, T. del V., Quiroga, A.G. y Sureda, R. 1993. Intercrecimientos de hidroglauberita y eugsterita en los salares del Rincón y Río Grande, Puna de Salta, Argentina. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas 5: 51-58, Mendoza.
- Schwab, K. 1971. Informe geológico: Hojas 5a, Paso Huaytiquina y 5b, Salar de Cauchari. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 176, 70 p., Buenos Aires.
- Turner, J.C. M. 1960. Estratigrafía de la sierra de Santa Victoria y adyacencias. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias 41: 163-196, Córdoba.
- Turner, J.C.M. 1964. Descripción geológica de la Hoja 7c. Nevado de Cachi (Provincia de Salta). Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 99, 88 p., Buenos Aires.
- Turner, J.C.M. 1972. Puna. En Leanza, A.F. (ed.), Geología Regional Argentina, p. 91-116, Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.

Recibido: 03 de septiembre, 2008

Aceptado: 01 de marzo, 2009