

Historia evolutiva paleoambiental del depocentro del salar de Pozuelos (Puna Austral)

Verónica Rocío MARTÍNEZ¹, Ricardo N. ALONSO¹, Claudia Inés GALLI²

Abstract: *PALEOENVIRONMENTAL EVOLUTIONARY HISTORY OF THE DEPOCENTER OF THE SALAR DE POZUELOS (SOUTHERN PUNA).* In this paper, it is introduced the paleoenvironmental evolutionary history of the Pozuelos salar depocenter (Puna Austral, Salta, Argentina). In base of different drill holes, two different fillings are recognized and they are separated by a gypsum paleosoil related to the tectonic stability in the basin. The first filling is located at the salar base and consist of immature fill (clastic or muddy facies) suggesting a slightly more moist (but still arid) deposition and higher contribution of clastic sediment. The second filling is located at the salar top and consist of a mature fill (evaporitic or crystalline facies). The evaporitic facies are dominant with minor amount of detrital sediments, which indicates arid climatic conditions similar to the present-day in the Puna. This contribution identified two different and genetically interrelated deposits saline mudflat and saline pan; they correspond to an ephemeral saline lake sub environment. In this context, the described fill of the salar comprises a deposition model typical of a saline lake environment.

Resumen: Este trabajo presenta la historia evolutiva paleoambiental del depocentro del salar de Pozuelos (Puna Austral, Salta, Argentina). El salar, en base al análisis de datos de subsuelo, consta de dos rellenos diferentes separadas por un paleosuelo yesífero, relacionado a la estabilidad tectónica en la cuenca. De base a techo, el primer relleno es de tipo inmaduro (facies clásticas o terrosas) que sugiere una depositación ligeramente más húmeda (pero todavía árida) y con mayor aporte de sedimento clástico. El segundo relleno del techo es de tipo maduro (facies evaporíticas o cristalinas), donde las facies evaporíticas son dominantes con escasos sedimentos detríticos, lo que indica condiciones climáticas áridas similares a las actuales en la Puna. Comprende así, un modelo de depositación típico de un ambiente de lago salino, perteneciente al subambiente lago salino efímero y dentro de él se identificaron dos depósitos diferentes y genéticamente interrelacionados *saline mudflat* y *saline pan*.

Key words: Pozuelos salar. Saline Lake. Saline mudflat. Saline pan. Palaeoenvironment. Mature and immature salars.

Palabras clave: Salar Pozuelos. Lago salino. *Saline mudflat*. *Saline pan*. Paleoambiente. Salar maduros e inmaduros.

¹ UNSa-CEGA (INSUGEO-CONICET). Av. Bolivia 5150. (4400) Salta (Argentina). e-mail: veronica.rocio@gmail.com; e-mail: rnalonso@unsa.edu.ar.

² UNSa-INECOA (CONICET). Av. Bolivia 1661. (4600) Jujuy (Argentina). e-mail: cgalli@unsa.edu.ar

Introducción

El área de estudio se encuentra en el depocentro del salar de Pozuelos, ubicada en el ámbito morfotectónico de la Provincia geológica de Puna (Turner, 1972) y dentro de ella a la Subprovincia Geológica de Puna Austral (Alonso *et al.*, 1984). La Puna como región fisiográfica y provincia geológica, forma parte del orógeno centro andino, está localizada en el extremo noroccidental de la Argentina y corresponde a la culminación austral del Altiplano boliviano

(Turner y Méndez, 1979). Es una unidad caracterizada por ser una altiplanicie sobre elevada por encima de los 3700 msnm, con serranías interiores de rumbo submeridiano y limitada al oeste por la Cordillera Principal y al este por la Cordillera Oriental (Figura 1).

La Puna se caracteriza por una serie de volcanes y numerosas sierras internas longitudinales de orientación norte - sur, separadas por planicies y cuencas evaporíticas. Esta región evolucionó en un entorno de compresión tectónica relacionada con la subducción superficial de

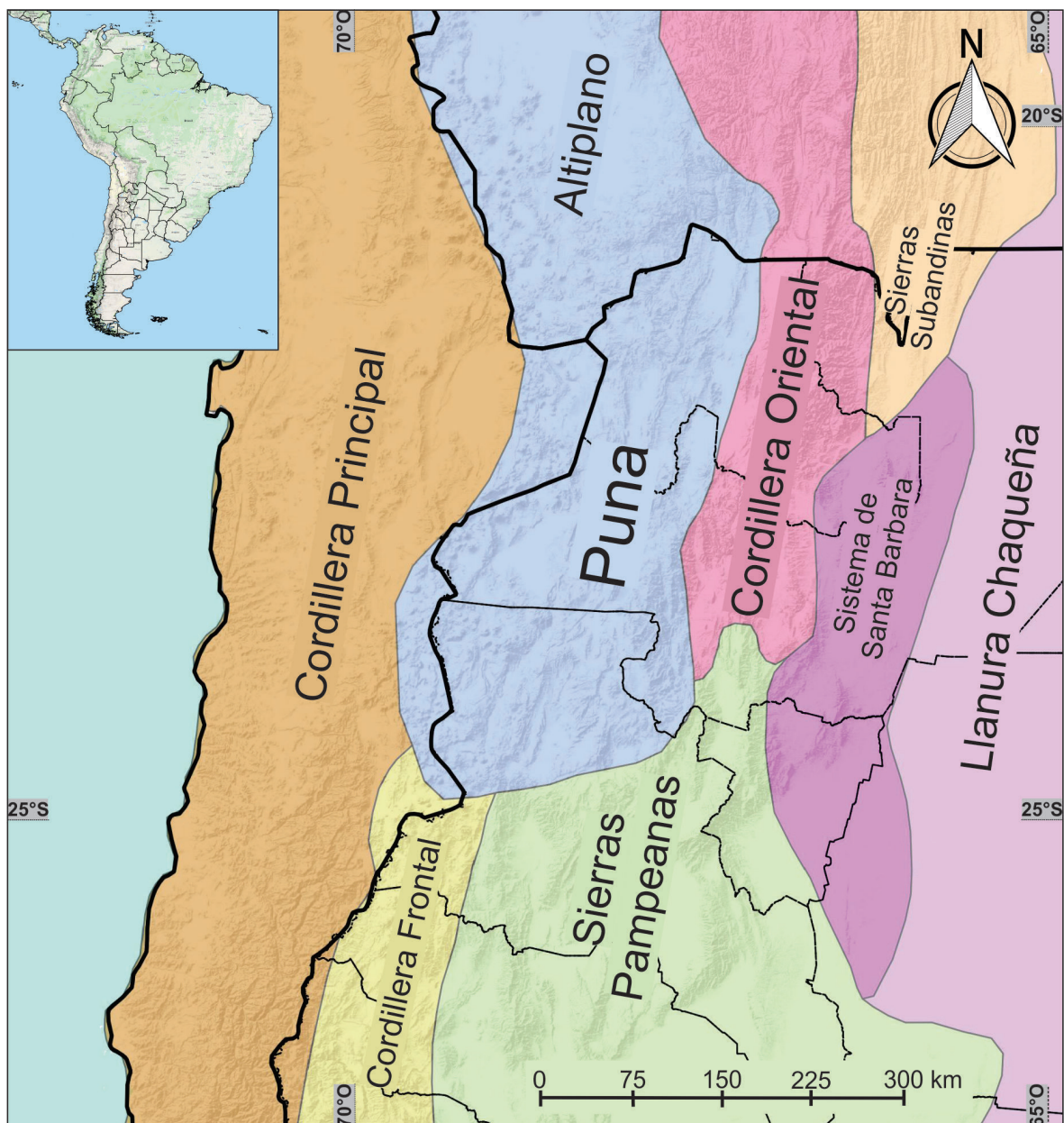


Figura 1. Mapa de las principales provincias morfo-tectónicas de los Andes centrales (Jordan *et al.*, 1983). / **Figure 1.** Map of the main morfo-tectonic provinces of the central Andes (Jordan *et al.*, 1983).

la placa de Nazca debajo del margen occidental de América del Sur (Turner, 1972; Alonso *et al.*, 1984; Isacks, 1988). Los datos sedimentológicos y de trazas de fisión en apatitas, indican que la elevación diacrónica de las áreas de aporte dentro de la actual Puna, comenzó durante el Oligoceno, mientras que el mayor levantamiento se produjo durante el Mioceno medio a superior. Esta actividad tectónica coincidió con el establecimiento de un clima árido dentro de la región y condiciones húmedas a lo largo del margen oeste de la Puna (Alonso *et al.*, 2006).

La Puna es una región fría, con una temperatura media anual de 8° C, con grandes amplitudes térmicas diarias. Los vientos son secos e intensos y radiación solar intensa (Alonso, 2006; Strecker *et al.*, 2007). La precipitación media anual puede variar de 80 a 100 mm. Las lluvias se concentran entre los meses de diciembre a marzo, período durante el cual se registra el 100% de la precipitación promedio anual (Bianchi y Yañez, 1992).

El salar de Pozuelos, como otras cuencas de la Puna Argentina está categorizada como una cuenca de intra-arco/intra plateau (Jordán y Alonso, 1987). Ellas evolucionaron en un marco volcánico, sísmicamente activo, en un clima árido, con drenaje endorreico y termalismo intenso (Alonso, 1991). El salar de Pozuelos es una depresión salina a ~3760 msnm, elongada en sentido NE-SO, de unos ~13 km de largo y ~6 km de ancho, abarca una superficie de ~ 84 km².

La cuenca del salar de Pozuelos, consta de un relleno en profundidad que no ha sido estudiado. Por lo que su estudio y análisis es valioso para el registro geológico como indicadores sensibles de eventos tectónicos y climáticos del pasado (Alonso *et al.*, 2012; Alonso, 2017). El registro estratigráfico del depocentro, su descripción e interpretación, nos indicaran su historia evolutiva paleoambiental del salar de Pozuelos.

Marco Geológico

La geología del salar de Pozuelos (Figura 2-a) está constituida por rocas del Ordovícico

y del Cenozoico. El salar está limitado por dos bloques montañosos de edad ordovícica: filo de Pozuelos (oeste) y filo de Copalayo (este). Este último se encuentra fuertemente hidrotermalizado e intruido por un cuerpo porfídico de edad miocena denominado Cerro Juncal (Argañaraz e Innes, 2003). En el borde norte del salar se presentan depósitos del Cenozoico como la Formación Geste (Eoceno superior), que yacen en discordancia angular sobre la Formación Copalayo (Ordovícico). En el suroeste se registran sedimentitas clásticas rojas de la Formación Vizcacheras (Oligoceno) y el resto de las formaciones corresponden a depósitos del Grupo Pastos Grandes indiferenciado (Neógeno). La hidrotermalización es producto del ascenso de aguas termales por el plano de falla que pone en contacto el Ordovícico con las rocas paleógenas y a lo largo del cual han ascendido soluciones ricas en boro (B), litio (Li), potasio (K), estroncio (Sr), entre otros elementos. Un campo travertínico de antiguas fuentes termales pleistocenas (<100 ka) se encuentra sobre el plano de falla en el sector noroeste (Alonso, inédito).

Los depósitos del Cuaternario constan de abanicos aluviales y coluviales, que afloran en los alrededores del salar y hacia el centro de la cuenca (Martínez *et al.*, 2018a). La superficie del salar de Pozuelos está caracterizada por diferentes tipos de costras salinas, asociadas a los cambios de facies laterales locales dentro del salar de Pozuelos, interrelacionados con la química del agua y la variación del nivel freático, con los cursos superficiales (no permanentes), con la posición en el salar (centro, borde o margen) y la topografía (Igarzábal, 1991; Martínez *et al.*, 2018b). Extensos mantos de ulexita de buena calidad se encuentran en el sector norte del salar de Pozuelos (Alonso, 1999).

Materiales y Métodos

El estudio del relleno de la cuenca del salar de Pozuelos, se obtuvo a partir de la información de pozos exploratorios pertenecien-

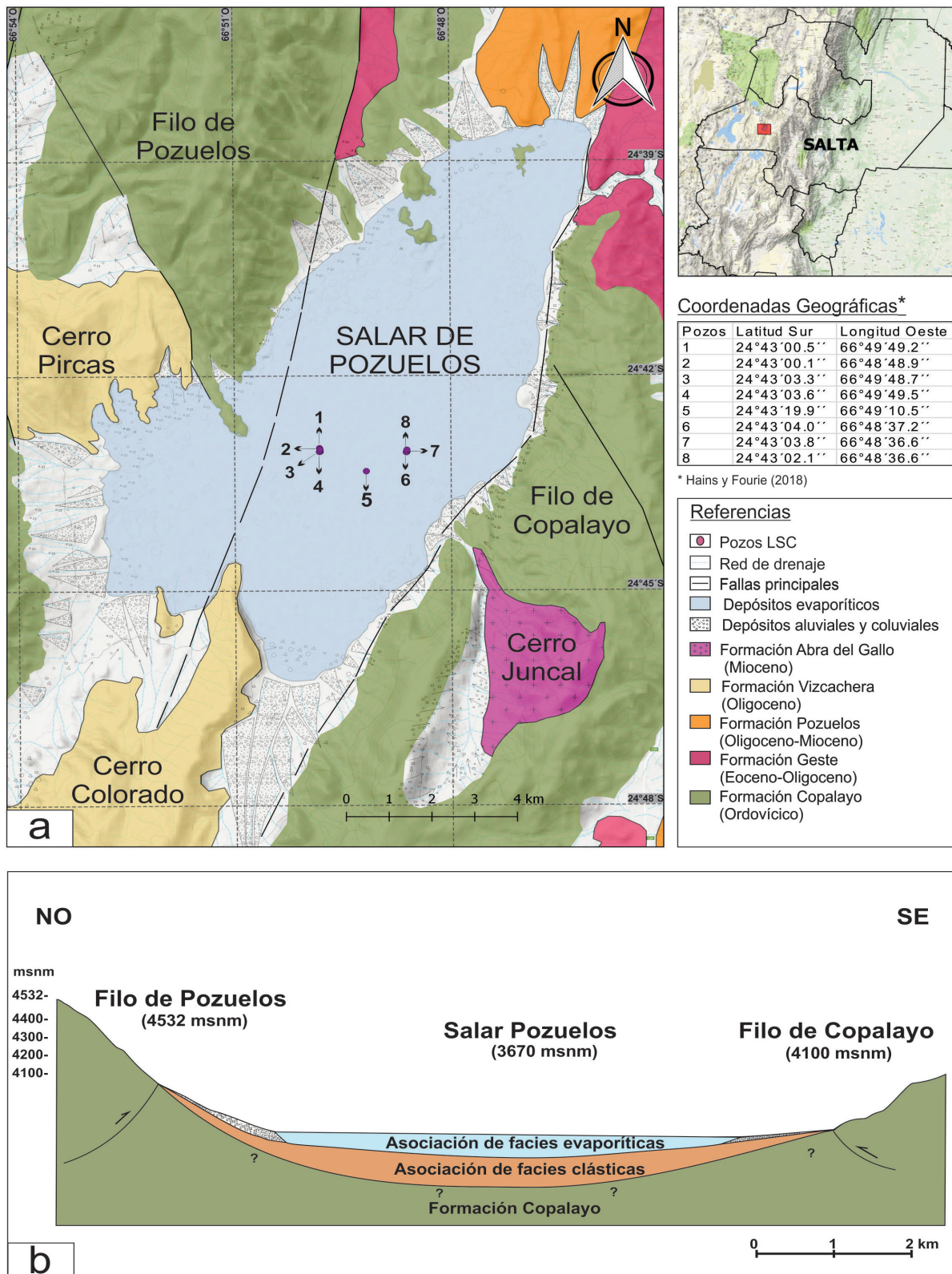


Figura 2. A) Mapa geológico del salar de Pozuelos. (Modificado de Igarzábal, 1996; Alonso *et al.*, 2017). **B)** Perfil esquemático del relleno de la cuenca intra-tectónica asimétrica del salar de Pozuelos. / **Figure 2. A)** Geological map of the Salar de Pozuelos. (Modified by Igarzábal, 1996, Alonso *et al.*, 2017). **B)** Schematic profile of the filling of the asymmetric intra-tectonic basin of the Pozuelos salar.

tes a la empresa LSC Lithium Corporation. Se analizaron ocho testigos de pozos, ubicados en el depocentro del salar de pozuelos (Tabla

1- Figura 2a), perforados mediante el método de testigo corona con un diámetro de 63.5 mm (HQ). Los pozos perforados llegan a una pro-

fundidad entre 35 a 180 metros, cabe destacar que no se llegó a perforar el basamento de la cuenca del salar de Pozuelos. Se realizaron controles de recuperación de testigos, análisis y descripción litológica. En base a las características litológicas, las estructuras sedimentarias y los contactos fue posible definir facies clásticas y facies evaporíticas. Además, se identificaron los procesos sedimentarios involucrados y las asociaciones de facies. La descripción de las muestras fue realizada en corte fresco en lupa binocular.

Resultados

El salar de Pozuelos consta de un relleno caracterizado por facies clásticas y evaporíticas (Figura 2-b), se definieron diez facies:

A) Facies Clásticas:

Facies Am (areniscas macizas): Facies de arenisca macizas medianas y finas. De color pardo rojizo a grisáceo (5 YR 7/2). Clastos bien redondeados y bien seleccionados. En la lupa se reconocen granos de cuarzo, feldspatos y líticos, con cemento calcáreo. Los bancos presentan un espesor de 3 a 10 cm y los contactos son netos y planos (Figura 3a). *Interpretación*: Las facies son de naturaleza maciza depositadas por corrientes de turbidez, con transporte tractivo en régimen bajo de flujo (Selley, 1976; Arche, 2010). Asociado a arroyada en manto y cursos fluviales efímeros, con aportes estacionales. Su selección y redondez indican un largo transporte hasta la

deposición de la misma.

Facies Pl (pelitas laminadas): Facies de pelitas laminadas compuestas de limolita y arcilitas de colores pardo rojizo (10R 4/6) y rojizas claro (5 YR 5/6), subordinada con escasa areniscas finas. Con reacción calcárea en sectores. Se observa pequeños cristales de yeso ($\text{Ca}_2\text{SO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) blanquecino y acicular. En menor proporción halita (NaCl) y niveles de ulexita ($\text{NaCaB}_3\text{O}_6(\text{OH})_6\cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Los bancos presentan un espesor de 5 cm y los contactos son netos y planos (Figura 3b). *Interpretación*: Las facies de pelitas laminadas se originaron por deposición episódica o estacionales de carga de fondo, debido a la disminución de corrientes (Miall, 1981). La sedimentación es por decantación y se ve favorecida por la floculación (Last, 1984; Sonnenfeld y Hudec, 1985). La presencia de las sales subordinada, se producen por la evaporación de la salmuera circundante (Last, 1984).

Facies Pm (pelitas macizas): Facies de pelitas macizas, compuestas por limolita y arcilitas de colores pardo rojizo (10R 4/6), pardo grisáceo (5 YR 7/2) y pardo claro (5 YR 5/6), con cemento carbonático en sectores. Contiene pequeños cristales de yeso y lentes de ulexita. Las pelitas constituyen paquetes de ~15 cm y los contactos son netos y en algunos sectores transicionales con las facies Am y Pl (Figura 3c). *Interpretación*: Las facies son introducidas por el agua de la inundación, que se deposita por suspensión (Miall, 1981). Las sales subordinada, son producto de la precipitación por evaporación de la

Pozos	Latitud Sur	Longitud Oeste	Coord. Este	Coord. Norte	Elevación	Prof (m)
1	24°43'00.5''	66°49'49.2''	3415979.63	7267026.11	3800.00	-180
2	24°43'00.1''	66°48'48.9''	3415993.25	7266991.33	3799.96	-35
3	24°43'03.3''	66°49'48.7''	3415997.29	7266939.23	3800.44	-35
4	24°43'03.6''	66°49'49.5''	3415975.83	7266930.83	3799.96	-35
5	24°43'19.9''	66°49'10.5''	3417075.69	7266435.41	3799.85	-180
6	24°43'04.0''	66°48'37.2''	3418007.93	7266928.14	3800.01	-90
7	24°43'03.8''	66°48'36.6''	3418025.01	7266935.51	3800.48	-90
8	24°43'02.1''	66°48'36.6''	3418024.30	7266987.82	3800.21	-90

Tabla 1. Coordenadas de los pozos exploratorios en coordenadas Geográficas WGS 84 y coordenadas sistema Gauus-Kruggger Posgar 94 Datum. Technical Report in accordance with National Instrument 43-101 (Hains y Fourie, 2018). / **Table 1.** Coordinates of exploratory wells in geographical coordinates WGS 84 and coordinates system Gauus-Kruggger Posgar 94 Datum. Technical Report in accordance with National Instrument 43-101 (Hains and Fourie, 2018).



Figura 3. Muestras macroscópicas de las diferentes facies clásticas y evaporíticas definidas: **A)** Am: Facies de arenisca maciza, **B)** Pl: Facies de pelita laminada, **C)** Pm: Facies de pelita maciza, **D)** Gi: Facies de gipsarenita, **E)** Po: Facies de paleosuelo, **F)** M: Facies de mirabilita, **G)** Hb: Facies de halita bandeada con parting, **H)** Hmu: Facies de halita intersticial muddy, **I)** Hch: Facies de halita chevron, and **J)** Hcb: Facies de halita cúbica. / **Figure 3.** Macroscopic samples of the different clastic and evaporitic facies defined: **A)** Am: Solid sandstone facies, **B)** Pl: Laminated pellet facies, **C)** Pm: Facies of solid pelita, **D)** Gi: Gipsarenite facies, **E)** Po: Facies of paleosuelo, **F)** M: mirabilite facies, **G)** Hb: halite facies banded with parting, **H)** Hmu: halite intersticial muddy facies, **I)** Hch: Facies of halita chevron, and **J)** Hcb: Cubic halite facies.

salmuera circundante (Last, 1984).

B) Facies Evaporíticas:

Facies Gi (Gipsarenita): Facies formada por cristales de yeso (gipsarenita) tamaño arena fina ($\text{Ca}_2\text{SO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$), color verde amarillento (5Y 8/4). Maciza. Los cristales de yeso son aciculares, con cemento carbonático. Los bancos presentan un espesor de ~ 5 cm y los contactos son netos (Figura 3d). *Interpretación:* Los depósitos primarios de gipsarenitas, se han acumulado en el seno de la masa de agua, en la interfase agua-aire y/o en el fondo depositacional. La nucleación de múltiples cristales de yeso ocurre estacionalmente y por rápidos cambios de salinidad en la salmuera (Orti Cabo, 2010).

Facies Po (Paleosuelo): Facies endurecida y

cementada de yeso macizo. Compuestos por yeso microcristalino, lenticular, prismático y fibroso. Los cristales de yeso varían de 0.1 cm a 0.5 cm. Esta facies presenta un espesor de ~ 17 cm, el contacto techo y base es neto con las facies Pm (Figura 3e). *Interpretación:* El yeso pedogénico (*pedogenic gypcrete*) se da en áreas áridas donde la evaporación media mensual excede la precipitación mensual promedio (Warren, 2006). Su contenido, tamaño, hábito, cementación y la disposición de los cristales de yeso varía ampliamente (Watson, 1988). Los suelos de yeso son áreas que reciben menos de 250 mm de precipitación anual (Watson, 1985). La mayoría se forma cerca de la superficie y por encima del nivel freático (Warren, 1982; Magee,

1991; Chen *et al.*, 1991). Su presencia indica un período estable durante el cual dominan los procesos pedogénicos (Chen, 1997).

Facies M (Mirabilita): Facies de mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) maciza, con muy escasa a nula matriz limo arcillosa roja (5YR 6/4). El mineral fresco en general es incoloro, transparente y de aspecto similar al hielo; expuesto al aire se cubre de un patina blanquecina debido a su alteración por pérdida de agua, con formación de thenardita (Na_2SO_4). Este banco es de 2 m de espesor y de contactos transicionales con facies de Pm. (figura 3f). *Interpretación*: La mirabilita o sal de Glauber, precipita durante los meses de invierno y se disuelve durante los meses de primavera y verano (Eardley, 1962). Las sales criogénicas, como la mirabilita, se acumula y cristaliza en una salmuera fría residual, ya que por debajo de 1.2°C , el hielo y la mirabilita tienden a precipitarse a medida que la salmuera se congela. Su solubilidad en el agua cambia en una función no lineal a la temperatura. A 32.4°C en agua pura, se alcanza un punto de transición en la curva de solubilidad, por lo que la mirabilita se funde en su propia agua de cristalización y da lugar a su pseudomorfa, la thenardita. Por lo que la mirabilita aparecerá solo por congelación invernal (Braitsch, 1964; Hardie y Eugster, 1970; Eugster y Hardie, 1978; Garrett, 2001; Warren, 2016).

Facies Hb (halita cristalina bandeada con *parting*): Halita (NaCl) cristalina incolora con cristales subhedrales a euhedrales de tamaños de 2 mm a 10 mm. Poseen un aspecto bandeado con alternancia de niveles de halita clara (libre de inclusiones) y halita parda (5YR 6/4) con abundante matriz limosa (material clástico). Separadas por una superficie irregular denominada “*parting*”. Los bancos presentan un espesor de 4 a 12 cm y los contactos son netos y crenulados (Figura 3g). *Interpretación*: La halita Hb está formada por cristales alineados al azar generando la superficie irregular (*parting*). Se caracteriza por la cristalización, disolución y recristalización por presión de carga, debido a la continua circulación de salmueras sobresaturadas y al peso de

las capas adyacentes. Las superficies irregulares (*parting*), son patrones que se repiten producto de momentos estacionales, por exposición subaérea (Casas y Lowenstein, 1989; Hovorka *et al.*, 2007; Warren, 2016). La alternancia de bandas de halita parda indica episodios de aporte clástico durante la precipitación; mientras que en la halita incolora sólo predomina la cristalización química.

Facies Hmu (halita cristalina intersticial *muddy*): Halita (NaCl) cristalina incolora intercalada con halita cristalina con moderada matriz limo arcillosa color pardo rojizo (10R 4/6) y pardo claro (5YR 6/4). Los cristales son subhedrales a euhedrales de 3 mm a 15 mm. Se observa ulexita y oropimente (As_2S_3). Textura Intersticial *Muddy*. Los bancos presentan un espesor de ~ 5 cm y los contactos son netos (Figura 3h). *Interpretación*: Las características de estas facies indican formaciones de origen muy somero, con incorporación de material detrítico a la estructura cristalina. Implican exposición subaérea y recristalización sinsedimentaria de la halita. Tienen a ocupar el centro de la cuenca (Moretto, 1987; Dumas, 1988).

Facies HCb (halita cristalina *chevron*): Halita (NaCl) cristalina incolora y blanquecina, con cristales subhedrales a euhedrales, tamaño de 5 mm a 15 mm. Intercalada con niveles de halita con materia orgánica y niveles de arcilla negra (5YR 6/4) con materia orgánica. Además contiene cristales diseminados de azufre (S) y oropimente (As_2S_3). Presenta textura *chevron*. La textura de tipo *chevron* está caracterizada por cristales de forma piramidal, alargados y con tres caras deprimidas, orientados verticalmente apuntando hacia arriba. El espesor de los bancos es de 7 cm y sus contactos son netos (Figura 3-i). *Interpretación*: El patrón “*chevron*” en halita, fue descrito por Wardlaw y Schwerdtner (1966), quienes la interpretaron como el resultado del crecimiento competitivo ascendente de cristales en el fondo. Posteriormente Sloss (1969) determinó que la cristalización de este tipo, podría cristalizar en el fondo y/o en la superficie, siempre que estuviera en contacto con el aire. Las características de es-

tas facies indican sobresaturación debido a una fuerte evaporación y cristalización rápida (Orti Cabo, 2010). La presencia de materia orgánica se debe a que en estaciones secas crece vegetación halófitas, estos remanentes de vegetación se acumulan en el fondo salino y produce niveles de materia orgánica intercaladas con halitas precipitadas (Hardie *et al.*, 1978).

Facies HCb (halita cristalina cúbica): Halita (NaCl) de cristales euhedrales de tamaño que varían de 2 mm a 7 mm. Con escasa matriz arcillosa de color pardo rojizo (10R 4/6). La textura es cúbica. Se reconoce halita cavernosa con canaliculos verticales en sectores y muy fracturada (porosidad secundaria). Los bancos presentan un espesor de ~5 cm y los contactos son netos (Figura 3-j). *Interpretación.* Las características de esta facies indican saturaciones débiles y cristalizaciones lentas que forman los cubos perfectos y límpidos (Orti Cabo, 2010). La presencia de halita cavernosa con canaliculos verticales y fracturados se da por erosión subaérea, asociada a inundaciones de agua disponible de la lluvia o la humedad atmosférica que se infiltran en la halita, son rasgos postdeposicional (Hovorka *et al.*, 2007).

Asociación de facies

En el salar de Pozuelos se diferencia dos tipos de relleno (Figura 4) separadas por un paleosuelo yesífero. De base a techo tenemos un relleno de tipo inmaduro (facies clásticas o terrosas) y hacia el techo un relleno maduro (facies evaporíticas o cristalinas) según conceptos de Igarzábal y Alonso (1990) y Houston *et al.* (2011).

De acuerdo a los análisis de las diferentes facies (Tabla 2), el relleno del salar de Pozuelos corresponde un lago salino (*saline lake*) y dentro de sus subambientes posee todas las caracterís-

ticas de un lago salino efímero (*ephemeral saline lake*). A su vez este sub ambiente se subdivide en función de las características de su depósito, ellos son *saline mudflat* y *saline pan* (según la clasificación de Hardie *et al.*, 1978).

Los términos *saline mudflat* y *saline pan*, no se tradujeron para evitar confusión o malentendido debido a que el glosario de geología proporciona casi 40 nombres para estas características, sus traducciones dependen de la cultura que domina la región de ocurrencia (Yechieli y Wood, 2002).

La unidad basal *SM* (*saline mudflat*) del salar de Pozuelos está compuesta por cinco facies, ellas son areniscas finas macizas (*Am*), limolitas y arcilitas laminadas (*Pl*), macizas (*Pm*), gipsarenita (*Gi*) y un nivel de paleosuelo (*Po*). Esta asociación de facies *SM*, sugiere una depositación en un clima ligeramente más húmedo (pero todavía árido) y un mayor aporte de sedimento clástico.

Los sedimentos de los *SM* consisten en una combinación de procesos fluviales, lacustres y eólicos. Las sales subordinadas crecen en los sedimentos por evaporación de la salmuera circundante. Son depósitos en su mayoría de grano fino. Los sedimentos de *saline mudflat* son predominantemente alóctonas. Su composición depende del área de aporte de los sedimento, mientras que su textura dependerá, tanto de los procesos de transporte hasta su depósito, como de los procesos de retrabajamiento (Last, 1984; Renaut, 1989; Smoot y Lowenstein, 1991; Warren, 2006).

La unidad superior *SP* (*saline pan*) del salar de Pozuelos, con predominio evaporítico consiste en cinco facies, de base a techo: mirabilita (*M*), halita bandeada con parting (*Hb*), halita interticial muddy (*Hmu*), halita chevron (*Hch*) y halita cúbica (*Hcb*). Correspondiente a una asociación de facies *SP* con un relleno maduro o cristalino donde las facies evaporíticas son dominantes con escasos

Ambiente	Subambiente	Subdivisión del subamb.	Código	Asociaciones de facies
<i>Saline</i>	<i>ephemeral</i>	<i>saline pan</i>	<i>SP</i>	<i>M, Hb, Hmu, Hch, Hcb</i>
<i>Lake</i>	<i>saline lake</i>	<i>saline mudflat</i>	<i>SM</i>	<i>Am, Pl, Pm, Gi, Po</i>

Tabla 2. Clasificación de los ambientes en el salar de Pozuelos en base a Hardie *et al.* (1978). / **Table 2.** Classification of the environments in the Salar de Pozuelos based on Hardie *et al.* (1978).

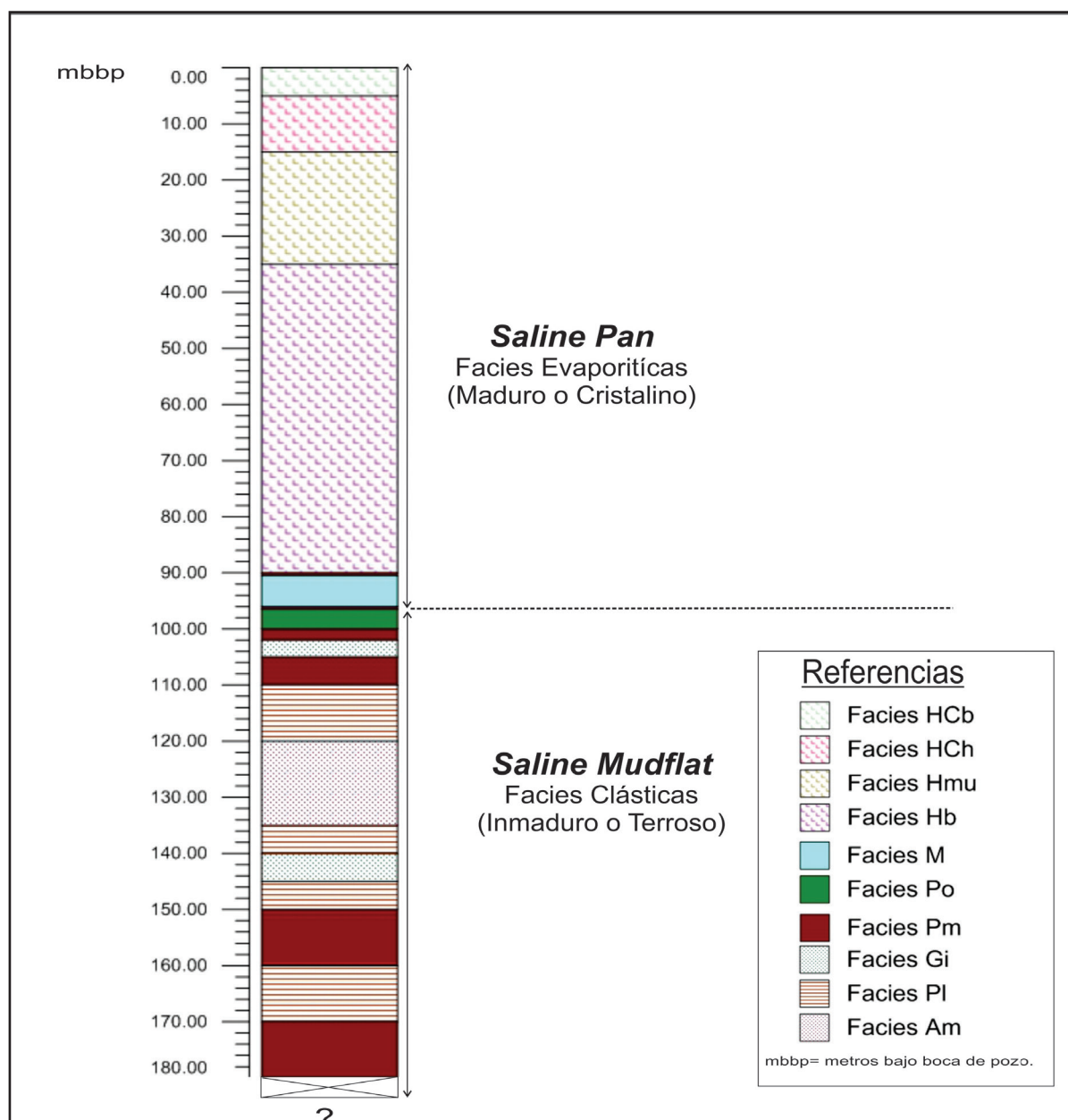


Figura 4. Columna sedimentaria integrada del relleno del salar de Pozuelos. / **Figure 4.** Integrated sedimentary column of the Salar de Pozuelos landfill.

sedimentos detríticos, indicando condiciones climáticas áridas similares a las actuales en la Puna. Según Hardie *et al.* (1978), la precipitación de facies evaporíticas se da cuando la salmuera estancada se evapora lentamente durante las semanas y/o meses subsiguientes a la inundación hasta que precipiten las evaporofacies apropiadas para la química de la salmuera. Lowenstein y Hardie (1985) describen un ciclo de *saline pan*, para interpretar la formación de sus evaporofacies, que consiste en: 1) una etapa de inundación, 2) una etapa de lago salino y 3) una

etapa de desecación.

En la evolución de la salmuera estudiada por Hardie y Eugster (1970), la congelación de mirabilita es importante en la eliminación de sulfato, sin embargo el yeso no lo es. Por lo que después de la precipitación de mirabilita hacia el techo no se cuenta con la presencia de sulfato en el salar de Pozuelos. Posteriormente todas las facies de halita identificadas denotan distintas texturas, que dependen del contraste hidrológico, estabilidad de la salmuera, tasas de cambio de

temperatura y salinidad. Además hay que tener en cuenta que los cristales permanecen donde se precipitan, otras veces tienen retrabajo de forma mecánica o geoquímica, o se someten a grados parciales de disolución y recristalización fraccionada (Warren, 2006).

Discusión

Los lagos salinos son comunes en todas las regiones áridas del mundo. Ocupan las áreas hidrográficas más bajas de las cuencas de drenaje cerradas y están rodeados por un complejo de subambientes deposicionales interrelacionados, que resultan principalmente de las características del flujo de entrada (Hardie *et al.*, 1978). Estas son características típicas del salar de Pozuelos, que se comporta como una cuenca cerrada, con aportes de agua superficial y subterránea (Igarzábal y Poppi, 1980).

Según Hardie *et al.* (1978) el subambiente lago salino efímero, es un cuerpo poco profundo con salmueras concentradas, que al menos una vez al año se seca, dejando en el área central una capa de sal que precipita cuando la salmuera se evapora. Este subambiente ha sido descrito como salina, *playa lake*, *dry lake*, *alkali flat*, *salt flat*, *salt pan*, *sabkha* cuando está seco, *evapoflat* (Reeves, 1968; Cooke y Warren, 1973; Glennie, 1970; Neal, 1975; Alonso *et al.*, 2012). Los ejemplos de este tipo de subambiente son los salares de la Puna (Argentina), el salar de Uyuni (Bolivia), salar de Atacama (Chile), salar Grande (Chile), *Sabkha Yotvata* (Israel), Deep Springs Lake (California), *Saline Valley Playa* (California), etc. Cabe destacar que el término salar (Cordini, 1950) es un americanismo de significado impreciso, que genera confusiones con otros términos como salina, saladar, salitral, laguna seca, etc. Por ello, la palabra salar, por su arraigo se vuelve insustituible y tiene una acepción válida para los ambientes de los Andes Centrales (Igarzábal, 1991; Alonso *et al.*, 2012).

Los lagos salinos efímeros tienen un ciclo de expansión (con renovación) y contracción gradual (con salinidad creciente), que conduce

a una subdivisión en subambiente en dos partes en función de las características del sedimento. Los subambientes son: *saline mudflat* (barreal salino o llanura fangosa salina o playa) caracterizada por sedimento clástico con precipitación de minerales evaporíticos y *saline pan* (salar, salinas) formadas por una mezcla de varias sales, como: carbonatos, sulfatos y cloruros, producidas por ascenso capilar. Por lo tanto, es una entidad físico-química compleja, inorgánica, corrosiva, dinámica, activa y con gran capacidad de organizarse facialmente (Hardie *et al.*, 1978; Alonso *et al.*, 2012). El salar de Pozuelos, posee una superficie que permanece seca en períodos sin precipitaciones (marzo a noviembre). En épocas de lluvia (diciembre a abril) los márgenes del salar permanecen inundados, por lo que las costras salinas en estos sectores, se renuevan anualmente (Martínez *et al.*, 2018b).

Los salares por la naturaleza de su composición, se pueden dividir en terrosos o cristalinos (Igarzábal y Alonso, 1990) o en maduros e inmaduros (Huston *et al.*, 2011), dependiendo del tipo de relleno. En los primeros existe un amplio predominio de sales con escasa participación terrígena. En cambio, en los salares terrosos se han originado por aporte predominante de relleno detrítico, impregnado en sales (Igarzábal y Alonso, 1990). El salar de Pozuelos superficialmente es un salar de tipo cristalino (Alonso *et al.*, 2017) y en profundidad presenta los dos tipos de rellenos.

Los salares de la Puna presentan distintos contextos, relacionados al tipo de afloramiento del área de aporte, edad, facies, quimismo de la salmuera y evolución (Alonso *et al.*, 2012; Alonso, 2017). Varios autores han estudiado las facies y su distribución en distintos salares puneños (Battaglia y Alonso, 1992; Alonso, 2006; Vinante y Alonso, 2006; Giralt *et al.*, 2007; Esteban *et al.*, 2008; Ovejero *et al.*, 2009; Lucía *et al.*, 2010; Martínez *et al.*, 2017; Sabio Collado, 2018). Otras investigaciones apuntan a comprender la evolución de los salares de la Puna (Jordan *et al.*, 2002; Alonso *et al.*, 2006; Strecker *et al.*, 2007, 2009; Alonso *et al.*, 2012; López Steinmetz, 2013; López Stein-

metz y Galli, 2015; Alonso, 2017).

Los salares están asociados a la herencia ambiental y metalogénica, válida desde el Mioceno inferior a la actualidad, que produjo reciclaje y concentración de sales (Viramonte *et al.*, 1984; Alonso *et al.*, 1991). Además, la interrelación facial entre los medios clásticos (físico) y evaporítico (químico), está gobernada por la conjunción tectónica-clima y un complejo proceso de readaptación ambiental luego de una crisis de expansión lacustre durante el Pleistoceno (Strecker *et al.*, 2009; Lanouette, 2017; Alonso, 2017). El salar de Pozuelos, tiene un relleno sedimentario único y diferente de otros salares, con una evolución paleoambiental característica y única.

Conclusiones

Este trabajo presenta la historia evolutiva paleoambiental del depocentro del salar de Pozuelos (Puna Austral, Salta-Argentina). En base al análisis de datos de subsuelo, el salar consta de dos rellenos diferentes, separados por un paleosuelo yesífero, relacionado a la estabilidad tectónica en la cuenca. De base a techo se tiene un relleno de tipo inmaduro (facies clásticas o terrosas), que sugiere una depositación ligeramente más húmeda (pero todavía árida) y con mayor aporte de sedimentos clásticos; y hacia el techo un relleno maduro (facies evaporíticas o cristalinas) donde las facies evaporíticas son dominantes con escasos sedimentos detríticos, lo que indicaría condiciones climáticas áridas similares a las actuales en la Puna.

Comprende así un modelo de depositación típico de un ambiente de lago salino (*saline lake*), perteneciente al subambiente lago salino efímero (*ephemeral saline lake*) y dentro de él se identificaron dos depósitos diferentes y genéticamente interrelacionados *saline mudflat* (*SM*) y *saline pan* (*SP*).

La asociación de facies *SM*, está caracterizada por una alternancia de facies clásticas de arcilitas, limolitas y areniscas finas intercaladas

con sales subordinadas. Estas características del relleno representan mayor aporte del suministro de sedimento bajo condiciones climáticas variables, seguramente con mayor régimen de humedad (mayor precipitación, menor evaporación). Durante este tiempo de depósito, la salmuera se encontraba enriquecida en sulfato de calcio, lo que llevó a la precipitación de yeso, mineral significativo en toda la secuencia clástica. Para este depósito se sugiere un clima árido con precipitaciones menores a los 250 mm anuales, denotado por el paleosuelo yesífero (*Po*) con un medio sedimentario físico predominante y químico subordinado.

La asociación de facies *SP*, está caracterizada por predominancia de facies de evaporita versus facies clástica. De base a techo, se pueden reconocer facies de mirabilita, halita bandeada con *parting*, *muddy*, *chevron* y cúbica; con algunos niveles pelíticos. La facies de mirabilita indica una precipitación en estación invernal, por congelación de la salmuera residual y posterior conservación, como resultado de las condiciones extremas que posee la Puna en invierno. La facies principal está compuesta por halita con diferentes texturas, esta sucesión relativamente uniforme fue acumulada bajo diferentes condiciones hidrológicas. La asociación evaporítica, indica condiciones climáticas áridas similares a las actuales, que año a año generan precipitación de sales. Esto se debe al balance hídrico negativo característico de la región, con precipitaciones que no superan los 100 mm anuales, en un medio sedimentario químico predominante, con condiciones tectónicas estables.

Estos dos tipos de rellenos paraconcordantes, indican dos etapas en la cuenca del salar de Pozuelos con diferente edad, extensión y duración, controlados principalmente por el clima y la tectónica, en una cuenca hidrológicamente cerrada (con aportes superficiales y subterráneos).

El relleno del salar se encuentra embebido en salmueras ricas en Li^+ . Por lo que su análisis sedimentológico, es de gran utilidad para evaluar el potencial de un reservorio e identificar las zonas más favorables para la explotación

de salmueras, ya que el régimen de explotación del acuífero de salmuera en depósitos maduros e inmaduros, poseen condiciones hidráulicas diferentes. La cuenca del salar de Pozuelos, actualmente constituye uno de los principales proyectos de exploración de salmueras de litio en el ambiente de la Puna Austral.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio de Petrología y Mineralogía, Cátedra de Mineralogía I- II. UNSa y al CEGA-INSUGEO. Como así también Litha Argentina Inc – LSC Lithium Corporation, por el apoyo logístico para la realización de este trabajo, especialmente al Dr. Rodrigo Castañeda, Geól. Eliana Chanampa y Geól Mike Boyle. Se agradece la colaboración en las tareas de campo al CPA-David González.

Se agradece a los árbitros anónimos y a la editora Dra. Vanina López de Azarevich, por los comentarios y sugerencias que contribuyeron a mejorar el manuscrito.

En el presente trabajo se contó con el apoyo económico del proyecto ANPCyT PICT-V-2014-3654: De la dinámica y evolución de los salares de la Puna y su control en la exploración y explotación de Li a la extracción por tratamiento electroquímico de las salmueras.

Referencias

- Alonso, R.N. 1991. *Evaporitas Neógenas de los Andes Centrales*. En Pueyo, J. J. (ed.) Génesis de formaciones evaporíticas. Modelos andinos e ibéricos. Universidad de Barcelona, Estudios Generales, Publicación 2: 267-332.
- Alonso, R.N. 1999. *Los salares de la Puna y sus recursos evaporíticos, Jujuy, Salta y Catamarca*. En Recursos Minerales de la República Argentina. Zappettini, E.O. (ed.), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales. Buenos Aires. 35: 1907-1921.
- Alonso, R.N. 2006. Ambientes Evaporíticos Continentales de Argentina. INSUGEO, *Serie Correlación Geológica*. Tucumán - 21:155-170.
- Alonso, R.N. 2017. *Los salares de la puna argentina y su recurso minero*. En: Muruaga, C.M. y Grosse, P. (eds.), Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA. Relatorio del XX Congreso Geológico Argentino, San Miguel de Tucumán: 1018-1038.
- Alonso, R.N. Gutiérrez, R.V. y Viramonte, J.G. 1984. Puna Austral - Bases para el subprovincialismo geológico de la Puna Argentina. *IX Congreso Geológico Argentino*, Actas 1: 43-63.
- Alonso, R.N., Ruiz, T. y Quiroga, A.G. 2012. *Sedimentación en los salares de la Puna Argentina*. En: Marquillas, R., Sánchez, C. y Salfity, J. (eds.), Aportes sedimentológicos a la geología del Noroeste Argentino. Salta. Relatorio del XIII Reunión Argentina de Sedimentología: 17-24.
- Alonso, R.N., Chanampa, E. y Martínez, V.R. 2017. Litio en el salar de Pozuelos (Salta). En: Simposio N° 2: "Geología endógena y exógena del litio en Argentina". *XX Congreso Geológico Argentino, Tucumán*, 7-11 de agosto de 2017, Sardi, F., Alonso, R.N. y Colombo, F. (eds.), Actas, 1-8.
- Alonso, R.N., Jordan, T., Tabbutt, K. y Vandervoort, D. 1991. Giant Evaporite Belts of the Neogene Central Andes. *Geology*, 19: 401- 404.
- Alonso, R.N., Bookhagen, B., Carrapa, B., Coutand, I., Haschke, M., Hilley, G.E., Schoenbohm, L., Sobel, E., Strecker, M., Trauth, M. y Villanueva, A. 2006. Tectonics, Climate, and Landscape Evolution of the Southern Central Andes: the Argentine Puna Plateau and Adjacent Regions between 22 and 30°S. The Andes. Active Subduction Orogeny, *Chapter: 12, Publisher: Springer, Berlin*, 265-283.
- Arche, A. 2010. *Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Textos Universitarios N° 46, CSIC, Madrid, 1287 pp.
- Argañaraz, R. e Innes, A. 2003. Cerro Juncal: Un Prospección de cobre porfídico con un sistema epitermal superior. *X Congreso Geológico Chileno*. Actas: 1-8.
- Bianchi, A. y R. Yañez. 1992. *Las Precipitaciones en el Noroeste Argentino*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Cerrillos. Salta.
- Battaglia, R.R. y Alonso, R.N. 1992. Evapofacies del salar Centenario (Salta). *IV Jornadas Argentinas de Sedimentología*. La Plata. Tomo II: 17 24.
- Braitsch, O. 1964. The temperature of evaporite formation, in A. E. M. Nairn, (ed.), Problems in palaeoclimatology: *New York, Wiley*, 479-490.
- Casas, E. y Lowenstein, T.K. 1989. Diagenesis of saline pan halite; comparison of petrographic features of modern, Quaternary and Permian halites: *Journal of Sedimentary Petrology*, V. 59: 724-739.
- Chen, X.Y. 1997 Pedogenic gypcrete formation in arid central Australia. *Geoderma*, 77: 39-61.
- Chen, X.Y., Bowler, J.M. y Magee, J.W. 1991. Gypsum ground: a new occurrence of gypsum sediment in playas of central Australia. *Sedimentary Geology* 72: 79-95.

- Cooke, R.U. y Warren, A. 1973. *Geomorphology in Deserts*. Univ. of Calif. Press, Los Angeles, 374 pp.
- Cordini, R.I. 1950. *Contribución al conocimiento de los cuerpos salinos de Argentina*. Dir. Ind. Minera. Anales III. Bs.As.
- Dumas, D. 1988. *Le Paléogène salifère du bassin de Valence (Sud-Est de la France). Géométrie et sédimentologie des dépôts. Synthèse de bassin*. Thèse Univ. Claude-Bernard, Lyon.
- Eardley, A.J. 1962. Glauber's salt bed, west of Promontory Point, Great Salt Lake. Utah Geol. Mineral. Survey Special Studies 1, 12 pp.
- Eugster H.P. y Hardie L.A. 1978. Saline Lakes. In: Lerman A. (ed) *Lakes*. Springer, New York, NY, 237-293.
- Esteban, C.L., Alonso, R.N. y Ruiz, T. 2008. Facies evaporíticas del Salar de Cauchari, Jujuy. XVII Congreso Geológico Argentino, Tomo I: 1006-1007. San Salvador de Jujuy.
- Garrett, D. E. 2001. Sodium sulfate: Handbook of deposits, processing, properties and uses: *Amsterdam, Elsevier*, 384 pp.
- Giralt, S., Pueyo, J.J., Gibert, O., Sorentino, C., Alonso, R.N., Taberner, C., Fernández-Turiel, J.L., Sáez, A., Valero Garces B. y Moreno, A. 2007. Sedimentological evolution of the salar del Rincón (Argentinean Puna, Argentina): Paleoenvironmental and paleoclimatic implications for the last 700 kyr BP. *IV International Limnogeology Congress (ILIC-4)*, Barcelona.
- Glennie, K.W. 1970. Desert Sedimentary Environments. *Elsevier Public., New York*, 22 pp.
- Hardie, L.A. y Eugster, H.P. 1970. The evolution of closed-basin brines: *Spec. Pub. Mineral. Soc. Am.*, v. 3, p. 273-290.
- Hardie, L.A., Smoot, J.P. y Eugster, H.P. 1978. Saline lakes their deposits: a sedimentological approach. *Spec. Publ. int. Ass. Sediment.* (2), 7-41.
- Hains, D. y Fourie, L. 2018. *Technical Report NI 43-101 Pozuelos Project, Salta Province, Argentina*. 2018. 154 pp.
- Houston, J., Butcher, P., Ehren, K., Evans, L. y Godfrey, L. 2011. The Evaluation of Brine Prospects and the Requirement for Modifications to Filing Standards. 2011 *Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology*, v. 106, pp. 1225-1239.
- Hovorka, S.D., Holt, R.M. y Powers, D.W. 2007. Depth indicators in Permian Basin evaporates. *Geological Society, London, Special Publications*, v. 285, p. 335-364.
- Igarzábal, A.P. 1991. *Evaporitas cuaternarias de la Puna Argentina*. En Pueyo, J. J. (ed.) Génesis de formaciones evaporíticas. Modelos andinos e ibéricos. Universidad de Barcelona, Estudios Generales, Publicación 2: 333-374.
- Igarzábal, A.P. 1996. *Los salares de la Puna Argentina (provincias de Jujuy, Salta y Catamarca)*. Instituto de Beneficios de Minerales. Universidad Nacional de Salta. Inédito.
- Igarzábal, A. P. y Poppi, R. 1980. El salar de Hombre Muerto. *Acta Geológica Lilloana*, 15(2):103-117.
- Igarzábal, A.P. y Alonso, R.N. 1990. Origen del Boro y Litio. *IV Jornadas Argentinas de Ingeniería de Minas*, Tomo I, p.35 55. Jujuy.
- Isacks, B.L. 1988. The Altiplano - Puna and the Bolivian orocline. *Journal of Geophysical Research*, 93: 3211-3231.
- Jordan, T.E. y Alonso, R.N. 1987. Cenozoic stratigraphy and basin tectonics of the Andes Mountains, 20°-28° S.L. *American Association of Petroleum Geologist, Bulletin* 71 (1): 49-64.
- Jordan, T.E., Godfrey, L. Muñoz, N., Alonso, R.N., Lowenstein, T., Hoke, G. Pannanont, P., Peranginangin, N., Isacks, B.L. y Cathles, L. 2002. Orogenic-scale ground water circulation in the Central Andes: Evidence and consequences. *V International Symposium on Andean Geodynamics*. Toulouse, 331-334.
- Lanouette, P. 2017. *Transient basin interconnectivity as a result of variable climate conditions on the Puna Plateau, NW Argentina*. Master of Science, Universität Potsdam: 100 pp, Potsdam. Inédito.
- Last, W.M. 1984. Sedimentology of playa lakes of the northern Great Plains. *Can. J. Earth Sci.*, 21: 107-325.
- López-Steinmetz, R.L. 2013. *Génesis y evolución de la Laguna de Guayatayoc, borde oriental de la Puna jujeña*. Ph.D. Thesis (Unpublished). Universidad Nacional de Salta. Salta: 336 pp.
- López Steinmetz, R.L. y Galli, C.I. 2015. Hydrological change during the Pleistocene-Holocene transition associated with the Last Glacial Maximum-Altithermal in the eastern border of northern Puna. *Andean Geology*. 42. 1-19.
- Lowenstein, T.K. y Hardie, L.A. 1985. Criteria for the recognition of salt-pan evaporates. *Sedimentology*, V, 627-644.
- Lucía, F., Alonso, R.N., Quiroga, A.G y Ruiz, T. 2010. El salar de Río Grande (Salta) y su potencial evaporítico. *X Congreso de Mineralogía y Metalogenia*. Río Cuarto. Acta I: 197- 204
- Magee, J.W. 1991. Late Quaternary lacustrine, groundwater, aeolian and pedogenic gypsum in the Prunglc Lakes, southeastern Australia. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 84: 3-42.
- Martínez, V.R., Alonso, R.N., Galli, C.I. y Chanampa, E.G. 2017. Evolución paleoambiental del depocentro del Salar de Pozuelos. *Símpoio Controles Modernos y Antiguos en Sistemas sedimentarios "El Presente no siempre es la llave del Pasado"*, 17-18.
- Martínez, V.R., Alonso, R.N., Galli, C.I. y Chanampa, E.G. 2018a. Geomorfología del salar de Pozuelos (Puna Salteña). *VII Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología*. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. ISSN 2591-6653. Puerto Madryn. *Naturalia Patagónica*, Volumen 10: 324-

- 326.
- Martínez, V.R., Alonso, R.N. y Galli, C.I. 2018b. Morfología de las costras evaporíticas del salar de Pozuelos (Puna Austral). *VII Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco*. ISSN 2591-6653. Puerto Madryn Naturalia Patagónica, Volumen 10: 311-313.
- Miall, A.D. 1981. Sedimentation and tectonics in alluvial basins. *Geol. Assoc. Canada Spec. Paper*, 23.
- Moretto, R. 1987. Étude sédimentologique et géodynamique des dépôts de la série paléogène du bassin de Bourg-en-Bresse (France). *Sciences de la Terre*, 50 pp.
- Neal, J.T. 1975. Playasand Dried Lakes. Benchmark Papers in Geology 20, Dcwwden, Hutchinson and Ross, *Stroudsburg, PA*, 411 pp.
- Orti Cabo, F. 2010. *Evaporitas: introducción a la sedimentología evaporítica*. Algunos ejemplos. En Archie, A. (ed.) *Sedimentología. Del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Publicación 14: 675-771. ISBN: 978-84-00-09145-3. Madrid, España. 493 pp.
- Ovejero, A., Alonso, R.N., Ruiz, T. y Quiroga, A.G. 2009. Evapofacies halítica en una transecta este-oeste del salar del Rincón, departamento Los Andes, Salta. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 64(3): 313-320.
- Ramos, V.A. 1999. *Rasgos Estructurales del Territorio Argentino*. Evolución tectónica de la Argentina. Coordinador: Caminos, R. Geología Argentina. Buenos Aires, *Anales* 29 (24): 715-784.
- Renaut, R.W. 1989. Sedimentology and diagenesis of evaporates. *Sedimentary Geology*, 64, 207.
- Reeves, C.C. 1968. Introduction to Paleolimnology. *Elsevier Public. New York*, 228 pp.
- Sabio Collado, Rocío María. 2018. *Estudio geológico de las evapofacies profundas de mirabilita en el depocentro del salar de Pozuelos (Puna austral, Salta)*. Universidad Nacional de Salta. Salta: 113 pp.
- Selley, R.C. 1976. *An Introduction to Sedimentology*. Academic Press, London. 408 pp.
- Strecker, M.R., Alonso, R.N., Bookhagen, B., Carrapa, B., Hilley, G.E. Sobel, E.R. y Trauth, M.H. 2007. Tectonics and climate of the southern central Andes, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 35: 747-787.
- Strecker, M.R., Alonso, R.N., Bookhagen, B., Carrapa, B., Coutand, I., Hain, M.P., Hilley, G.E., Mortimer, E., Schoenbohm, L. y Sobel, R. 2009. Does the topographic distribution of the Central Andean Puna Plateau result from climatic or geodynamic processes. *Geology* 37(7): 643-646.
- Sloss, L.L. 1969. Evaporite deposition from layered solutions. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 53 (4), 776-789.
- Smoot, J.P. y Lowenstein, T.K. 1991. *Depositional environments of non-marine evaporites*. En J. Melvin (ed.), *Evaporites, Petroleum and Mineral Resources. Developments in Sedimentology*, 50, Elsevier, 189-347.
- Sonnenfeld, P. y Hudec, P.P. 1985. *Clay laminations in halite: their cause and defect*. In: B. C. Schreiber y H. L. Harne (Editors), VI Symposium on Salt. I. The Salt Institute, Alexandria, VA: 51-56.
- Turner, J.C.M. 1972. Puna. Cordillera Oriental. Leanza, A. F. (ed.), *Geología Regional Argentina*, 91-142.
- Turner, J.C.M. y Méndez, V. 1979. Puna. *Simposio de Geología Regional Argentina*. Vol. 2: 91-116.
- Vinante, D. y Alonso, R.N. 2006. Evapofacies del salar Hombre Muerto, Puna Argentina: distribución y génesis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61(2):286- 29.
- Viramonte, J.G., Alonso, R.N., Gutiérrez, R.V. y Argañaraz, R. 1984. Génesis del litio en salares de la Puna argentina. *IX Congreso Geológico Argentino*, Actas 3: 471-481.
- Warren, J.K. 1982. The hydrological setting, occurrence and significance of gypsum in late Quaternary salt lakes in South Australia. *Sedimentology*. 29: 609-637.
- Warren, J.K. 2006. *Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons*: Berlin, *Springer*, 1036 pp.
- Warren, J.K. 2016. *Evaporites. A Geological Compendium*. Second Edition. 1822 pp. Springer International Publishing ISBN 978-3-319-13511-3.
- Wardlaw, N.C. y Schwerdtner, W.M. 1966. Halite-anhydrite seasonal layers in the Middle Devonian Prairie Formation, Saskatchewan, Canada: *Geological Society of America*, Bulletin, v. 77, p. 331-342.
- Watson, A. 1985. Structure, chemistry and origins of gypsum crusts in southern Tunisia and the central Namib Desert: *Sedimentology*, v. 32: 855-875.
- Watson, A. 1988. Desert gypsum crusts as palaeoenvironmental indicators: a micropetrographic study of crusts from southern Tunisia and the central Namib Desert. *J. Arid Environ.* 15: 19-42.
- Yechieli, Y. y Wood, W. 2002. Hydrogeologic processes in saline systems: Playas, sabkhas, and saline lakes. *Earth-Science Reviews*. 58. 343-365.

Recibido: 11 de Octubre del 2018

Aceptado: 20 de Diciembre del 2018