

Ambientes Evaporíticos Continentales de Argentina

Ricardo N. ALONSO¹

Abstract: *CONTINENTAL EVAPORITIC ENVIRONMENTS OF ARGENTINA.* Continental evaporitic environments of Argentina are represented by Miocene facies from the Bolivian border to the Mendoza province as well as Quaternary deposits from Puna to Patagonia. Puna is considered as an "Evaporite Province" with salars deeply developed. Together with gypsum and halite occurs borate, which is an exclusive facies of this region. Puna evaporite sedimentation is registered between Middle Miocene to Recent. Along the Andes eastern belt, the Miocene rocks contains facies of gypsum and eventually halite. At least two main evaporitic events are recognized in the middle and in the late Miocene. Today it is possible to distinguish that large surfaces of the interior of the country are arid and has internal drainage. This situation is favorable to the formation of salt lakes and playas. So, we can recognize two main saline environments: a) Pampean (between Catamarca and Buenos Aires), and b) Patagonian. In general, shallow saline deposits, with sodium chloride and sulfate are presents. Salt exploitation during winter seasons is common to several of these environments.

Resúmen: *AMBIENTES EVAPORÍTICOS CONTINENTALES DE ARGENTINA.* En Argentina los ambientes evaporíticos están representados en las facies del Mioceno desde Mendoza hasta Bolivia y en el Cuaternario desde la Puna hasta la Patagonia. La Puna constituye de por sí una "provincia evaporítica" con salares desarrollados hasta niveles profundos y donde además de las evapofacies comunes de yeso y halita ocurren los boratos que la distinguen e identifican. En esa región se registra sedimentación evaporítica desde el Mioceno hasta la actualidad. En la faja andina se reconocen también evapofacies miocenas donde abunda el yeso y puntualmente alcanza el estado clorurado sódico. Al menos dos momentos evaporíticos son reconocidos para el Mioceno medio y superior. Durante el Cuaternario, puede verse que gran parte del territorio argentino es árido y endorreico lo que facilita la formación de lagunas salobres y salinas. Puede distinguirse a grandes rasgos un ambiente pampeano entre Catamarca y la provincia de Buenos Aires, ocupando gran parte del norte, centro y Cuyo; y luego hacia el sur un ambiente patagónico. Se trata en general de salinas someras, sin desarrollo hacia profundidad, que dejan una costra evaporítica superficial que da lugar a explotaciones de sal de cosecha.

Palabras clave: Evaporitas. Boratos. Cenozoico. Argentina

Key words: Evaporites. Borate. Cenozoic. Argentina.

Introducción

Los ambientes evaporíticos han recibido en general menos atención que otros ambientes sedimentarios en la literatura especializada del país. Los antecedentes históricos relacionados con las sales se remontan sin embargo a los propios indígenas del territorio argentino quienes comerciaron y guerrearón por esos productos. Cicatrices de explotación de sal de roca por parte de los indígenas, junto a las hachas de piedra utilizadas en la explotación minera, se encontraron en la F. Pozuelos en el salar de Pastos Grandes (Salta). En igual sentido fueron explotados los salares de la Puna para el intercambio comercial con los valles orientales. Esa caravannería de portadores de sal en animales todavía se mantiene viva. Asimismo, desde los primeros escritos coloniales encontramos referencias a la sal. Para los españoles, la sal no sólo era elemental en la alimentación sino que también fue

¹ UNSa-CONICET, Facultad de Ciencias Naturales. Buenos Aires N° 177, 4400-Salta, Argentina.
E-mail: rnalonso@uolsinectis.com.ar

utilizada ampliamente en la metalurgia de la plata. Tal vez la primera mención de un geólogo sobre el tema sea la del alemán Helms (1807) quien en su viaje desde Buenos Aires a Potosí, que realizara en 1788, señala: *“About seven miles from Tala (Salta) we passed the dry bed of a river, the southern bank of which was incrustated with a white substance, in taste and shape resembling common culinary salt; and from various other indications, we were led to conclude that there are large beds of fossil salt in this part of the country”* (p. 16).

Si bien la lista de autores que han trabajado en las evaporitas argentinas es importante, merecen destacarse los trabajos pioneros de Luciano Catalano en las cuencas con depósitos de boratos y de I. Rafael Cordini, en las cuencas con depósitos de cloruros y sulfatos.

En el ámbito mundial existe una vasta literatura relacionada con los ambientes evaporíticos. Excelentes síntesis se encuentran en los capítulos correspondientes a evaporitas en Pueyo (1991), Walker y James (1992), Reading (1996), Einsele (2000), Gutierrez Elorza (2001) y los trabajos allí citados. Sin embargo una obra moderna que cubre todos los aspectos del tema y tiene una amplia y actualizada bibliografía es el libro de Warren (1999).

1) Generalidades sobre los ambientes evaporíticos

1.1. Definiciones

Las evaporitas son sedimentos químicos precipitados a partir de salmueras. A diferencia de los sedimentos terrígenos clásticos que provienen de la destrucción de una roca madre y que son transportados hasta un ambiente deposicional -donde adquieren sus características faciales de acuerdo con las variaciones en el tamaño de los granos y sus estructuras sedimentarias- los sedimentos evaporíticos se originan dentro del propio ambiente deposicional por precipitación físico-química. Por ello, James y Kendall (1992) señalan que mientras los sedimentos terrígenos “se hacen” los evaporíticos “nacen”.

Las evaporitas fósiles y actuales pueden proveer información sobre el tipo de agua en que se formaron, la temperatura y salinidad de las salmueras así como el grado de aislamiento de la cuenca. Sin embargo a la hora de establecer modelos de sedimentación evaporítica debe tenerse en cuenta que: 1) La mayoría de los modelos primitivos se hicieron siguiendo un punto de vista químico y/o estuvieron basados en unos pocos ejemplos; 2) las evaporitas expuestas en afloramientos, en general escasas, están demasiado alteradas y los testigos de sondeos son muy limitados; 3) no hay comparación entre las espectaculares cuencas evaporíticas del pasado geológico con las actuales (las cuencas evaporíticas de Michigan (silúrica), Elk Point (devónica), Zechstein (Pérmica), Mediterránea (Mioceno) tienen tamaños decenas a centenares de veces más grandes que las actuales); 4) La distinción entre evaporitas continentales y marinas no siempre es obvia y su reconocimiento a veces resulta difícil al punto que muchas evaporitas ahora consideradas marinas pueden haber sido afectadas a un grado variable por afluencias no marinas; 5) los cambios en las condiciones deposicionales son rápidos, profundos, y comúnmente resultan en facies superimpuestas, haciendo dificultoso el reconocimiento del ambiente original; 6) en forma característica los nuevos ambientes reemplazan a los viejos con lo cual las facies parecerán caprichosas a la hora de interpretar depósitos pobremente preservados; y 7) las evaporitas son susceptibles de cambios completos post deposicionales que pueden remover los rasgos primarios. Así, después de su depositación, las evaporitas están sujetas a procesos diagenéticos tempranos que: a) alteran la mineralogía original y los rasgos sedimentarios hasta llegar a la obliteración de las características originales, y b) llevan a una completa remoción por disolución. De esta manera muchas evaporitas no son estrictamente precipitados primarios. Ellas son minerales diagenéticos (neocristales) emplazados dentro de otros sedimentos o son reemplazamientos diagenéticos de verdaderos precipitados primarios.

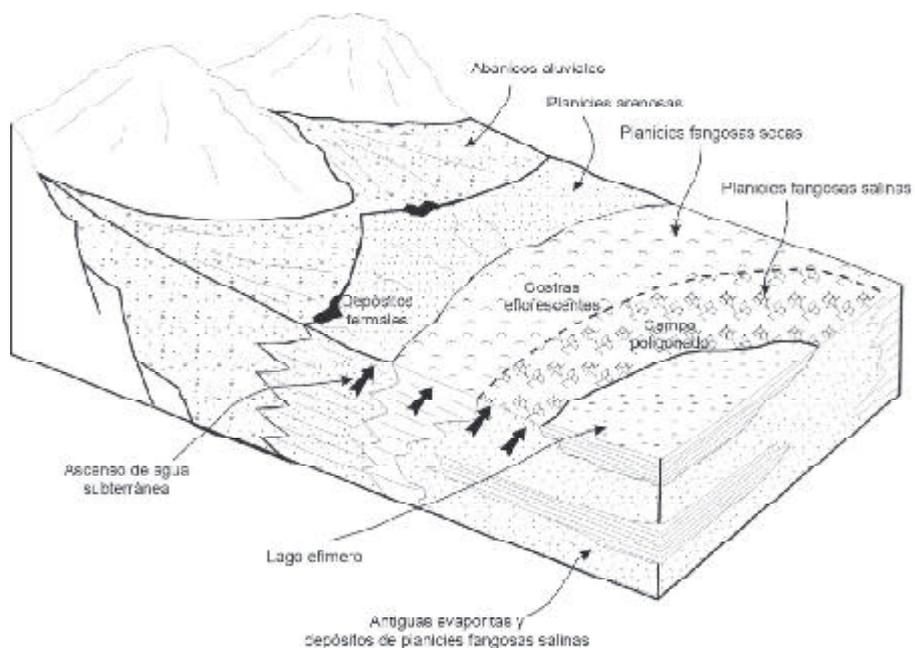


Fig. 1: Zonación de Ambientes en cuencas evaporíticas Continentales (modificado de Eugster and Hardie, 1978)

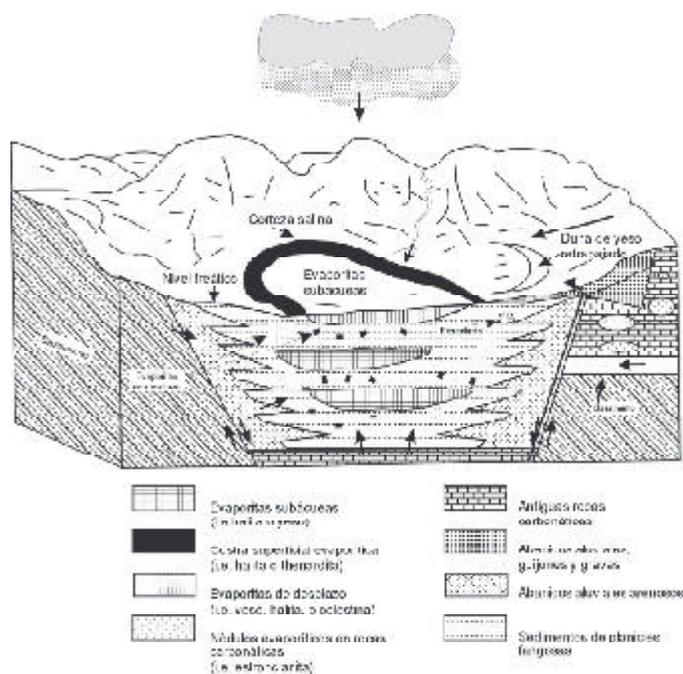


Fig. 2: Diagramas de ambientes depositacionales evaporíticos y las diferentes fuentes de agua subterránea (modificado de Rosen, 1994)

1.2. Marcos y Modelos

Las evaporitas sobre los continentes se forman en un amplio rango de marcos deposicionales desde suelos hasta ambientes lacustres. Los minerales evaporíticos pueden cristalizar en estos ambientes en: 1) la interfase aire-salmuera, 2) en la propia salmuera, 3) sobre el piso del cuerpo de agua evaporítico, 4) en sedimentos saturados de salmuera (evapocristales) o 5) como costras eflorescentes en los bordes de cuerpos evaporíticos. Orti-Cabo (1989) hizo un estudio detallado de la cristalografía y crecimiento de los minerales evaporíticos, en especial para yeso y halita.

El modelo básico de facies para evaporitas continentales es el de una cuenca cerrada con un nivel somero de agua subterránea y un ambiente de playa-lake más o menos centrado. Las evaporitas continentales están confinadas así a las partes centrales de esas cuencas particularmente en asociación con salares y playa-lake sumado a las llanuras salinas fangosas secas que las rodean. Esas áreas son las partes más bajas en una cuenca de drenaje y el ambiente se caracteriza por ser prácticamente horizontal y plano, con vegetación escasa a ausente y dominio de materiales de grano fino. La escasez biológica sumado a la capacidad química disolvente de los minerales salinos lleva a registros fósiles muy pobres en los ambientes evaporíticos.

Una cuenca cerrada típica entre cordones montañosos y a la sombra de las lluvias muestra el siguiente orden de subambientes desde el borde hacia el centro: 1) Abanicos aluviales coalescentes conformando un pie de monte o una rampa clástica con disminución gravitatoria del tamaño de los granos sedimentarios (alluvial fan); 2) llanura arenosa con formación de dunas y otras formas de acumulaciones eólicas (sand flat); 3) llanuras fangosas secas con eflorescencias salinas (dry mudflat); y 4) salar con ocasionales cuerpos salinos lacustres someros (salt pan). Una asociación de abanicos aluviales con depósitos de corrientes efímeros, sedimentos eólicos, capas rojas y carbonatos lacustres sugieren un origen no marino. Las variaciones al modelo facial básico están dadas por el clima, la composición y origen de las aguas subterráneas y el marco geológico. Ello también determina el tipo, cantidad y distribución de las evaporitas en los ambientes continentales (Kendall, 1992).

Las aguas superficiales y subterráneas someras se mueven radial y horizontalmente desde el marco rocoso hacia el centro de la cuenca, el cual a su vez marca el punto hidrológico más bajo de la depresión. Esto producirá un diseño concéntrico de salinidad creciente para dar finalmente en el centro de cuenca el clásico "bull-eye" de sedimentación evaporítica. Este se caracteriza por tener las facies más insolubles en su borde (carbonatos), pasando por las intermedias (yeso) y las solubles (halita) en el centro. Esto daría un modelo teórico ideal simétrico. Sin embargo cuando la parte más profunda del piso de la cuenca no está centralmente localizado o cuando las aguas subterráneas entran en la cubeta predominantemente desde un lado, este diseño ideal estará disturbado y el modelo se volverá asimétrico.

1.3. Clima y tectónica

El clima y la tectónica afectan profundamente la distribución de las evapofacies. Un análisis de ambientes evaporíticos antiguos y modernos indica que hubo condiciones alternantes de sequedad y humedad. En los periodos secos, regresivos, se producen evaporitas en las etapas de salares o playa-lake mientras que en los húmedos (transgresivos) hay un aumento de las facies de aguas dulces sin precipitación evaporítica. Esas variaciones entre condiciones más y menos áridas causan el reemplazamiento de los lagos perennes por salares o llanuras fangosas secas, los niveles de los lagos suben y bajan, las márgenes de los lagos se expanden y contraen, varía la cantidad de aporte de sedimentos clásticos y cambia la química del agua. Durante prolongados episodios de aridez, el nivel del agua subterránea puede estar tan bajo que los lagos salinos efímeros se secan, se convierten en llanuras fangosas secas y eventualmente pueden ser invadidos por arenas eólicas. En cambio, las etapas húmedas pueden estar marcadas por la parcial o total disolución de las sales previamente

formadas, por la depositación de conglomerados transgresivos, avance de los sedimentos de borde sobre las playas previas y la depositación de sedimentos lacustres no evaporíticos entre los cuales pueden encontrarse diatomitas y pelitas negras petrolíferas. Un basculamiento de los bloques tectónicos puede también hacer progradar las facies clásticas proximales gruesas hacia el centro de la cuenca. El incremento en el aporte de sedimentos, causado ya sea por tectonismo o cambios climáticos diluyen la acumulación evaporítica. De esta manera, las sales primarias son reemplazadas por fangos conteniendo evapocristales aislados (Kendall, 1992).

2) Ambientes evaporíticos continentales de Argentina

Evaporitas continentales anteriores al Neógeno son muy escasas y hasta dudosas en la R. Argentina. La rareza de ejemplos pre-terciarios puede reflejar la naturaleza efímera de muchas cuencas evaporíticas continentales y de evaporitas en el ambiente deposicional. Muchas evaporitas migran hacia arriba a la misma velocidad de la acreción sedimentaria y de esta manera no son acumulativas. Así, muchos ambientes evaporíticos no dejan registros en la forma de depósitos evaporíticos. Sin embargo su presencia anterior, puede ser deducida de la presencia de moldes de evapocristales y la modificación volumétrica de estructuras deposicionales entre otros aspectos que reflejan una situación evaporítica fantasmal.

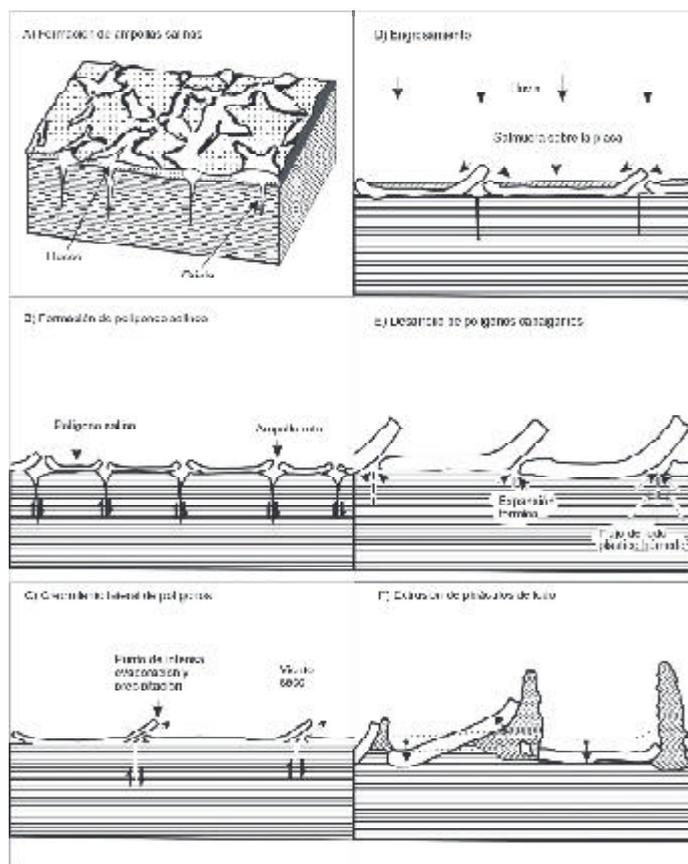


Fig. 3: Evolución de polígonos en la Costra Salina (según Gutierrez Elorza, 2001)

2.1. Evaporitas pre-neógenas

Los ejemplos de evaporitas pre-neógenas han sido discutidos por Marquillas y Salfity (1991). Se ha supuesto con reservas que la F. Arata del subsuelo de la cuenca de Macachin (porción austral de la cuenca chaco-paranense) integrada por sedimentos clásticos y yesíferos, constituye una parte de las facies regresivas permo-triásicas ocurridas en otras regiones del flanco atlántico sudamericano. En la región de las Sierras Transpampeanas y occidente de la cuenca de Paganzo, los sedimentos continentales triásicos –Grupo Agua de la Peña– tienen en su techo las capas rojas de la F. Los Colorados (Triásico tardío). Esta última se depositó en una planicie aluvial de paleoclima seco, en parte evaporítico, con baja densidad de vegetación e interfase definidamente oxidante. Su composición corresponde a areniscas de color rojo vivo, yesíferas, asociadas con pelitas y areniscas gruesas y conglomerados, mientras que su techo es discordante con capas rojas cretácicas (Bossi, 1971). El Cretácico superior del norte argentino tiene en la F. Las Curtiembres (S. Pirgua, G. Salta) facies de fangolitas rojas algo yesíferas. Los equivalentes en Bolivia presentan en cambio un desarrollo mayor de yeso y sal. Sin embargo los mayores volúmenes evaporíticos se registran en la F. Olmedo con potentes espesores de halita y más restringidos de yeso. La F. Mealla y la F. Lumbrera (Paleoceno-Eoceno inferior) son portadoras de niveles de yeso nodular, en algunos casos alabastrinos.

2.2. Provincia Evaporítica Puna

El desarrollo de los ambientes evaporíticos neógenos y cuaternarios de la Puna tiene características particulares en su quimismo y evolución que los diferencian del resto de los ambientes evaporíticos argentinos. Las evaporitas de la Puna tienen sí filiación genética con otras de los Andes Centrales de Bolivia, Chile y Perú, ligadas a un mismo marco volcánogénico. La presencia de facies de boratos tanto en el Neógeno como en el Cuaternario de la Puna es la principal clave distintiva. La evolución del Terciario de la Puna registra dos etapas bien diferenciadas. Una primera etapa paleógena (Eoceno), de antepaís del retroarco, con cuencas de drenaje exorreico atlántico, en clima cálido y húmedo, sin formación de evaporitas y una segunda etapa neógena (Mioceno-Plioceno), con cuencas áridas endorreicas de intra-arco/intra-plateau donde se desarrolló una profusa sedimentación volcánoclastica y evaporítica. La altura de la barrera orográfica en el oriente de la Puna, con altitudes que decrecen de sur a norte y que producen el frenado de los vientos húmedos del anticiclón atlántico, fue decisiva en el grado de aridización y se mantuvo desde el Neógeno hasta la actualidad. La humedad de la Puna decrece de norte a sur y de este a oeste, con valores máximos de 350 mm en La Quiaca y valores mínimos de menos de 50 mm en el sector sudoccidental (Arizaro, Antofalla). Un análisis facial de las evaporitas del Neógeno a escala de toda la Puna fue realizado por Alonso et al. (1991). Allí se identificaron varios depocentros de sedimentación evaporítica que mostraban desde facies con dominio de carbonatos lacustres en el norte (cuenca de San Juan de Oro) hasta facies con dominio de halita en el sur (Arizaro-Antofalla). Entre ambos extremos aparecen facies boratíferas (Loma Blanca) y yesífero-boratíferas (Sijes, Tincalayu). En todos los casos la sedimentación evaporítica mayor se encuentra fuertemente acotada entre los 7 y 5 Ma, aunque se conocen depocentros evaporíticos a partir de aproximadamente los 15 Ma.

2.2.a. Depocentros evaporíticos del Mioceno medio

Entre los depocentros evaporíticos más antiguos se tienen a Farallón Catal en el salar del Hombre Muerto, Quebrada Seca en Santa Rosa de los Pastos Grandes, Siete Curvas, entre el salar de Pocitos y la sierra de Macón, y Tolar Grande en el borde oriental del salar Arizaro.

i) Farallón Catal: En el centro del salar del Hombre Muerto (Salta-Catamarca) aflora una potente secuencia de capas rojas de unos 5.000 m de espesor que hacia el techo culmina en ignimbritas y conglomerados que suman unos 1000 m de potencia. Una datación en la base dio 15.0 ± 2.4 Ma y

otra en el techo 7.2 ± 1.4 Ma, lo que indica una edad Mioceno medio a superior para el conjunto. En la parte media de la sección clásica yace una evaporación yesífera y hacia el techo ocurren carbonatos lacustres. Hacia el sur de Farallón Catal se han identificado recientemente capas de halita sincrónicas con el yeso. Ello estaría indicando una cuenca con facies clásticas hacia el norte y oeste y un desarrollo evaporítico hacia el este y sur, con los términos clorurados de centro de cuenca hacia el sur. La sedimentación yesífero-halítica de Farallón Catal, se habría desarrollado entre los 14 y 13 Ma aproximadamente (Vandervoort et al., 1995). Este evento evaporítico precede al que ocurrirá en un espacio geográfico próximo y que dará lugar a la sedimentación con participación boratífera de Tincalayu en el Mioceno superior; **ii) Quebrada Seca:** A 5 km kilómetros al noreste del pueblito de Santa Rosa de los Pastos Grandes aflora una secuencia neógena de capas rojas que incluye una sección de halita

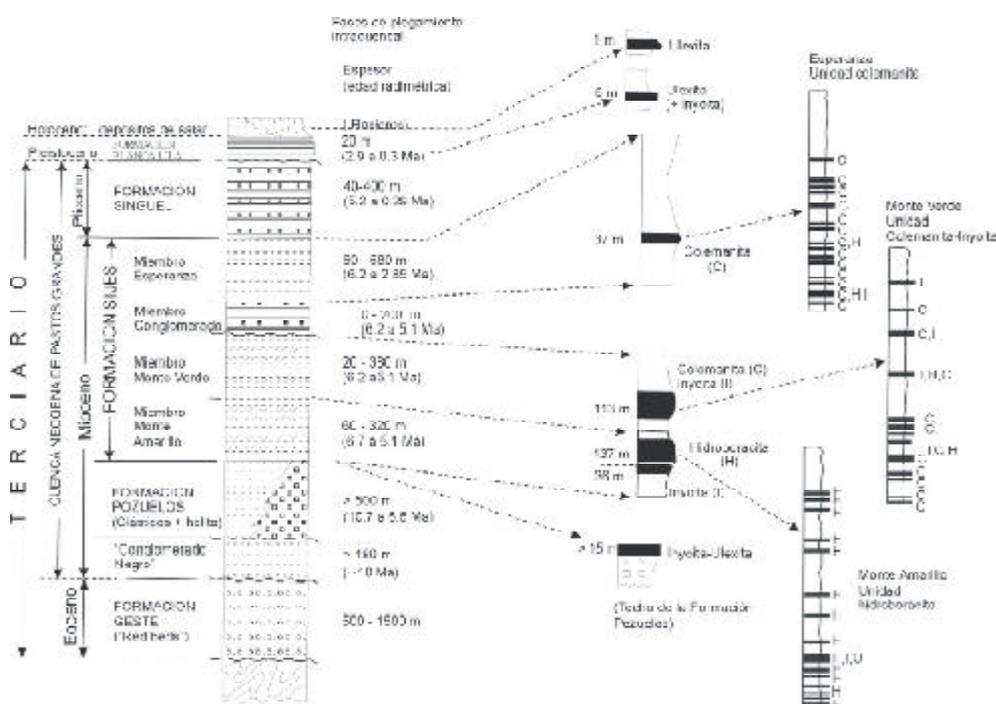


Fig. 4: Evaporaciones en la cuenca de Pastos Grandes, Puna Salteña (Orti Cabo y Alonso, 2000)

y yeso. Por su composición litológica fue atribuida erróneamente a la F. Sijes (Alonso, 1986). Posteriormente, una datación de Vandervoort et al. (1995) de 12.4 ± 0.2 Ma confirmó que se trataba de un ciclo evaporítico más antiguo. Gutiérrez (2000) definió la F. Barreal Seco para incluir esta potente secuencia de unos 2000 m de espesor que se inicia con facies de abanico aluvial a las que suceden la evaporación halítica y yesífera y finalmente pelitas y tobas. La formación yace en discordancia entre dos ignimbritas de 17 y 10 Ma aproximadamente. El conjunto indica la ubicación de un depocentro evaporítico más antiguo que el de Pastos Grandes, ubicado más al sur, de edad Mioceno superior y esencialmente boratífero; **iii) Siete Curvas:** Entre el salar del Pocitos al este y la sierra de Macón al oeste se extienden cientos de kilómetros cuadrados de capas rojas pelítico yesíferas en delgados niveles alternantes. Se han reportado bancos de yeso alabastrino de hasta 0,60 m los que fueron explotados como cantera Punta Negra. Una datación en el tope de la secuencia dio 10.8 ± 2 Ma (Alonso et al., 1991); **iv) Tolar Grande:** Al norte y sur de Tolar Grande, siguiendo todo el margen

oriental del salar de Arizaro, se distribuyen cientos de kilómetros cuadrados de capas rojas que albergan potentes secuencias de halita y yeso. Vandervoort et al (1995) obtuvieron una edad de 11.5 ± 0.2 Ma para esa secuencia. Sobre la base de los rangos de edades, los depocentros de Farallón Catal, Quebrada Seca, Siete Curvas y Tolar Grande serían relativamente contemporáneos y ubicados todos ellos en el Mioceno medio, **v) Antofalla:** En el borde oriental del salar de Antofalla se extiende una potente secuencia sedimentaria neógena que incluye uno de los llamados megacuerpos salinos de la Puna Austral (Alonso et al, 1984, 1991). Adelman y Gorler (1999) definieron la F. Juncalito para incorporar dicha secuencia. La misma está integrada por capas rojas, cenizas volcánicas y espesos paquetes de halita, yeso y escasos boratos diseminados en el conjunto. La F. Juncalito fue datada en 7.9 ± 0.3 Ma (Kraemer et al, 1999). Los autores citados mencionan un ambiente de playa con diferentes subambientes tales como llanuras fangosas, llanuras arenosas, lagos y salares. Las capas de halita varían desde intercalaciones milimétricas a decimétricas hasta alcanzar potencias de halita masiva de 50 m de espesor en el centro de cuenca. Un estudio reciente de Voss (2002) aporta nuevas edades radimétricas y realiza comparaciones, correlaciones y homologaciones de las unidades estratigráficas salinas allí aflorantes con las de la cuenca de Pastos Grandes.

2.2.b. Depocentros evaporíticos del Mioceno superior

Los depocentros evaporíticos del Mioceno superior están muy desarrollados en la Puna austral y a diferencia de los anteriores también están presentes en la Puna norte. Entre ellos se tienen a: **i) Tincalayu:** Constituye un depocentro evaporítico del Mioceno superior ubicado en la región noroeste del salar de Hombre Muerto. Allí se tienen capas rojas que albergan una evaporitas halítica dominante sobre la cual yace un cuerpo de bórax que grada lateralmente hacia yeso-anhidrita. El bórax se explota y constituye el principal depósito en su tipo en el hemisferio sur. Una edad en el manto boratífero dio 5.86 ± 0.14 Ma (Alonso, 1986). El ambiente fue el de lagos salados con fuerte aporte hidrotermal, en una cuenca cerrada con clima árido y volcanismo regional activo. **ii) Pastos Grandes:** En el medio de la depresión de Pastos Grandes se tiene una sierra longitudinal que alberga una potente secuencia neógena (aprox. 5000 m de espesor). Está compuesta de base a techo por la F. Pozuelos, F. Sijes y F. Singuel, esta última de naturaleza conglomerádica. La F. Pozuelos, con una edad de 7.6 ± 1.1 Ma, muestra un perfecto desarrollo de facies de sur a norte desde abanicos aluviales, pasando por una llanura arenosa y fangosa hasta terminar en un depocentro evaporítico con dominio de halita, yeso y escasos boratos. La F. Sijes, superpuesta, con edades entre 7 y 5 Ma, consiste de varios miembros boratíferos intercalados con yeso y muy escasos carbonatos lacustres. Entre los boratos destaca la hidroboracita que representa las principales reservas de ese mineral a nivel mundial (Alonso, 1986). Orti Cabo y Alonso (2000) realizaron un estudio evapofacial de la F. Sijes. A escala ambiental se pudo reconstruir un ciclo que se inicia con: a) capas rojas depositadas en una llanura fangosa seca; b) cenagales yesíferos donde se depositan gipsarenitas masivas de grano fino; c) lagos someros con precipitación de gipsarenitas laminadas; d) playas de exposición subaérea con anhidrita nodular desplazante; e) lagos boratíferos someros con hidroboracita laminada a bandeada y f) playa lake con formación de hidroboracita nodular, globular, intraclástica y brechada. Se observó que la hidroboracita precipita cuando hay un empobrecimiento notable de sulfatos en la salmuera. Entre los cambios de facies que pudieron observarse se encuentra el pasaje desde carbonatos lacustres hacia yeso y finalmente boratos. **iii) Cauchari:** Una faja de capas rojas neógenas se extiende a lo largo del borde oriental del salar de Cauchari y parte de Olaroz. Carbonatos lacustres y yeso están presentes en forma generalizada. En el extremo nordeste del salar de Cauchari, en el cerro Negro, se observan coladas de basalto que cubren capas rojas con intercalaciones lacustres verdes, donde además de yeso y travertinos, se encuentran bancos de halita. También se encontró en esta secuencia los boratos colemanita y ulexita. **iv) Loma Blanca:** Loma Blanca y Morro Blanco representan sedimentitas lacustres de una

superficies extensas en los bordes de los salares y cambian facialmente hacia los niveles de nódulos o papas. En algunos salares se ha observado una marcada zonación desde barras hacia papas (Alonso y Gutierrez, 1984). Esta zonación está directamente relacionada con el aporte de boro desde las fuentes. En general la sedimentación boratífera proviene del aporte de fuentes termales ubicadas a lo largo de las fallas que limitan los salares. Esto es muy notable en los salares de la Puna Argentina y la relación es menos clara en los salares del CVZ y del Altiplano boliviano y peruano. La zonación que se observa desde los bordes hacia el centro es: carbonatos (representados por travertinos), sulfatos (yeso), boratos (ulexita y/o bórax) y cloruros (halita). En los salares en que aumenta la presencia de sulfatos (mirabilita, yeso) disminuyen los boratos hasta volverse inexistentes como ocurre en los salares de Pocitos y salar de Río Grande (Salta). Cuando aumentan los contenidos de boratos (y de boro en las salmueras) aumenta también el contenido de litio, al punto que los salares con sedimentación boratífera son también aquellos con valores anómalos y hasta económicos de litio (ej. Hombre Muerto, Rincón). De acuerdo al tipo de cuerpo de agua y calidad de las fuentes termales serán las presentaciones de los boratos. Se tienen entonces capas macizas (cuando el ambiente fue de salar) a intercalaciones periódicas de ulexita y clásticos finos (en ambientes lacustres). Los salares de la Puna tuvieron etapas lacustres durante el Pleistoceno como lo indican las terrazas y los depósitos de diatomitas (las diatomeas se habrían desarrollado con mayor eficacia ante la presencia de boro que tiene efecto positivo en su crecimiento). En algunos salares la facies boratífera ocupa un porcentaje mayor que el resto de las facies clásticas y evaporíticas y pueden considerarse como verdaderos salares de sedimentación boratífera (ej. Salar de Diablillos). Los boratos son un ejemplo de sedimentación químico-evaporítica en ambientes continentales áridos a semiáridos con volcanismo activo, cuya presencia debe ser considerada en los análisis de facies y en los modelos de deposición de las cuencas andinas de intra-arco/intra-plateau.

2.3. Neógeno evaporítico de la Faja Andina

El Neógeno fue un periodo de generación evaporítica importante en el territorio argentino. Esto es más claro en la faja andina entre la frontera con Bolivia y Mendoza. La evapofacies dominante es la yesífera y en menor proporción se conocen episodios halíticos. Durante el Mioceno se tienen dos periodos marcados de generación evaporítica. El primero de edad Mioceno medio (14-12 Ma) está relacionado con lagos someros formados al tiempo de la ingresión marina paranense, mientras que el segundo es de edad Mioceno superior (7-5 Ma). Ambos tienen buena representación en el oeste argentino. La F. Anta (Subgrupo Metán, Grupo Orán), de edad Mioceno medio, se compone principalmente por pelitas y vaques muy finos rojizos, con intercalaciones de bancos de pelitas verdes. Se caracteriza por presentar importantes y múltiples niveles de yeso macizo y nodular en bancos que alcanzan hasta 2 m de potencia. Estos son conspicuos en el Departamento Rosario de la Frontera (Salta) sobre la margen izquierda del río Horcones. Un análisis facial desde el frente orogénico ubicado hacia el borde de la Puna en dirección al este, permite ver la progradación de abanicos aluviales sobre facies fluviales distales y campos de dunas (Starck y Vergani, 1996). Hacia el este y coincidente con un pico eustático que produjo el ingreso del mar paranense, asociado a un generalizado clima árido a semiárido, se mantenían ambientes de evaporación con dominio sulfatífero, que corresponderían a barreales salinos, lagos salados efímeros, playa-lakes hasta sabkhas. Una situación similar es válida para la F. Río Salí en la provincia de Tucumán. Bossi et al (1999) sostienen que las facies presentes en esta formación corresponden a un cuerpo lacustre transgresivo, con facies costeras y de lago abierto (miembro inferior), seguido por facies de sabkha yesífero (miembro medio) y culmina en facies de barreales con sales de sodio (miembro superior). Esas facies halíticas dan lugar a acuíferos sobresaturados en cloruro de sodio los cuales son bombeados y explotados para la obtención de sal de mesa (Bortolotti, 1999). Además, correlacionan la F. Río Salí con las facies



Fig. 7: Vista de un clásico ambiente evaporítico andino (Salinas Grandes, Puna Salto-Jujeña).

lacustres superiores transgresivas de la Fm. San José con la cual presentan similitudes paleontológicas. Facies evaporíticas, pero de edad Mioceno superior, se encuentran en los valles de Santa María y Cajón. El Miembro El Jarillal de la F. Chiquimil en el sector norte del valle de Santa María tiene carácter netamente hipersalino con ritmitas de yeso-halita (Bossi et al, 1999). Sería a su vez correlacionable con la Aloformación Playa del Zorro en el valle del Cajón (Bossi et al, 1999). Las edades radiométricas de estas unidades (5-7 Ma) las hacen correlacionables con formaciones fuertemente evaporíticas de la Puna (F. Pozuelos y F. Sijes). También pertenecientes al Mioceno superior y formadas en un clima árido con contenido evaporítico están la F. Salicas en el Bolsón de Pipanaco y la F. Los Aparejos y F. Tamberías en el Bolsón de Fiambalá (Bossi et al, 1999). En el flanco oriental del cordón de Ancasti, Aceñolaza y Toselli (1977) definieron la F. Portillo, una sucesión de areniscas y limolitas amarillentas a pardo rojizas con bancos de yeso. El yeso forma "bochas" de alabastro y de acuerdo a los autores citados los bancos de yeso tienen una notable extensión lateral y prácticamente ellos constituyen el elemento más característico de esta unidad. La presencia de esa conspicua facies yesífera permitiría correlacionarla con la F. Chivatos en la zona de El Chamental y Sierra Brava (La Rioja) de acuerdo con Aceñolaza y Toselli (1977). La F. Río Mañero, que aflora en el río homónimo en La Rioja, está representada por limolitas y arcilitas interestratificadas con bancos de yeso que incrementan hacia el tope de la secuencia, junto con la presencia de areniscas medianas, en secuencias que culminan con limolitas. Hacia los términos medios a superiores, se presenta una importante participación tobácea asociada a limolitas, arcilitas con participación de yeso. Culmina con arcilitas, limolitas y areniscas finas (Malizzia y Villanueva García, 1984). Muestran una gradación de ambientes que involucran facies lacustres y de planicie de inundación, playa lake y facies de prodelta (Malizzia y Villanueva García, 1984). Estudios geocronológicos permitieron obtener dataciones de tobas (trazas de fisión) de 15 ± 1.2 Ma y 9.6 ± 1.5 Ma. La F. Las Mulitas, del Mioceno superior, aflora al oeste de San Luis y es portadora de importante bancos de yeso nodular, macizo y selenítico que en algunos casos se

explota. La F. Río Jachal, del Mioceno superior, tiene varios niveles de yeso. En el Valle del Cura (San Juan) aflora una secuencia conocida informalmente como "Serie del Yeso", que está compuesta por una sección conglomerádica inferior (100 m) y una sección yesífera superior (200 m), portadora de una importante asociación palinológica del Mioceno medio (Barreda et al., 1998). La presencia de cuerpos de agua sometidos a sucesivos eventos de expansión y contracción, en condiciones ambientales cálidas y relativamente áridas, es el marco paleoambiental deducido por los autores citados. Esta formación sería correlacionable con la F. Chinchas, que aflora al sur de la provincia de San Juan, en la cual se encontraron elementos paleontológicos que corresponderían a la ingresión marina paranense a través del "Brazo del Espinacito" (Pérez et al., 1999). En el oeste de Mendoza, sobre el límite con Chile, se encuentran afloramientos correspondientes a la F. Papal, donde se reconocen potentes secuencias de yeso y que serían el resultado en parte del ingreso del mar paranense a través del "Brazo del Río Grande" (Pérez et al., 1999). Un estudio integral reciente sobre el Neógeno de Argentina corresponde a Aceñolaza y Herbst (2000).

2.4. Ambientes evaporíticos cuaternarios extra-puneños

2.4.a. Formación *Hernandarias*

Grandes pantanos y playas se desarrollaron durante el Pleistoceno en el noreste de Argentina y cubren un área de 25.000 km cuadrados en Entre Ríos (Iriondo, 1989). La formación consta de una unidad inferior de pelitas gris verdosas masivas y plásticas, portadora en la base de yeso en nódulos y concreciones, la que se formó en un ambiente anóxico con niveles de agua casi permanentes mientras que la parte superior está compuesta por sedimentos eólicos pardo rojizos y presencia de yeso nodular y en cristales sueltos. Nódulos de carbonatos y de manganeso aparecen en toda la columna. La evapofacies yesífera ha sido relacionada con procesos de playa producto de la aridización y desecación de amplias regiones pantanosas. Schalamuck et al (1999) consideran que las concentraciones evaporíticas se deben a la lixiviación de la F. Paraná (Miembro inferior) y posterior evaporación en cuencas de gran extensión areal y escasa profundidad.

2.4.b. Ambiente *pampeano*

Informalmente, agrupamos bajo esta denominación amplia al conjunto de depósitos evaporíticos cuaternarios que se extienden desde el borde de la Puna, con Laguna Verde o el salar de Pipanaco, y que termina en las salinas del sur bonaerense en el límite con la Patagonia. Se hace una síntesis somera de algunos de ellos.

El Salar de Pipanaco se ubica entre las sierras de Velasco y Ambato. La superficie de la playa salina está cubierta por una tenue capa de sales (3-4 cm). Las evaporitas en estado pulvurulento son cloruro de sodio, sulfato de sodio y sales de magnesio y calcio. Se originan con el agua que asciende por capilaridad al estar el nivel freático cerca de la superficie. Al evaporarse las aguas salobres dejan un residuo que impregna los sedimentos de playa. Las evaporitas también se forman con las aguas de creciente estancadas, las que solubilizan las sales ya existentes y luego se evaporan formando un depósito salino más concentrado (Sosic, 1973). Salinas Grandes es una extensa cuenca de unos 4.700 km cuadrados que abarca parte de Córdoba, Catamarca y La Rioja, en el ambiente geológico de Sierras Pampeanas. Estas forman parte de un conjunto de ambientes salinos de gran extensión que comprenden las salinas de Ambargasta, que ocupan el centro de la depresión tectónica que separa a la sierra homónima de la de Guasayán y también las salinas de San Bernardo, extremo septentrional de las Salinas Grandes, aisladas tectónicamente y ubicadas entre la sierra de Guasayan y la localidad de Recreo. Un análisis de los controles hidroquímicos en aguas y salmueras de las Salinas Grandes fue realizado por Dargám y Depetris (1995). Salina La Antigua, es un ambiente con eflorescencias someras de cloruros, de unos 30 km de longitud y se ubica al este de la sierra Brava en La Rioja.

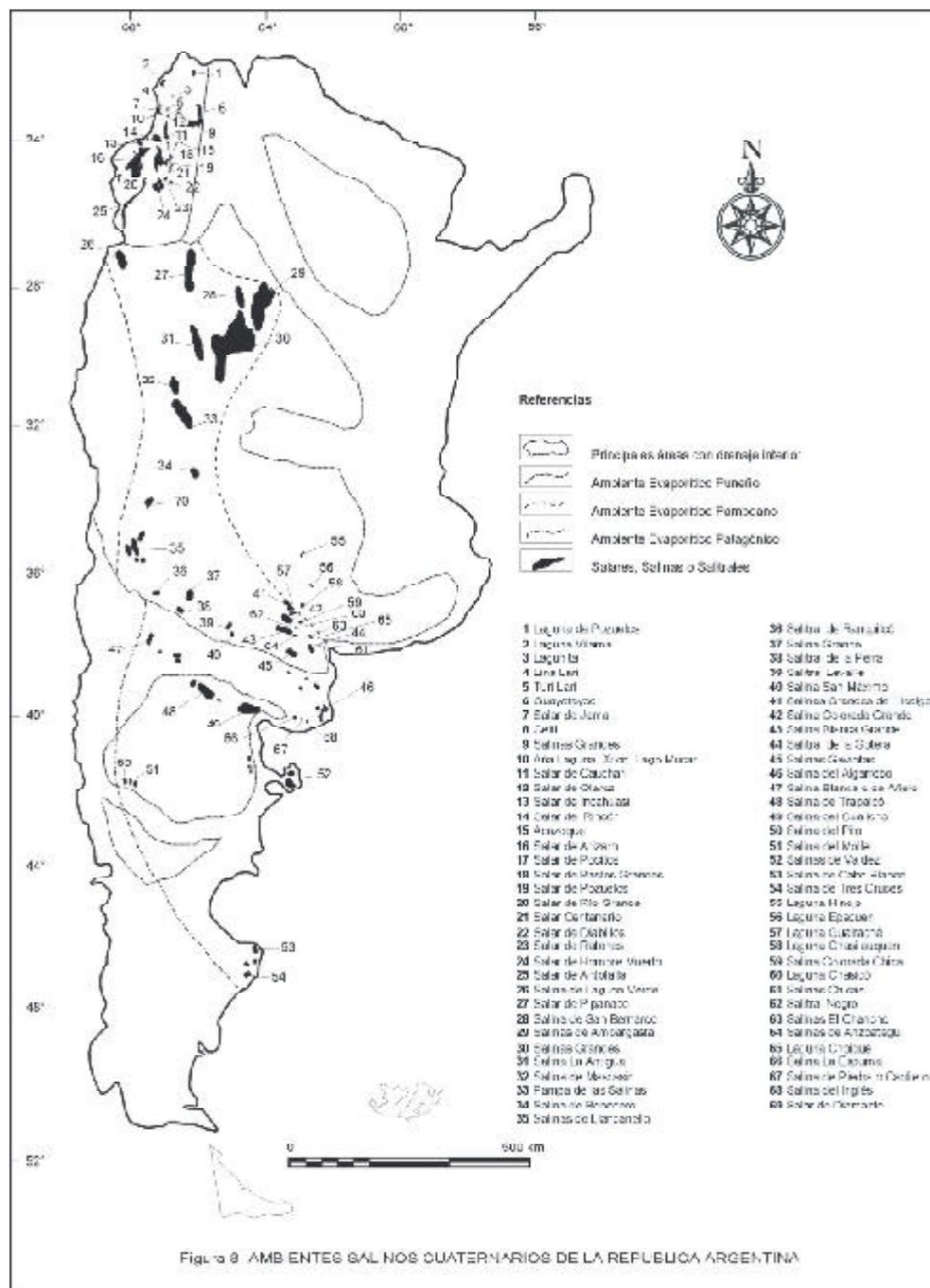


Fig. 8: Ambientes Salinos Cuaternarios de la República Argentina

Salinas de Mascasín y Pampa de las Salinas están consideradas como parte de una misma depresión tectónica entre las sierras de Las Minas y de las Huertas, próximo al límite entre Mendoza y San Juan, alcanzando una longitud de unos 80 km y un ancho máximo de 25 kilómetros. El depósito muestra

una costra pulvurulenta salina milimétrica desarrollada sobre arenas finas y arcillas castaño claras a rojizas. En el borde oeste se llegan a formar algunas lagunas someras que al desecarse dejan una costra de sal común de 2 a 5 cm de espesor (Marcos, 1999). La salina de Bebedero en San Luis ha sido uno de los ambientes más estudiados por la calidad de la sal que allí se explota. Con 15 km de longitud y un ancho promedio de 5 km, ocupa el depocentro de la cuenca de Beazley. Se han reconocido distintos subambientes que desde este a oeste son: a) costa o borde, con varios niveles lacustres de terrazas antiguas, y vegetación halófila en parches con sedimentos arenosos; b) playa distal con sedimentos poco salinizados y mucha materia orgánica; c) playa proximal con terrenos muy salinizados donde abundan las espumas de resaca y d) depocentro salino con material económico explotable. La Salina del Diamante, se ubica a 50 km al oeste de San Rafael (Mendoza). Es una laguna temporaria ubicada en una cuenca cerrada con geología de basamento carbonífero. Se obtiene sal de cosecha en la temporada seca. Se inunda durante el verano.

Depósitos de yeso del Holoceno inferior depositados en una sabkha continental fueron descriptos por Dangavs y Blasi (2002) en el NE de la provincia de Buenos Aires.

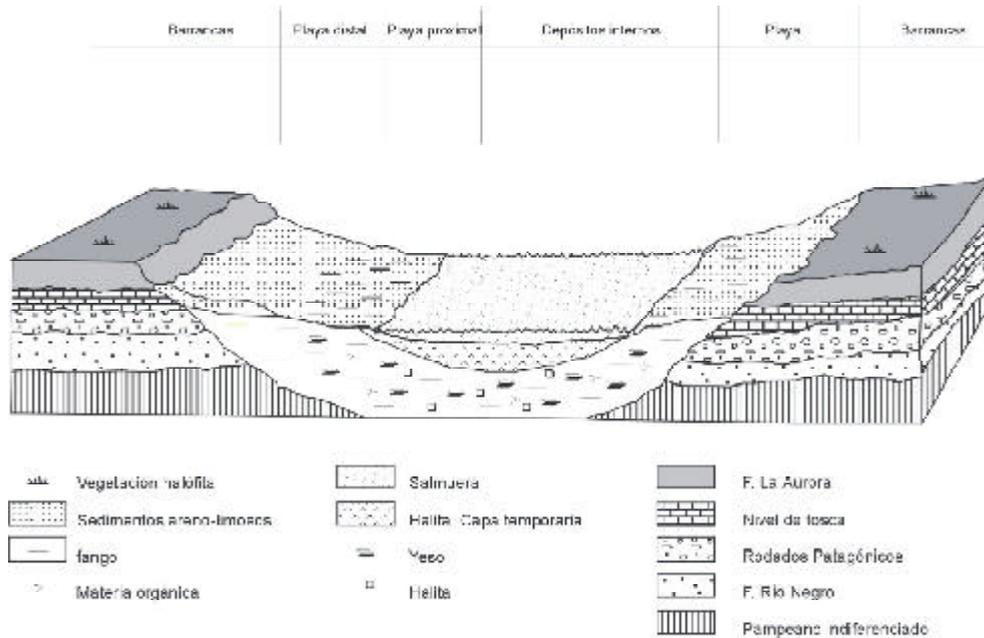


Fig. 9: Block diagrama ilustrativo de una salina típica de la región pampeana (tomado de Schalamuk et al. 1998)

2.4.c. Ambiente patagónico

Acumulaciones de evaporitas, especialmente cloruros y sulfato de sodio, se encuentran en numerosas depresiones en el ambiente patagónico (e.g., salina del Algarrobo, salina Blanca, salina de Trapalcó, salina del Gualicho, salina del Pito, salina del Molle, salina La Espuma, salina La Piedra, salina del Inglés, salinas de Valdez, entre otras).

El Bajo del Gualicho y las salinas de la península de Valdés, todas ellas por debajo del nivel del mar, fueron estudiadas en detalle por Bordtkorb (1982, 1999 a,b). El ambiente en general es árido y ventoso, con escasas precipitaciones, notables amplitudes térmicas diarias, fuerte evaporación y vegetación de tipo estepario. Bajo del Gualicho es un cuerpo salino de 160 kilómetros cuadrados,

alimentado por aguas continentales, que se encuentra activo con renovación anual de sales. Cuenta con grandes reservas de sal común y reservas importantes de sulfato de sodio (Brodtkorb, 1999^a).

En el interior de la península de Valdés se encuentran las salinas Grande y Chica en una depresión de unos 230 kilómetros cuadrados. Se trata de bajos barrocos con un cuerpo lagunar efímero. Constan de evapofacies de yeso y sulfato de sodio (glauberita) y un depocentro con cloruro de sodio del cual se extrae sal común en alguna época del año (Brodtkorb, 1999^b).

Agradecimientos: El presente trabajo se enmarca en las investigaciones que el suscripto desarrolla en el CONICET y CIUNSA. Se agradece el apoyo económico del Programa SFB 267 y del Dr. Manfred Strecker (U. de Potsdam, Alemania). Además se contó con la colaboración de Walter Rojas, Teresa Jordan, Teresita Ruiz, Graciela Quiroga, Sonia Romero de Belamendia, Jorge Rusansky, Víctor Ramos, Gilberto Aceñolaza y Gerardo Bossi en distintas etapas de este trabajo.

Referencias

- Aceñolaza, F.G. y Herbst, R., 2000. El Neógeno de Argentina. *INSUGEO, Serie Correlación Geológica* 14, 290 p. Tucumán
- Aceñolaza, F.G. y Toselli, A., 1977. Esquema geológico de la sierra de Ancasti, Catamarca. *Acta Geológica Lilloana*, 14:233-259. Tucumán.
- Alonso, R.N., 1986. Ocurrencia, posición estratigráfica y génesis de los depósitos de boratos de la Puna Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Salta, 196 p. Salta.
- Alonso, R., 1991. *Evaporitas Neógenas de los Andes Centrales*. In J.J. Pueyo-Mur «Genesis de formaciones evaporíticas: modelos andinos e ibéricos». Universidad de Barcelona, capítulo 5, p. 267-332. Barcelona.
- Alonso, R.N., 1995. *Diccionario Minero. Con más de 2.500 voces del habla de los mineros de Iberoamérica*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), 263 p. Madrid.
- Alonso, R. y Gutierrez, R., 1984. Zonación de ulexita en los salares de la Puna Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 39(1-2):52-57. Buenos Aires
- Alonso, R., Gutierrez, R. y Viramonte, J., 1984. Megacuerpos salinos cenozoicos de la Puna Argentina. *Actas 9º Congreso Geológico Argentino*, Bariloche, Actas 1:25-42. Buenos Aires
- Alonso, R., Jordan, T., Tabbutt, K. y Vandervoort, D., 1991. Giant Evaporite Belts of the Neogene Central Andes. *Geology*, 19: 401- 404.
- Barreda, V.D., Gutierrez, P.R., y Limarino, C.O., 1998. Edad y paleoambiente de la "serie del yeso", valle del Cura, provincia de San Juan: evidencias palinológicas. *Ameghiniana* 35 (3): 321-335.
- Bortolotti, P., 1999. Yacimiento de salmuera de El Timbó (Tucumán). En: Recursos Minerales de la R. Argentina (Ed. E. Zappettini), *Instituto de Geología y Recursos Minerales Segemar, Anales* 35: 1927-1931. Buenos Aires.
- Bossi, G.E., 1971. Análisis de la cuenca de Ischigualasto-Ischichuca. *1º Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica*, 2:611-626. Madrid
- Bossi, G.E., Muruaga, C.M. y Gavriloff, I.J.C., 1999. Sierras Pampeanas. *Velatorio del 14º Congreso Geológico Argentino*, 1:329-360. Salta
- Brodtkorb, A., 1982. Some Sodium Chloride Deposits from Patagonia, Argentina. *5th International Symposium on Salt*, 31-39. Northern Ohio Geological Society, Ohio.
- Brodtkorb, A., 1999a. La salina El Gualicho, Río Negro. En: Recursos Minerales de la R. Argentina (Ed. E. Zappettini), *Instituto de Geología y Recursos Minerales Segemar, Anales* 35: 1963-1970. Buenos Aires.
- Brodtkorb, A., 1999b. Salinas Grande y Chica de la península de Valdés, Chubut. En: Recursos Minerales de la R. Argentina (Ed. E. Zappettini), *Instituto de Geología y Recursos Minerales Segemar, Anales* 35: 1971-1976. Buenos Aires.
- Dangavs, N.V. y Blasi, A.M., 2002. Los depósitos de yeso intrasedimentario del arroyo El Siasgo, partidos de Monte y General Paz, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 57 (3): 315-327. Buenos Aires.
- Dargam, R.M. y Depetris, P.J., 1995. Mecanismos de control hidroquímico de aguas y salmueras de las Salinas Grandes de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 50 (1-4):87-102. Buenos Aires.
- Einsle, G., *Sedimentary basins*, Springer, 792 p. Berlin
- Eugster, H.P. & L.A. Hardie, 1978. Saline lakes. En: Lerman, A. ed., *Lakes: Chemistry, Geology, Physics*, Springer-Verlag, Nueva York, 237-293.
- Gutierrez Elorza, M., 2001. Geomorfología climática. Ed. Omega, 642 p. Barcelona
- Gutierrez, P., Barreda, V., Troilo, L., Limarino, C. y Romero, E., 1997. Hallazgo de una asociación palinológica miocena en la "Serie del Yeso", Valle del Cura, San Juan. *Resúmenes 10º Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología*, 24.

- Gutierrez, W., 2000. *Geología del Neógeno de la Quebrada Seca, Cuenca de Pastos Grandes, Puna Salteña*. Tesis Profesional. Inédito. Universidad Nacional de Salta, 54p. Salta
- Helms, A.Z., 1807. *Travels from Buenos Ayres by Potosi, to Lima*. Printed for Richard Phillips. 92 p., London
- Hardie, L.A., Smoot, J.P. y H.P. Eugster, 1978. Saline lakes and their deposits: a sedimentological approach. En: Matter, A. y Tucker, M. eds.. *Modern and Ancient Lake Sediments. International Association of Sedimentologists, Special Publication, 2: 7-41.*
- Iriondo, M., 1989. Quaternary lakes of Argentina. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 70:81-88. Elsevier
- James, N.P. y Kendall, A.C., 1992. Introduction to carbonate and evaporite facies model. In: R.G. Walker and N.P. James, eds., *Facies Models. Geological Association of Canada*, 265-275.
- Kendall, A. C., 1984. Evaporites: In Walker, R. G. ed. *Facies Models*. 2nd ed., *Geoscience Canada Reprint Series*, 259-296.
- Kendall, A.C., 1988. Aspects of evaporite basin stratigraphy, in Schreiber, B.C., ed., *Evaporites and hydrocarbons* New York, Columbia University Press, 1165 pp.
- Kendall, A.C., 1992. Evaporites. In *Facies Models, Response to sea level changes*. Walker R.G. & James N.P. eds.. Geological Association of Canada, 19: 375-409.
- Malizzia, D.C., y Villanueva García, A., 1984. Estratigrafía y paleoambientes de sedimentación de la Formación Río Mañero, Provincia de La Rioja. *9º Congreso Geológico Argentino, Actas 5: 146-156.*
- Marcos, O.R., 1999. Depósitos salinos de La Rioja. En: Recursos Minerales de la R. Argentina (Ed. E. Zappettini), *Instituto de Geología y Recursos Minerales Segemar, Anales 35: 1933-1937*. Buenos Aires.
- Marquillas, R.A., y Salfity, J.A., 1991. *Marco geológico de las manifestaciones evaporíticas en América del Sur. In: Pueyo-Mur, J.J. «Génesis de formaciones evaporíticas: modelos andinos e ibéricos»*. Universidad de Barcelona, pp. 233-263. Barcelona.
- Orti-Cabo, F., 1989. Evaporitas marinas. In: A. Archer (coord.), *Sedimentología*, Vol. II, CSIC, Madrid.
- Orti Cabo F. y R.N. Alonso, 2000. Gypsum-Hydroboracite Association in the Sijes Formation (Miocene, NW Argentina): Implications for the Genesis of Mg-Bearing Borates. *Journal of Sedimentary Research*, 70 (3):664-681.
- Pérez, D.J., Ottone, G., y Ramos, V., 1996. La ingresión marina miocena en la provincia de San Juan: Sus implicaciones paleogeográficas. *XIII Congreso Geológico Argentino, Actas*, 1:385-398. Buenos Aires.
- Pueyo-Mur, J.J., 1991. *Genesis de formaciones evaporíticas: modelos andinos e ibéricos*. Universidad de Barcelona, 417 p. Barcelona.
- Prezzi, C.B. and Alonso, R.N., 2002. New paleomagnetic data from the northern Argentine Puna: Central Andes rotation pattern reanalyzed. *Journal of Geophysical Research*, 107, B2, 10.1029/2001JB000225.
- Reading, H.G., 1996. *Sedimentary Environments*. Third Edition. Blackwell Science. Oxford
- Schalamuck, I., Del Blanco, M., Marchionni, D., Romero, S. y Cabana, M., 1999. Salinas y sulfateras de la región pampeana. En: Recursos Minerales de la R. Argentina (Ed. E. Zappettini), *Instituto de Geología y Recursos Minerales Segemar, Anales 35: 1947-1962*. Buenos Aires.
- Starck, D. y Vergani, G., 1996. Desarrollo tecto-sedimentario del Cenozoico en el sur de la provincia de Salta, Argentina. *13º Congreso Geológico Argentino, Actas I:433-452*. Buenos Aires.
- Smoot, J.P. y T.K. Lowenstein, 1991, Depositional environments of nonmarine evaporites, in Melvin, J.L., ed., *Evaporites, petroleum and mineral resources*. Amsterdam, Elsevier, 189-347.
- Sosic, M., 1973. Descripción Geológica de la Hoja 14e, Salar de Pipanaco. *Boletín N° 137, Servicio Nacional Minero Geológico*, 47p. Buenos Aires.
- Vandervoort, D.S., Jordan, T.E., Zeitler, P.K. and Alonso, R.N., 1995. Chronology of internal drainage development and uplift, Southern Puna plateau, Argentine Central Andes. *Geology*, 23(2):145-148.
- Voss, R., 2002. Cenozoic stratigraphy of the southern Salar de Antofalla region, northwestern Argentina. *Revista Geológica de Chile*, 29 (2):167-190. Santiago.
- Warren, J., 1999. *Evaporites*. Blackwell Science. 438 p. Oxford

Recibido: 15 de octubre de 2005

Aceptado: 15 de diciembre de 2005