

LURGAC

ISSN 0372-462x

114
ej. 2

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO

REVISTA DEL MUSEO DE LA PLATA
(NUEVA SERIE)

TOMO XI

Geología n° 114

**CARACTERÍSTICAS TEXTURALES Y PROCESOS GENÉTICOS
DE LOS DEPÓSITOS EVAPORÍTICOS DE LA SALINA DEL GUALICHO,
PROVINCIA DE RIO NEGRO, REPÚBLICA ARGENTINA**

D. MARCHIONNI, M. DEL BLANCO, R. DE BARRIO, S. ROMERO, I. SCHALAMUK, G. LOMBARDI



BIBLIOTECA
"Florentino Ameghino"
19 ABR. 2000

LA PLATA
REPUBLICA ARGENTINA

1998

CARACTERÍSTICAS TEXTURALES Y PROCESOS GENÉTICOS DE LOS
DEPÓSITOS EVAPORÍTICOS DE LA SALINA DEL GUALICHO. PRO-
VINCIA DE RÍO NEGRO, REPÚBLICA ARGENTINA. Y



D. Marchionni ^{1,2}, M. Del Blanco ¹, R. de Barrio ¹, S. Rojano ⁴
I. Schalamuk ^{1,3} y G. Lombardi ⁵

BIBLIOTECA
"Florentino Ameghino"

19 ABR 2000

RESUMEN

La Salina del Gualicho es un depósito evaporítico que se emplaza en la región oriental de la Provincia de Río Negro, Argentina. Representa un cuerpo salino en continua evolución, generando depósitos cuyas características texturales van variando cíclicamente a lo largo de los períodos evolutivos. Está integrada básicamente por cuatro componentes: a) facies evaporíticas, b) facies clásticas, c) materia orgánica y d) fluidos circulantes. En esta contribución se presentan los resultados del análisis textural de las evaporitas de los niveles superficiales de este cuerpo salino, los cuales están constituidos esencialmente por halita y muy subordinadamente por yeso y glauberita. Las texturas observadas responden fundamentalmente a fenómenos de precipitación directa a partir de las salmueras (rasgos primarios) y a procesos postdeposicionales (rasgos diagenéticos), que distinguen a la Salina del Gualicho como un típico cuerpo salino somero.

Palabras Clave: Salina del Gualicho. Evaporitas. Texturas. Diagénesis. Halita.

ABSTRACT

Salina del Gualicho is a salt-pan evaporitic deposit located in the eastern region of Río Negro province, Argentina. It represents a salt body in permanent evolution, that generates deposits whose textural characteristics change cyclically along evolutive periods. It is composed basically of four components: a) evaporitic facies, b) clastic facies, c) organic matter and d) circulant fluids. In this paper, we present the results of a textural analysis of the evaporitic facies of surficial levels of this salt body, which are composed essentially by halite and secondly by gypsum and glauberite. The recognized textures are both primary features related to the direct precipitation phenomena from brines and diagenetic, related to postdepositional processes, which distinguish Salina del Gualicho as a typical salt-pan.

Key words: Salina del Gualicho. Evaporites. Textures. Diagenesis. Halite.

¹ INREMI: Instituto de Recursos Minerales, Departamento de Geología Aplicada - Facultad de Ciencias Naturales y Museo Universidad Nacional de La Plata.

Calle 47 No. 522. 1900 La Plata. Argentina.

² C.I.C.B.A.

³ CONICET

⁴ UNSA

⁵ Dipartimento di Scienze della Terra, Univ. degli Studi di Roma "La Sapienza". P.le Aldo Moro 5, 00185. Roma. Italia.

INTRODUCCIÓN

La Salina del Gualicho constituye un cuerpo evaporítico de depositación actual, formado a partir de la lixiviación de las unidades sedimentarias terciarias circundantes. Son el Cl y el Na sus componentes esenciales, los que representan un 91,93% del depósito salino, (Lombardi et al., 1993), seguidos por pequeñas cantidades de Ca^{++} y SO_4^- (2,28 y 2,63 % respectivamente).

Dicha cuenca evaporítica se extiende por cerca de 160 km² y constituye una de las mayores acumulaciones de cloruro de sodio del país, con una reserva estimada de 434.610.000 t, habiendo fluctuado la extracción entre 1.000 y 500.000 t anuales en los últimos 10 años.

Este trabajo tiene como finalidad caracterizar, mineralógica y texturalmente, los depósitos evaporíticos más superficiales de la salina del Gualicho y definir, a partir de sus rasgos texturales, los procesos primarios y diagenéticos involucrados en su formación. Esta información permite contribuir a un mejor conocimiento acerca de la génesis y evolución del cuerpo salino.

Rasgos texturales de sedimentos evaporíticos han sido ampliamente descriptos en la literatura especializada para ambientes marinos de sabkha por Shearman (1978), Handford (1982), Ortí Cabo (1988), Lowenstein y Hardie (1985) y otros. Por su parte, fueron Hardie, Lowenstein y Spencer (1985), Casas y Lowenstein (1989) y Spencer y Lowenstein (1988), quienes se han abocado al estudio de evaporitas continentales, así como al origen de las texturas y a la definición de los procesos diagenéticos intervinientes.

Esta contribución es el resultado de parte de los trabajos de campo realizados conjuntamente entre investigadores del INREMI, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, y del Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Italia.

RASGOS GENERALES DEL ÁREA

El Gran Bajo del Gualicho (Sepúlveda, 1977; Lizuain, 1983) representa una amplia depresión o «bajo sin salida», de forma elíptica, extendida en sentido ONO-ESE, que se emplaza en la región oriental de la provincia de Río Negro, unos 50 km al NO de la localidad de San Antonio Oeste (Fig. 1a.). Abarca una superficie aproximada de 3500 km² y en su sector más deprimido se encuentran los depósitos evaporíticos que conforman la Salina del Gualicho.

En un paisaje caracterizado por una topografía suave y uniforme con pendiente hacia el este, el máximo desnivel se observa entre la depresión ocupada por la salina (-73 m) y la margen NO del Gran Bajo del Gualicho (125 m). El colector principal de esta importante depresión, de red hidrográfica más o menos integrada, está representado por el Arroyo Barbudo, que encuentra en la salina su nivel de base.

Entre el nivel de pedimento principal y el fondo del bajo se advierten pequeñas escarpas que limitan superficies de pedimentos menores dando como resultado un perfil escalonado, donde la mayor altura está representada por el Cerro Chenque (67 m).

El clima de la región es árido, de tipo semi-desértico y templado (mesotérmico) con una temperatura media anual de 15° C y con gran amplitud estacional (Lizuain, 1983). Las precipitaciones son escasas, con guarismos que oscilan entre los 220-250 mm/año, si bien la existencia de rasgos de erosión fluvial tipo «wadi» indica que han existido caudales de agua ligados a precipitaciones concentradas en breves lapsos. Los vientos predominan en la época estival y provienen, especialmente, de los cuadrantes S, SE y SO. La intensidad de los mismos tiene notable influencia en la evolución de la salina, máxime teniendo en cuenta el relieve circundante, poco marcado y con vegetación rala, de tipo arbustivo.

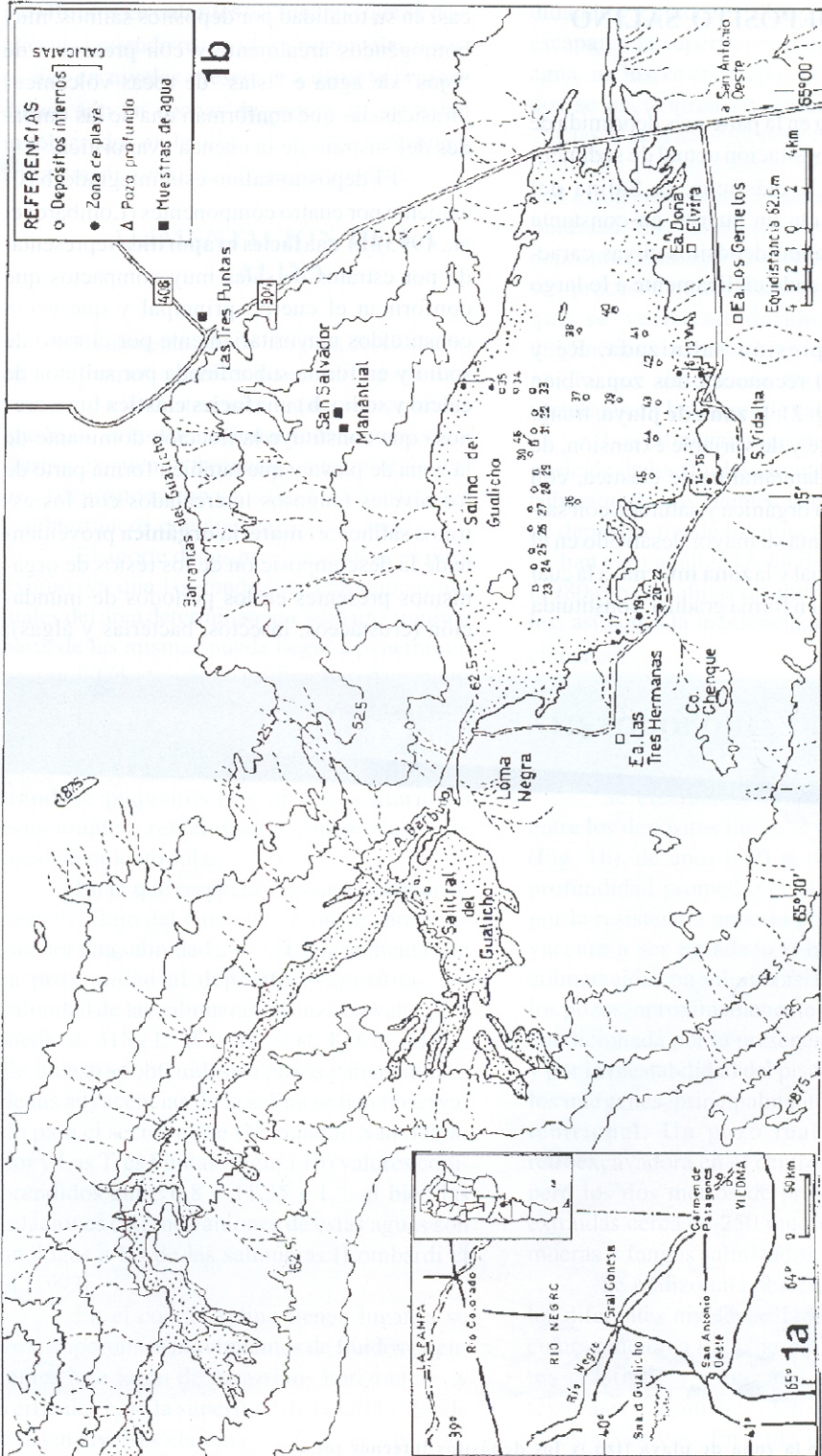


Fig. 1 a. Mapa de ubicación de la Salina del Gualicho. b. Distribución de calicatas y puntos de toma de muestra de agua subterránea

EL DEPÓSITO SALINO

Emplazada en la parte más deprimida de una cuenca de depositación actual de sedimentos evaporíticos y clásticos, la Salina del Gualicho representa un cuerpo en constante desarrollo, generando depósitos cuyas características van variando cíclicamente a lo largo de su evolución.

En la depresión salinizada, Ré y Brodtkorb (1961) reconocen dos zonas bien diferenciadas (Fig. 2): la **zona de playa**, franja de suave pendiente y de variable extensión, de composición fundamentalmente clástica, con abundante materia orgánica y saturada con salmueras, que presenta su mayor desarrollo en el margen septentrional y la **zona interna**, a la cual el pasaje se realiza en forma gradual, constituida

casi en su totalidad por depósitos salinos, muy homogéneos arealmente y con presencia de "ojos" de agua e "islas" de rocas volcánicas jurásicas, las que conforman una de las unidades del sustrato de la cuenca evaporítica.

El depósito salino está integrado básicamente por cuatro componentes (Lombardi et al., 1993): **a) una facies evaporítica** representada por estratos de sales muy compactos que conforman el cuerpo principal y que están constituidos mayoritariamente por cloruro de sodio y en forma subordinada por sulfatos de calcio y sodio; **b) una facies clástica** limo-arenosa que constituye la fracción dominante de la zona de playa y que también forma parte de los niveles fangosos intercalados con los estratos salinos; **c) materia orgánica** proveniente de la descomposición de los restos de organismos presentes en los períodos de inundación (crustáceos, insectos, bacterias y algas);

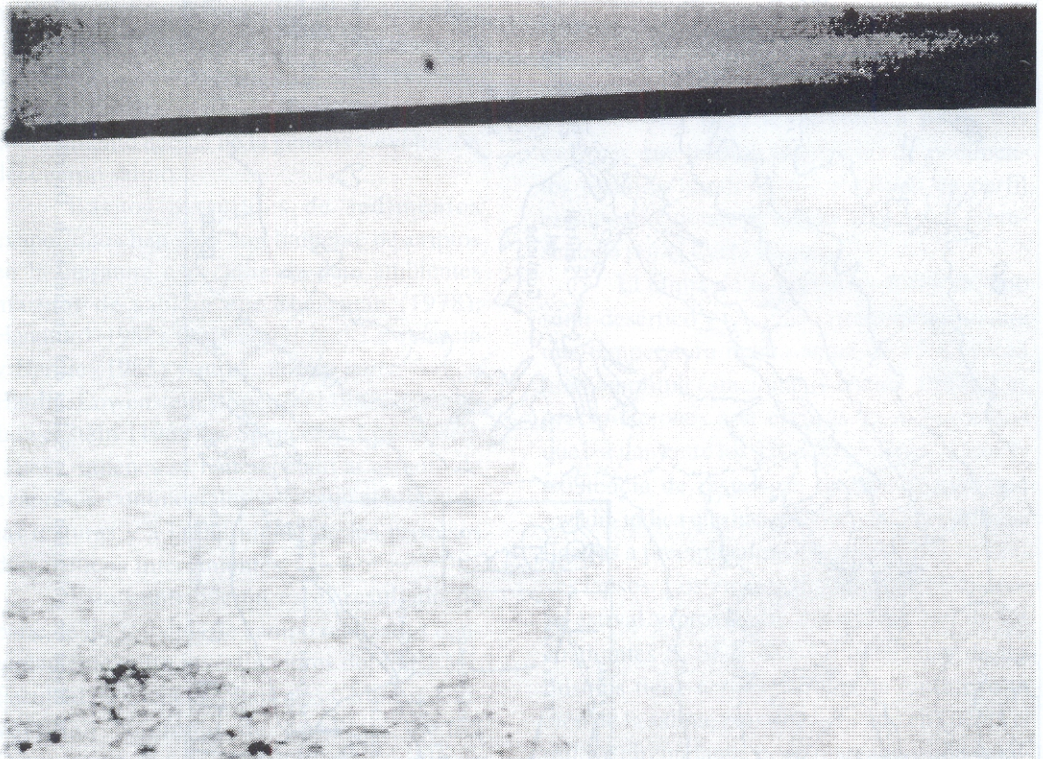


Fig. 2. Límite entre la zona de playa (izq.) y los depósitos internos (der.).

y **d) fluidos circulantes** (salmueras) que se desplazan siguiendo recorridos horizontales y verticales en niveles presentes a distinta profundidad, aún en épocas de sequía, y que están involucrados en la alimentación de la salina y en la diagénesis de las facies evaporíticas.

ALIMENTACIÓN DE LA SALINA

La alimentación de la Salina del Gualicho en los tiempos recientes ha estado ligada mayormente a la existencia de aguas subterráneas que lixivian las formaciones sedimentarias terciarias, existiendo frecuentes intercambios entre el depósito salino y los fluidos superficiales y subterráneos que aportan a la cuenca.

El aporte de las precipitaciones es muy exiguo, ya que las condiciones climáticas actuales del área determinan que sólo una mínima parte de las mismas pueda llegar a penetrar en profundidad a través de infiltración. Aún cuando la evaporación es intensa, la salina puede presentarse inundada, encontrándose bajo presión de la capa freática circundante y registrándose pequeños movimientos diarios o estacionales, relacionados con procesos de recalentamiento solar.

En lo que respecta a las aguas subterráneas del Bajo del Gualicho, éstas se caracterizan por una salinidad elevada, que aumenta con la proximidad al depósito evaporítico. La salinidad de las salmueras alcanza un valor promedio de 315 g L^{-1} ($\text{Cl}^+ \text{Na}^+ \text{SO}_4^- \text{K}^+ \text{Ca}^{++} \text{Mg}^{++}$). En muestras obtenidas en pozos y manantiales de las adyacencias de la salina se han observado para el sector norte (Manantial, San Salvador y Las Tres Puntas, Figura 1b) valores comprendidos entre $6,8$ y $11,35 \text{ g L}^{-1}$, si bien las relaciones cationes/aniones de estas aguas son análogas a las de las salmueras (Lombardi et al., 1993).

En el cuerpo salino tienen lugar, a su vez, importantes movimientos de fluidos circulantes a lo largo de recorridos horizontales y verticales bajo la superficie de la salina, donde existen diversas «láminas» a diferentes profun-

didades y cavidades ricas en salmueras, que escapan a la superficie a través de los ojos de agua, inclusive en la época estival. Estos fluidos se encuentran en continuo movimiento, gracias a los gradientes piezométricos de la capa freática y a los gradientes térmicos y de densidad existentes entre salmueras de distinta profundidad. Las circulaciones en el interior del depósito salino son responsables de los intensos procesos de disolución y recristalización que se verifican durante los procesos diagenéticos acaecidos en una etapa temprana, lo que determina fuertes variaciones texturales en las capas de sal.

Las influencias que tienen tanto la composición de los fluidos circulantes, como la distribución de sus fuentes sobre las secuencias de depositación de los minerales evaporíticos, ya han sido analizadas en detalle por Kendall (1980a) para salinas de ambientes continentales, así como la incidencia de factores de tipo climático.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se efectuaron 45 calicatas, repartidas entre los depósitos internos y la zona de playa (Fig. 1b), de unos $0,60 \text{ m}$ de diámetro y una profundidad promedio de $0,60 \text{ m}$, controlada por la resistencia opuesta por el material subyacente a ser horadado o bien por la rápida colmatación con salmueras. La distribución de los pozos, aproximadamente N-S y E-O, se vio condicionada por la presencia de ojos de agua y por la inestabilidad del piso de la salina hacia los márgenes, principalmente en el sector septentrional. Un pozo realizado con pala retroexcavadora en el centro del depósito, superó los dos metros de profundidad. Fueron extraídas cerca de 250 muestras de sales, salmueras y fangos salinizados.

Se realizó una descripción "in situ" de los diferentes niveles salinos, poniendo particular atención a los espesores, los componentes clásticos y minerales, las variaciones texturales y cromáticas y los pasajes entre niveles sucesivos. En cada punto se tomaron

muestras de los niveles salinos y de la salmuera para su análisis químico (Tabla 1) y mineralógico. Se hicieron mediciones "in situ" de pH, conductividad, temperatura y densidad de la salmuera.

TABLA 1. Composición química promedio y parámetros estadísticos de 104 muestras de sal provenientes de 22 calicatas de 60 cm de profundidad, excavadas dentro de los depósitos internos de la Salina del Gualicho (datos extraídos de Lombardi et al, 1993).

Componentes	Promedio	Rango	X max.	X min.	Coef. var.	Desv. est.
Na %	37.3	21	41	20	8.74	3.26
Ca %	1.7	8	8	0.04	94.59	1.57
Mg ppm	1592	9096	9435	339	76.26	1214
Cl %	55.1	27	60	33	9.03	4.97
SO ₄ %	2.3	10	10	0.46	67.41	1.58
CO ₃ ppm	205	1162	1238	76	71.35	146.3
H CO ₃ ppm	52	160	160	0	93.01	48.72
K ppm	916	3485	3946	461	43.89	402.24
Rb ppm	40	41	68	27	16.8	6.87
Sr ppm	118	463	488	25	81.54	96.91
Li ppm	3.8	17	17	0	60.03	2.25
Si ppm	618	3513	3513	0	74.71	461.7
Al ppm	349	4584	4584	0	160.49	560.41
Cr ppm	10	48	51	3	57.54	6.04
Mn ppm	24	169	172	3	94.26	22.79
Fe ppm	557	4890	4908	18	111.44	621.24
Co ppm	35	41	51	10	23.21	8.12
Cu ppm	11	33	36	3	29.66	3.31
Zn ppm	11	31	37	6	38.13	4.51
Pb ppm	61	997	1003	6	175.22	61.49

En el laboratorio, las muestras cuyas texturas resultaron más significativas fueron seccionadas con sierra manual y lavadas con cepillo humedecido con salmuera. La confección de láminas delgadas para la observación microscópica, se vio limitada por la poca coherencia del material y su consecuente desagregación. En las muestras más resistentes la dificultad fue encontrada en el pulido de las superficies: el uso de agua como lubricante podría modificar las texturas originales a través de la disolución y reprecipitación de las sales.

Para su descripción, las muestras fueron observadas en corte fresco, con lupa binocular o a ojo desnudo, comparando estas observaciones con las realizadas en el campo. Fueron analizadas las características mineralógicas (composición de los cristales, color y transparencia, presencia de inclusiones, distribución de las mismas), los rasgos

texturales (tamaño, forma, desarrollo y ordenamiento de los cristales y cavidades), coherencia de los distintos niveles, características de los contactos o pasajes entre los mismos y tipode material clástico intercalado.

FACIES EVAPORÍTICA DE LA SALINA DEL GUALICHO

Composición mineralógica

La mineralogía de la facies evaporítica es bastante simple; la fase más abundante es halita y, muy subordinadamente, glauberita. El yeso, minoritario, ha sido reconocido fundamentalmente en las áreas marginales del depósito, mientras que la thenardita, sólo ha sido observada al microscopio electrónico (Lombardi et al., 1993). En cuanto a la manera de presentarse los cristales, ésta varía según el mineral de que se trate y sus condiciones de formación.

La halita es el mineral predominante en todos los niveles del depósito salino, habiéndose identificado bajo la forma de cristales con

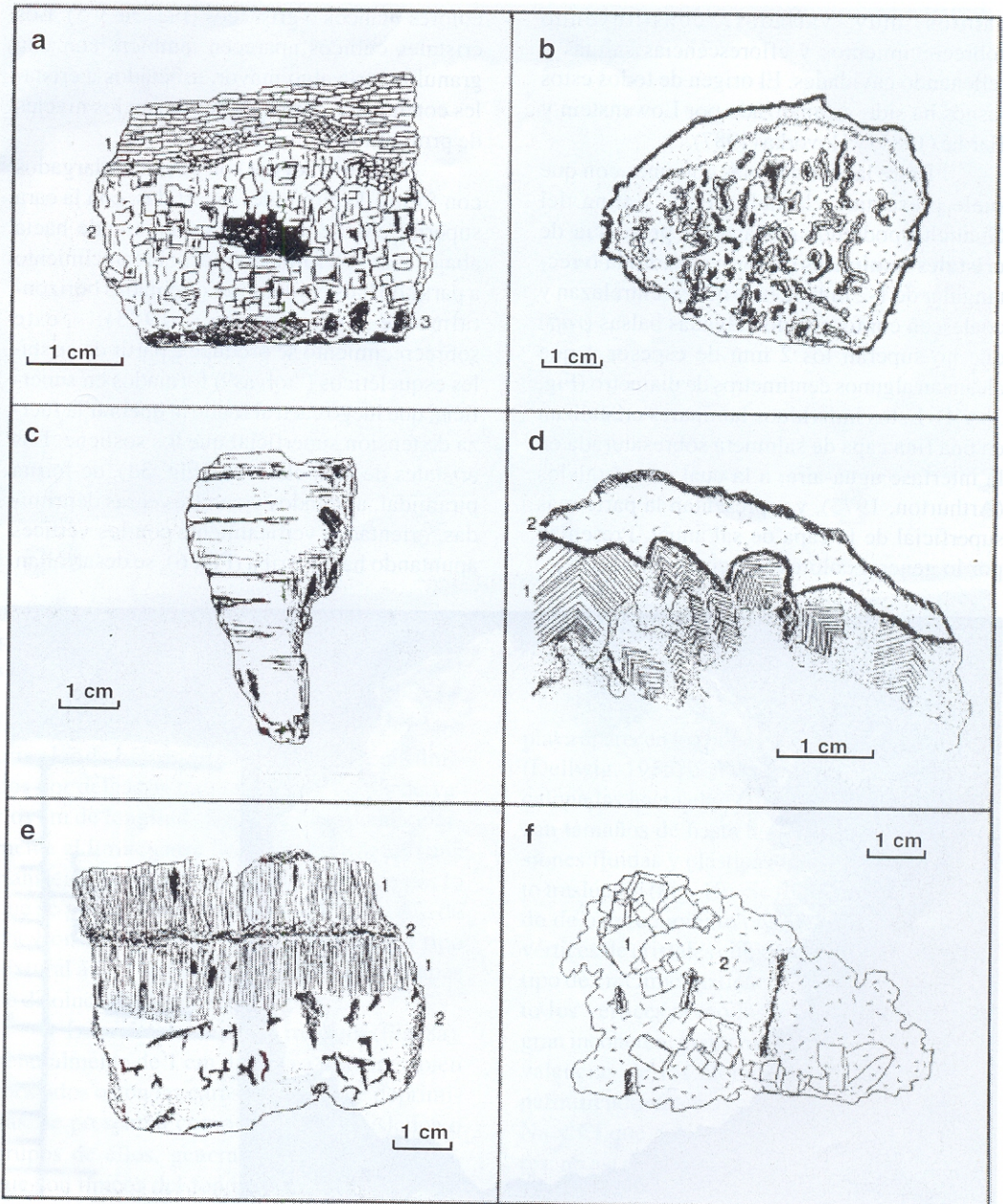


Fig. 3. Principales texturas de los depósitos evaporíticos de la Salina del Gualicho: a) Cristales laminares⁽¹⁾ y cúbicos sacaroides⁽²⁾ de halita de la capa de sal anual. Hacia la base⁽³⁾ canalículos de disolución; b) Vista en planta de los canalículos de disolución; c) Cristal individual de halita con hábito cornet donde se observan los fantasmas de los cristales originales; d) Cristales de halita tipo chevron con crecimiento sintaxial⁽¹⁾ y superficie de disolución y truncamiento⁽²⁾; e) Alternancia de capas de halita de hábito fibroso⁽¹⁾ y material clástico⁽²⁾ dando lugar a una textura bandeada; f) Cristales cúbicos de halita soldados⁽¹⁾ y abundante material clástico⁽²⁾ constituyendo una textura granular masiva (transición a las capas más profundas de halita desplazante).

hábitos muy variados, constituyendo sobrecrecimientos y eflorescencias salinas y rellenando cavidades. El origen de todos estos rasgos ha sido ya analizado por Lowenstein y Hardie (1985) y Hovorka (1987).

Entre las formas más comunes con que suele presentarse la halita en la Salina del Gualicho podemos destacar la presencia de **crisales laminares** de forma cuadrada o rectangular de 1-2 mm de lado que se entrelazan y coalescen conformando delgadas balsas (*raft*) que no superan los 2 mm de espesor y que alcanzan algunos centímetros de diámetro (Fig. 3a y 4). Estos individuos laminares cristalizan en una fina capa de salmuera sobresaturada en la interfase agua-aire, a la cual son paralelos (Arthurton, 1973), y representan la parte más superficial de la capa de sal anual. Presentan por lo general colores blancos o rosados.

colores blancos o grisáceos (Fig. 3a y 5). Los crisales cúbicos aparecen también, con una granulometría algo mayor, asociados a crisales con hábitos cornet y chevron en los niveles de profundidad intermedia.

Los **tipo cornet** son crisales alargados con forma de pirámides invertidas: con la cara superior chata y los vértices apuntando hacia abajo (Fig. 3c), formados por sobrecrecimiento a partir de balsas y láminas orientadas horizontalmente (Arthurton, 1973); este sobrecrecimiento se produce a partir de crisales esqueléticos ("tolvas") formados en superficie, que luego caen al fondo al quebrar la fuerza de tensión superficial que los sostiene. Los crisales de **tipo chevron** (Fig. 3d), de forma piramidal, alargados y con tres caras deprimidas, orientados verticalmente con los vértices apuntando hacia arriba (Fig. 6), se desarrollan

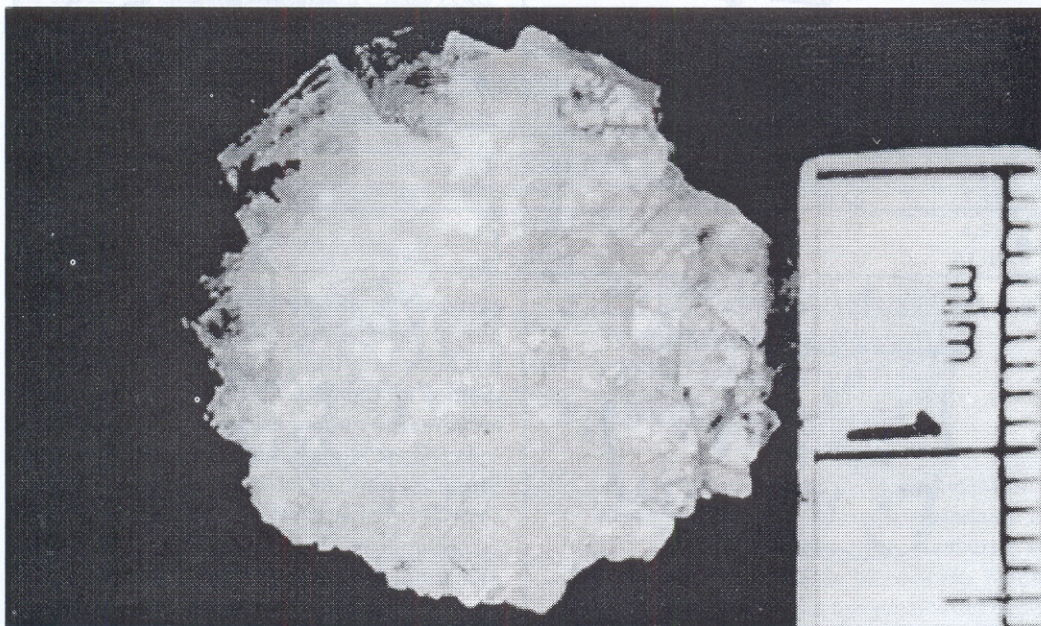


Fig. 4. Agrupamiento de crisales laminares conformando una balsa (*raft*).

Entremezclados con los crisales laminares de las balsas o constituyendo una parte aún más profunda dentro de la capa de sal anual, aparecen, con un ordenamiento al azar, **crisales cúbicos sacaroides** cercanos al milímetro, transparentes a translúcidos y de

por sobrecrecimiento a partir de crisales hopper esqueléticos orientados al azar y sometidos a condiciones de fuerte saturación (Wardlaw y Schwerdtner, 1966). Ambos tipos de crisales se encuentran conformando capas homogéneas o asociados entre sí. Al aumentar

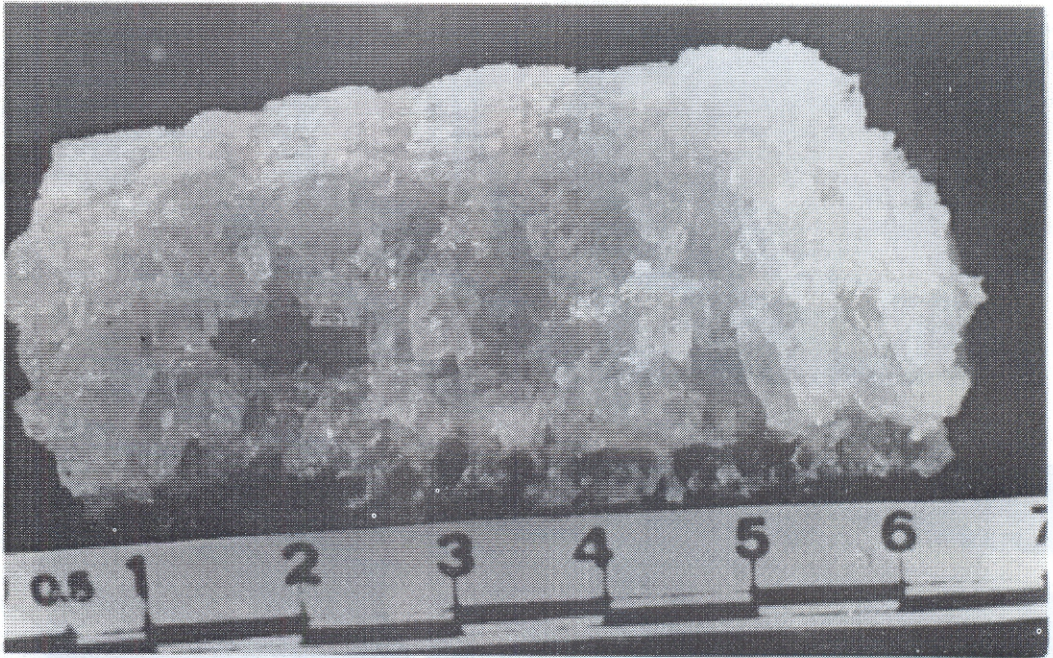


Fig. 5. Sección del nivel más superficial de halita (capa anual): cristales laminares (arriba) y cúbicos sacaroides (abajo).

la profundidad estos cristales dejan paso a los cristales de **hábito fibroso** (Fig. 3e) constituidos por delgados individuos aciculares de varios cm de longitud, dispuestos perpendicularmente al límite entre las capas, existiendo una transición entre ambos tipos constituida por lo que se puede denominar cristales de hábito de chevron-fibroso (Fig. 7). El pasaje de un tipo textural a otro se produce por sucesivas etapas de disolución-cristalización.

Los **cristales cúbicos macizos** (Fig. 8a), generalmente de 1 cm de lado a mayores, bien formados o con las caras ligeramente deprimidas, se presentan como individuos aislados o grupos de ellos, generalmente transparentes, que son típicos del fondo fangoso de la salina (Fig. 9). Se originan como consecuencia de la cristalización lenta, en invierno y primavera, en el fondo de cubetas profundas con salmueras, siempre bajo condiciones de saturación débil. Aparecen a profundidades de entre 25 y 40 cm, asociados o intercrecidos con glauberita a profundidades mayores a los 40 cm.

En el sedimento fangoso de la zona de

playa aparecen los **hopper esqueletales o tolvas** (Dellwig, 1955) con las caras deprimidas y escalonadas hacia el centro (Fig. 8b), que alcanzan tamaños de hasta 8 cm y presentan inclusiones fluidas y clásticas que le dan un aspecto traslúcido (Fig. 10). Se forman como resultado de un crecimiento preferencial de aristas y vértices de cristales cúbicos embrionarios. Este tipo de crecimiento tiene su origen en que, tanto los vértices como las aristas, son zonas de gran incoherencia interatómica, es decir que las valencias de los átomos no están saturadas, permitiendo una mayor captación de los iones Na y Cl que están en solución en esos sectores, no así en el sector central de las caras, donde la energía de enlace es menor (Handford, 1982), generando por lo tanto ese tipo de cristales. Esto sucede en la superficie de salmueras sobresaturadas, tanto como forma de cristalización libre en la interfase salmuera-aire, como en el sedimento fangoso encajante.

La glauberita [$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$], de origen primario fundamentalmente, es el sulfato más difundido, presentándose casi siempre bajo la



Fig. 6. Cristales chevron de halita con evidencias de crecimiento syntaxial (zonación).

Fig. 7. Pasaje transicional entre halita de textura chevrón (arriba) y chevrón fibroso (abajo).

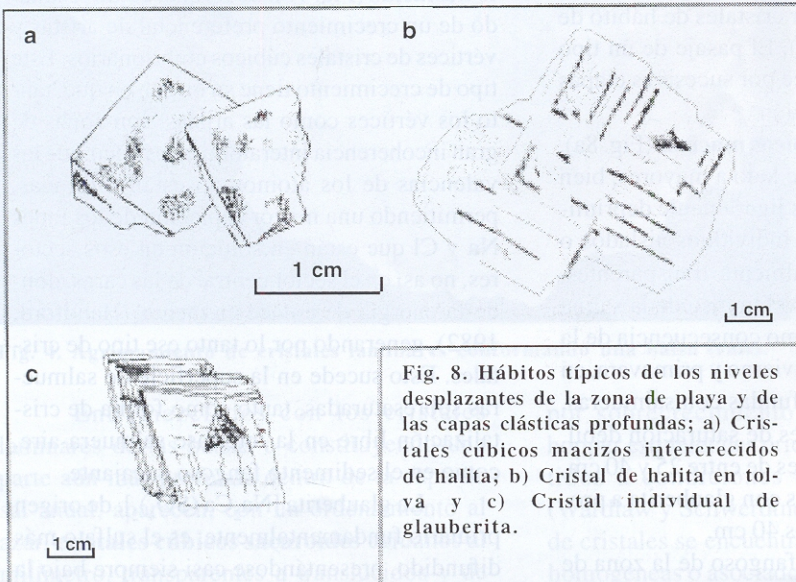
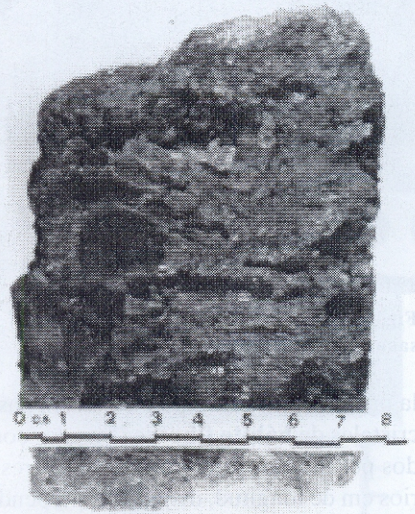


Fig. 8. Hábitos típicos de los niveles desplazantes de la zona de playa y de las capas clásticas profundas; a) Cristales cúbicos macizos intercrecidos de halita; b) Cristal de halita en tola y c) Cristal individual de glauberita.

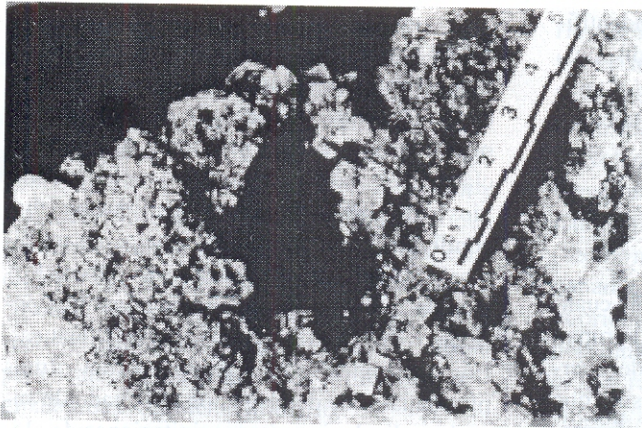
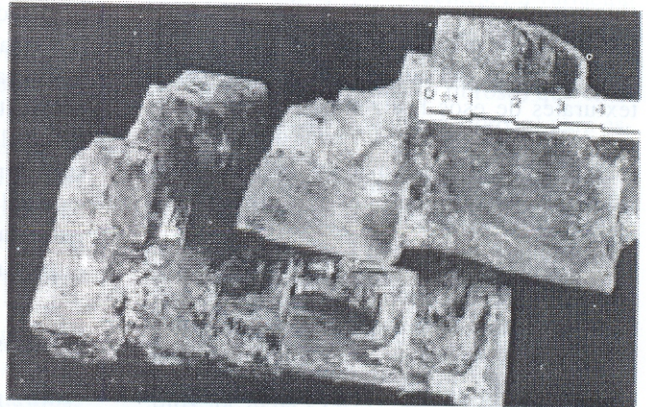


Fig. 9. Cristales de halita transparente típicos de la textura granular maciza.

Fig. 10. Individuos esqueléticos de halita (tolvas).



forma de cristales euhedrales de **diseño romboidal** (Fig. 8c), de pocos mm a casi 10 cm (según la diagonal mayor), frecuentemente maclados, transparentes o grisáceos. Son visibles estrías de crecimiento e inclusiones de material clástico y fluido-gaseoso. Aparece con mayor frecuencia a partir de los 60 cm de profundidad.

El yeso se presenta principalmente en la zona de playa, en las márgenes meridional y septentrional de la salina. Está asociado a niveles muy ricos en sedimentos clásticos y materia orgánica, y suele aparecer junto con halita y glauberita. Al microscopio electrónico se observan pequeños agregados de yeso como eflorescencias sobre halita en algunas capas de la zona interior de la salina. Los especímenes más grandes son traslúcidos, ricos en impurezas pelíticas, con **hábitos lenticulares** y maclas «punta de lanza» (Fig. 11).

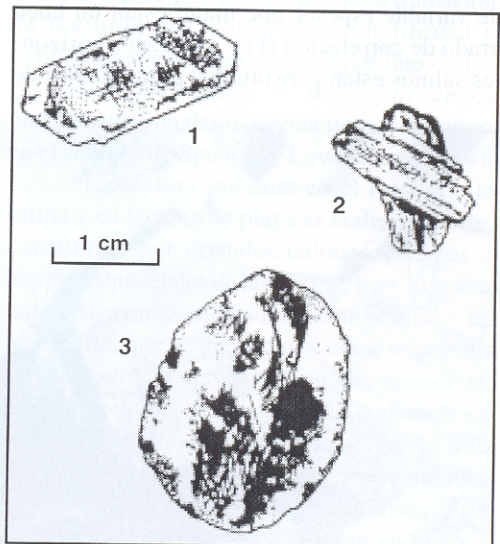


Fig. 11. Pequeños cristales de yeso de la zona de playa mostrando los hábitos más frecuentes: tabular en individuos aislados⁽¹⁾ e intercrecidos⁽²⁾ y lenticular⁽³⁾.

La thenardita [Na_2SO_4], ha sido identificada sólo al microscopio electrónico, dispuesta en pequeños agregados prismáticos y también como eflorescencias sobre cristales de halita (Lombardi et al., 1993).

Niveles evaporíticos

Existe una gran heterogeneidad en cuanto a las formas en que se presentan y agrupan las distintas especies minerales dentro del cuerpo evaporítico, la cual no es azarosa, sino que responde a condiciones particulares de formación y evolución, generando horizontes característicos, que pueden reconocerse en los distintos sectores del cuerpo salino. Los rasgos texturales de esos horizontes son, en líneas generales, muy variables, ya que dependen del sector de la salina estudiado y de la diferente intensidad de los procesos diagenéticos actuantes.

Durante la ejecución de los perfiles de campo, se reconocieron hasta ocho *horizontes salinos*, limitados entre sí por discontinuidades físicas que permitieron su separación manual. Esas discontinuidades por lo general están definidas por la presencia de niveles clásticos de variable espesor que manifiestan un buen grado de correlación (Fig. 12). Estos horizontes salinos están constituidos por unidades de

menor jerarquía o *halociclos*. Orti Cabo (1988) define como halociclo a "todo nivel salino, de espesor variable, que puede ser continuo o discontinuo, difuso o bien definido, separado de otro contiguo por la presencia de material clástico y/o materia orgánica, o bien por cambios texturales, sin que esto signifique una discontinuidad que permita su separación mecánica". Cada halociclo indica un evento de formación que se corresponde con cambios periódicos o cíclicos de las condiciones climáticas. Los horizontes salinos representarían ritmos plurianuales de depositación, resultado de sucesivas disoluciones y precipitaciones de cloruro sódico ocurridas en una cubeta somera (Orti Cabo y Pueyo Mur, 1977). Este depósito salino parece responder al modelo deposicional evaporítico de aguas someras propuesto por Kendall (1980b), donde una continua subsidencia, que afectaría al fondo de la cuenca, facilita el desarrollo del depósito al dar lugar a la precipitación de nuevos horizontes evaporíticos.

Rasgos texturales

Los conceptos de rasgos texturales primarios y secundarios planteados por Ingerson (1968) para los minerales evaporíticos, han ido variando a través del tiempo. Stewart (1963) indica la existencia de caracteres texturales que responden a cambios penecontemporáneos y otros que acontecen postconsolidación, aunque sin establecer un claro límite temporal entre ambos procesos.

Casas y Lowenstein (1989) plantean una distinción entre rasgos sindeposicionales y diagenéticos para las evaporitas, encon-

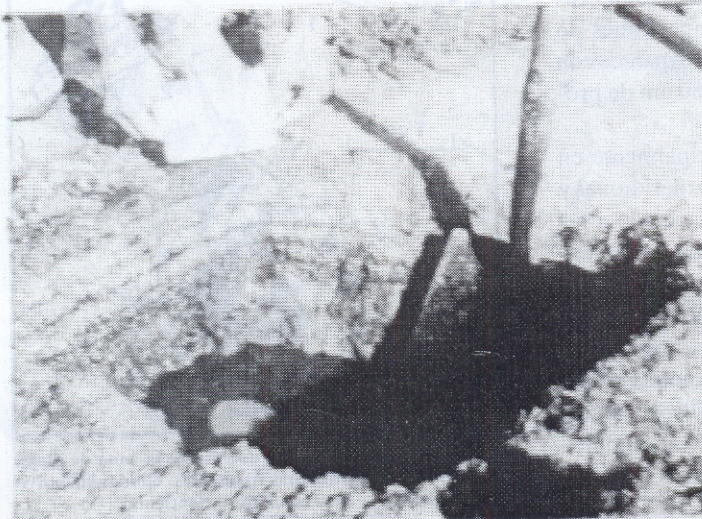


Fig. 12. Detalle de los halociclos más superficiales. Sector central del depósito.

trándose los primeros condicionados por los procesos actuantes en el medio depositacional. En esta categoría quedarían comprendidos tanto los caracteres texturales derivados de precipitación directa de las salmueras (estadio de concentración por evaporación, Lowenstein y Hardie, 1985) como aquellos diagenéticos tempranos, que acontecen a niveles superficiales y que incluyen fundamentalmente procesos de disolución (estadio de inundación), y recristalización (estadio de desecación) los que provocan una obliteración de las texturas originales, de crecimiento primario.

Posteriormente, Spencer y Lowenstein (1988), establecen una clara diferencia en relación al tiempo de formación de un mineral, cortejo de minerales, textura, fábrica o estructura, según tres categorías: a) rasgos depositacionales, formados al mismo tiempo de formación de la unidad de depositación; b) rasgos postdepositacionales, generados por procesos diagenéticos tempranos, temporalmente muy próximos a la depositación y controlados por procesos intervinientes en el medio depositacional (preenterramiento), y c) rasgos postenterramiento, originados a partir de procesos diagenéticos avanzados, más tardíos, controlados por el medio subsuperficial, los que incluyen la disminución progresiva de la porosidad, que a niveles superficiales alcanza hasta un 50%. A unos 10 metros de profundidad, se estima que la porosidad es de sólo 10%, desapareciendo por completo a los 45 metros. Dado el carácter superficial de los niveles halíticos estudiados en esta salina, puede considerarse una reducción de la porosidad de muy escasa significación.

Entre los principales tipos de texturas que han sido reconocidas en los horizontes superficiales de la Salina del Gualicho, la textura **bandeada** (Fig. 3e), se destaca por su amplio desarrollo vertical, con un espesor de entre 15 y 35 cm (en el norte y sur respectivamente, Fig. 13a). Es característica de los horizontes intermedios de la salina, donde el aspecto bandeado se produce por la alternancia de niveles de halita clara (libre de inclusiones) y oscura (con abundante material clástico). Los halociclos supe-

riores, de número variable, están constituidos por cristales de hábito cornet y chevron orientados verticalmente, a menudo zonados por inclusiones de material arcilloso. Adquieren mayor espesor los halociclos más profundos, constituidos por la agregación de cristales de hábito fibroso (sector sur) o chevrón-fibroso (sector norte) elongados verticalmente, acompañados por pequeños canaliculos paralelos a la orientación de los ejes cristalinos. Responden muy probablemente a efectos de disolución y recristalización, debidos a la continua circulación de salmueras sobresaturadas y al peso de las capas sobreyacentes. La variación lateral de los halociclos más profundos estaría reflejando procesos de diagénesis más intensos en el sector sur (hábito fibroso) que en el sector norte (hábito chevrón fibroso) para estos horizontes.

La textura **granular-masiva** (Fig. 3f) es la que conforma las capas más profundas del depósito, integrada por cristales cúbicos de halita bien soldados entre sí, representando una transición entre las texturas bandeada y desplazante hacia arriba y abajo respectivamente. Se presenta con mayor desarrollo en los "ojos" de agua y en el contacto entre las capas fibrosas y el fango subyacente. Esta transición de texturas chevron a chevron fibrosa y definitivamente fibrosa constituyen uno de los rasgos salientes de procesos postdepositacionales o diagenéticos tempranos, en el sentido de Spencer y Lowenstein (1988).

La textura presente en el fondo de la salina y en la zona de playa es la **desplazante**, constituida por cristales cúbicos macizos o hopper esqueletales de halita (Fig. 8 a y b) orientados al azar e individuos romboidales de glauberita, que se presentan sueltos o formando agregados intercrecidos de halita-glauberita, inmersos en una matriz clástica, embebida en salmuera. Los niveles desplazantes (de 15 a 20 cm de potencia), aparecen a profundidades variables dentro del cuerpo de la salina (a 20 cm en el borde oeste, a 25-35 cm en la zona central y a los 40 cm en el borde sur, Fig. 13b). Es esta una textura que responde a un crecimiento diagenético temprano, sindeposita-

cional, que puede explicarse a partir del hundimiento de salmueras superficiales motivado por diferencias de densidad (Casas y Lowenstein, 1989). El consecuente enfriamiento determina una disminución de la solubilidad del NaCl y su precipitación. La repetición de este proceso, en un intervalo diario o estacional, puede conducir a la precipitación de grandes volúmenes de halita diagenética a niveles superficiales.

ESTADIOS EVOLUTIVOS Y PROCESOS DIAGENÉTICOS DE LA SALINA

Teniendo en cuenta el esquema propuesto por Lowenstein y Hardie (1985) se pueden diferenciar tres estadios principales en la evolución de la Salina del Gualicho, que generan rasgos texturales distintivos. Durante el otoño-invierno y la primavera el depósito salino generalmente se cubre de al menos unos 10 cm de agua proveniente del aporte de las aguas subterráneas y, en menor medida, de las precipitaciones y del escurrimiento superficial de las zonas aledañas. La disolución parcial de los niveles superiores de la costra salina superficial (constituidos esencialmente por superposición de balsas de cristales de halita laminares y en tolva, con una elevada densidad de cavidades elongadas horizontales), trae aparejada la formación de salmueras estratificadas, saturadas y subsaturadas. Como evidencia de las condiciones temporarias de subsaturación se generan una serie de rasgos que son considerados como texturas de disolución (truncamiento de cristales chevron y cornet, formación de cavidades de disolución y canalículos, redondeamiento de cristales y poros, etc.). Se producen en esta etapa amplias superficies horizontales de disolución (Fig. 3d), que representan los caracteres sinde-positacionales más conspicuos y que son rápidamente cubiertas por fango, finas capas de halita o por crecimiento de halita de tipo chevron. También ocurre una incorporación del material clástico

transportado por el viento o por las aguas, ya sea formando capas definidas como rellenando cavidades.

Las discontinuidades que separan a los distintos horizontes salinos reconocidos responden a este proceso. A estos se agregan cavidades verticales de disolución que cortan a los niveles de halita chevron y le confieren un aspecto fibroso característico. Estas cavidades verticales pueden ser cementadas por halita clara, libre de inclusiones clásticas, determinando una reducción gradual de la porosidad primaria del depósito halítico. Durante este estadio es máxima la presencia de organismos vivos como larvas y cistidios a los cuales pueden atribuirse los característicos canales vermiformes (Fig. 3b).

Durante la estación seca, por efecto combinado de los vientos y las altas temperaturas estivales, se produce la evaporación del agua acumulada durante la inundación hasta alcanzar condiciones de sobresaturación, comenzando la cristalización primaria de pequeñas láminas balsas y de cristales hopper en la interfase salmuera-aire, que al hundirse servirán como núcleos de cristalización y también precipitación de halita granulada fina y clara (libre de inclusiones clásticas) en poros y espacios intercrystalinos, determinando una reducción gradual de la porosidad primaria del depósito. Se forma así la capa anual de sal, cuyo espesor varía entre 2 y 8 cm. En este estadio, caracterizado por sus fases de crecimiento, tiene lugar una separación de fases evaporíticas, de acuerdo a sus solubilidades, con precipitación inicial de sulfatos y capas sucesivas de halita.

La desecación afecta sólo la parte más superficial de la salina, permaneciendo el resto del cuerpo impregnado por salmueras, presentes hasta escasos centímetros de la superficie. Las sales cristalizan a partir de estas salmueras residuales saturadas, dentro de los 30-60 cm superiores, dando lugar a un crecimiento sintaxial de los cristales cornet y chevron así como a la restauración de los cristales disueltos, el relleno de los vacíos y la formación de grandes cristales de halita desplazante y

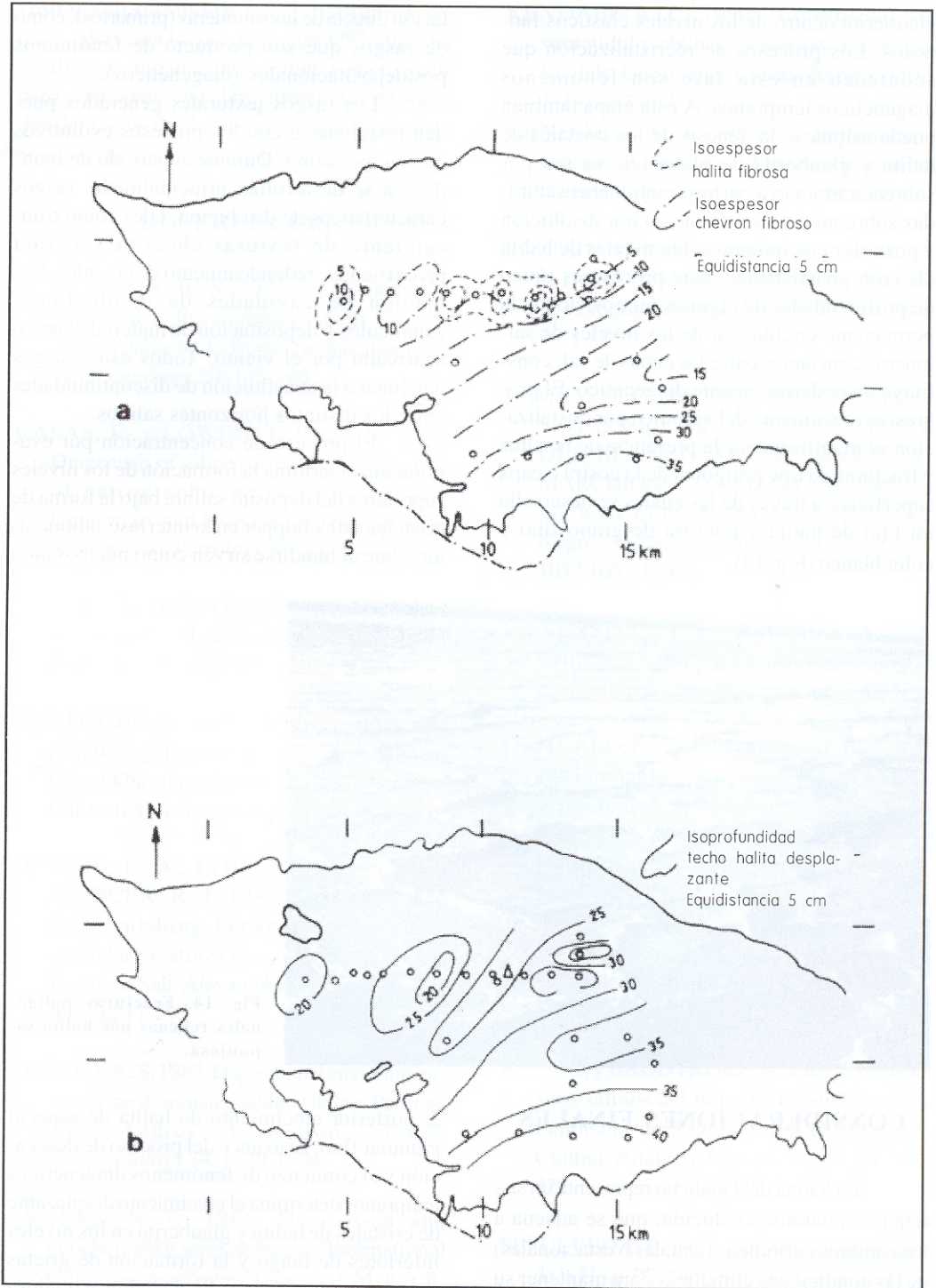


Fig. 13 a. Mapa de isoespesores de halita bandeada. b. Mapa de isopropundidad del techo del fango con halita desplazante

glauberita dentro de los niveles clásticos fangosos. Los procesos de recristalización que acontecen en esta fase son fenómenos diagenéticos tempranos. A esta etapa también puede asignarse la génesis de los cristales de halita y glauberita desplazantes, ya sea por sobrecrecimiento a partir de salmueras saturadas sobre núcleos cristalinos o por disolución y posterior crecimiento sobre niveles de halita chevron preexistentes. Este proceso es típico de profundidades de algunos metros, donde la permanente circulación de los niveles de salmueras constantes entre las capas de sal, constituye un poderoso agente diagenético. El progresivo crecimiento del volumen por cristalización se manifiesta por la presencia de resaltes y fracturas de tipo poligonal de la costra o capa superficial, a través de las cuales se desarrolla un tipo de halita esponjosa de grano fino y color blanco (Fig. 14).



Fig. 14. Fracturas poligonales rellenas por halita esponjosa.

CONSIDERACIONES FINALES

La Salina del Gualicho representa un sistema en continua evolución, que se adecua a los cambios periódicos (anuales o estacionales) de las condiciones climáticas para mantener su equilibrio, dinamismo que se refleja en la presencia tanto de rasgos generados por precipi-

tación directa de las salmueras (primarios), como de rasgos que son producto de fenómenos postdeposicionales (diagenéticos).

Los rasgos texturales generados pueden relacionarse con los procesos evolutivos del cuerpo salino. Durante el período de inundación se desarrollan principalmente rasgos característicos de disolución, tales como truncamiento de texturas chevron y cornet preexistentes, redondeamiento de cristales, formación de cavidades de disolución y canalículos y depositación de material clástico acarreado por el viento. Todos estos rasgos dan lugar a la constitución de discontinuidades entre los distintos horizontes salinos.

El proceso de concentración por evaporación determina la formación de los niveles superiores del depósito salino, bajo la forma de cristales raft y hopper en la interfase salmuera-aire, que al hundirse sirven como núcleos para

el posterior crecimiento de halita de aspecto granular fino. El avance del proceso de desecación y el comienzo de fenómenos diagenéticos tempranos determina el crecimiento desplazante de cristales de halita y glauberita en los niveles inferiores de fango y la formación de grietas poligonales con desarrollo de halita esponjosa de grano fino en la superficie.

Es la abundancia de los caracteres

sindepositacionales de disolución y recristalización lo que distingue a la Salina del Gualicho como un cuerpo salino somero (salt-pan), marcando una clara diferencia con aquellos depósitos de cloruro de sodio formados en cuerpos de agua perennes.

REFERENCIAS

- ARTHURTON, R. S. 1973. Experimentally produced halite compared with Triassic layered halite rocks from Cheshire, England. *Sedimentology* 20: 145-160.
- 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* 59 (5): 724-739.
- DELLWIG, L. 1955. Origin of the saline Salt of Michigan. *Journal of Sedimentary Petrology* (25): 83-110.
- HANDFORD, C. 1982. Sedimentology and evaporite genesis in an Holocene continental sabkha playa basin, Bristol Dry Lake, California. *Sedimentology* 26 (2): 239-253.
- HARDIE, L. A., LOWENSTEIN, T. K. y SPENCER, R. J. 1985. The problem of distinguishing between primary and secondary features in evaporites. Sixth Int. Symp. on Salt, Alexandría, Virginia: The Salt Inst. (I): 11-39.
- HOVORKA, S. 1987. Depositional environments of marine dominated bedded halite, Permian San Andres Formation, Texas. *Sedimentology* 34: 1029-1054.
- INGERSON, E. 1968. Deposition and geochemistry work sessions (International Conference on Saline Deposits), Mattox R. B., ed., Saline Deposits. *Geol. Soc. Am. Spec. Paper* 88: 671-681.
- KENDALL A. C. 1980a. Continental and supratidal (sabkha) evaporites. En: Facies Models. Geoscience Canada Reprint Series 1 (13): 145-157.
- KENDALL A. C. 1980b. Subaqueous evaporites. En: Facies Models. Geoscience Canada Reprint Series 1 (14): 159-174.
- LIZUAIN, A. 1983. Descripción geológica de la Hoja 38j, Salinas del Gualicho. Prov. de Río Negro. Serv. Geol. Nac., Bs. As., Bol. 95: 1-48.
- LOMBARDI, G., BRODTKORB, A., ROMERO, S., AURISICCHIO, G., SCHALAMUK, I., DEL BLANCO, M., DE BARRIO, R., MARCHIONNI, D. y MANILI, M. 1993. The salt body of the Salina del Gualicho (Río Negro, Argentina). *Boll. Soc. Geol. It.* 112: 1037-1057, Roma.
- LOWENSTEIN, T. K. y HARDIE, L. A. 1985. Criteria for the recognition of salt-pan evaporites. *Sedimentology* 32: 627-644.
- ORTICABO, F. y PUEYO MUR, J. J. 1977. Asociación halita bandeada-anhidrita nodular del yacimiento de Remolinos, Zaragoza (Sector Central de la Cuenca del Ebro). Nota petrogenética. Inst. Inv. Geol. Univ. Barcelona. XXXII: 167-202.
- ORTICABO, F. 1988. Introducción a las formaciones evaporíticas de origen marino. Curso de postgrado. UNSA, Argentina.
- RÉ, N. O. y BRODTKORB, A. 1961. Los depósitos salinos del Bajo del Gualicho y de la Península de Valdés. Prov. Río Negro y Chubut. *Anales, I Jorn. Geol. Arg.* III: 307-328.
- SEPÚLVEDA, E. 1977. Descripción geológica de la Hoja 38i, Gran Bajo del Gualicho. Prov. de Río Negro. Serv. Geol. Nac., Bs. As., Bol. 194: 1-52.

SHEARMAN, D. J. 1978. Evaporites of Coastal Sabkhas. *SEPM Short Course N° 4.*, Oklahoma City.(642 pp).

SPENCER, R. J. y LOWENSTEIN, T. K. 1988. Evaporites. Geoscience Canada Reprint Series 4: 141-163.

STEWART, F. H. 1963. Marine evaporites. *U. S. Geol. Survey, Prof. Paper*, 440-I: 1-53.

WARDLAW, N. y SCHWERDTNER, W. 1966. Halite-anhydrite seasonal layers in the Middle Devonian Prairie Evaporite Formation, Saskatchewan, Canada. *Geol. Soc. Am. Bull.* 77:331-342.



BIBLIOTECA
"Florentino Ameghino"

19 ABR. 2000

RECIBIDO 17/12/1996 # ACEPTADO 22/12/1997