

PRINCIPALES GRUPOS DE ROCAS SEDIMENTARIAS

- **Silicoclásticas: conglomerados-brechas, areniscas, pelitas**
- **Volcaniclásticas: tobas, lahares**
- **Biogénicas, bioquímicas y orgánicas: calizas, chert, carbón, fosforitas, pelitas oleosas**
- **Químicas: **evaporitas**, Fe-sedimentario?**

EVAPORITAS

- Son sedimentos químicos s.s., precipitados a partir de la concentración por evaporación de sales en salmueras.
- Las salmueras a partir de las cuales estos minerales precipitan se forman principalmente por evaporación del agua de mar, pero también a partir de lagos.
- La mayor parte de las evaporitas son de edad fanerozoica, si bien existen evaporitas en el precámbrico.
- Hasta un 25 % de las áreas continentales presentan en su sustrato rocas evaporíticas.

- El **yeso** ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), la **anhidrita** (CaSO_4), y la **halita** (NaCl) son los principales minerales componentes de las evaporitas marinas. **Trona**, **epsomita** y **borax** son especies comunes en ambientes continentales.

- De gran importancia económica por las sales de Na, K (fertilizantes), yeso (construcción), Li, B para la industria.

- También son importantes por su acción como sello en reservorios de hidrocarburos y por la formación de diapiros (forman trampas).

- Son buenos indicadores paleoclimáticos, señalando condiciones áridas con elevadas temperaturas

- En la actualidad no hay precipitación importante de evaporitas en relación a otras épocas del planeta.

Especies disueltas	Agua de mar ppm	Agua de mar % del total	Agua de río ppm
Cl ⁻	18000	55,05	7,8
Na ⁺	10770	30,61	6,3
SO ₄ ²⁻	2715	7,68	11,2
Mg ²⁺	1290	3,69	4,1
Ca ²⁺	412	1,16	15,0
K ⁺	380	1,10	2,3
HCO ³⁻	140	0,41	58,4
Br ⁻	67	0,19	0,02
H ₃ BO ₃	26	0,07	0,1
Sr ²⁺	8	0,03	0,09
F ⁻	1,3	0,005	0,09
H ₄ SiO ₄	1	0,004	13,1
Total	33000		120

Minerales de evaporitas marinas

	<i>Catión</i>	<i>Anión</i>
Halita	Na^+	Cl^-
Silvita	K^+	Cl^-
Carnalita	$\text{K}^+, \text{Mg}^{++}$	Cl^-
Kainita	$\text{K}^+, \text{Mg}^{++}$	$\text{SO}_4^{--}\text{Cl}^-$
Anhidrita	Ca^{++}	SO_4^{--}
Yeso	Ca^{++}	SO_4^{--}
Polihalita	$\text{K}^+, \text{Ca}^{++}, \text{Mg}^{++}$	SO_4^{--}
Kieserita	Mg^{++}	SO_4^{--}

Concentración de una salmuera

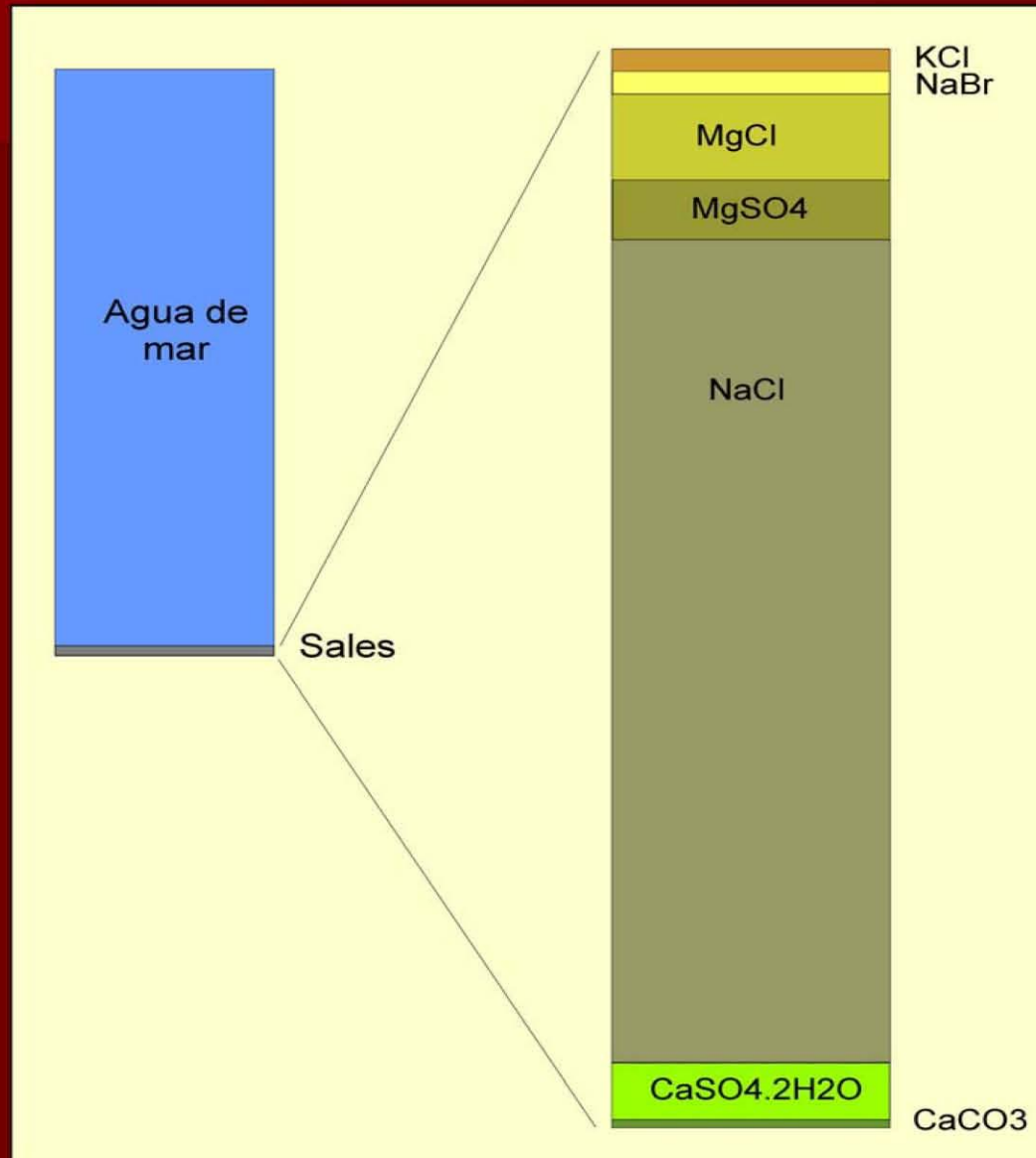


Salinas Grandes, Península de Valdés

Concentración de una salmuera

- El agua de mar normal está **subsaturada en halita y anhidrita**
- Para alcanzar las concentraciones necesarias para la precipitación de yeso es necesario reducir a un 20% el volumen del agua de mar mediante evaporación
- Para lograr lo mismo con la halita el volumen debe ser reducido a 9,5%, y a un 5% para que precipiten las sales de magnesio y de potasio.
- Si se evapora a seco una columna de agua de mar de 1000 m de profundidad producirá sólo 0.75 m de yeso y unos 13,7 m de halita.
- Sin embargo existen secuencias con gran espesor de evaporitas, cercanas a los 1000 m de espesor ... (en general con mucho yeso y poca halita)

RESULTADOS DEL EXPERIMIENTO DE USIGLIO (1849)



COMENTARIOS SOBRE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMIENTO DE USIGLIO

Esta secuencia se puede dar en condiciones naturales.

Se puede deducir que –al menos algunas evaporitas- tienden a desarrollar acumulaciones cíclicas.

La evaporación normal de una columna de agua de mar de unos 300 m puede producir depósitos evaporíticos con una potencia poco mayor de 4 m. Por lo tanto, la formación de importantes espesores de sales requiere la existencia de condiciones geológicas especiales, más complejas que la simple evaporación de una masa de agua de mar, y que perduren por largos períodos de tiempo.

Además, lo común es que las proporciones de sales acumuladas sean diferentes (mayor cantidad de yeso-anhidrita). Este exceso refleja la existencia de un ciclo evaporítico incompleto por refluo de las aguas cargadas con sales más solubles.

- Los grandes depósitos de evaporitas se han formado en cuencas intracratónicas (ej. Pérmico del Hemisferio Norte). También en plataformas o en cuencas de rift (ej. el Mar Muerto)
- Son depósitos cíclicos que suelen asociarse con calizas y margas. En los depósitos muy potentes los ciclos se inician con yeso-anhidrita, continúan con halita y luego con cloruros de Mg y K (orden de solubilidad inverso)
- Presentan las tasas de acumulación insólitamente altas (entre 10 y 100 m cada 1000 años para la halita y entre 10 y 40 m cada 1000 años para el yeso). Tasas casi instantáneas desde el punto de vista geológico que permiten rellenar cuencas de cientos de metros de profundidad en períodos de 100 o 200 mil años.

ESTRUCTURAS PROPIAS DE LAS EVAPORITAS

Las evaporitas pueden tener diversas estructuras sedimentarias, como por ejemplo una amplia variedad de estructuras mecánicas (estratificación entrecruzada, estratificación ondulítica, estratificación gradada, etc.). En general, no se reconocen en ellas estructuras orgánicas, dada la toxicidad de los ambientes de acumulación.

Hay algunas estructuras que son muy típicas de estas sedimentitas:

Estructura nodular o *chickenwire*: los nódulos son frecuentes especialmente en sulfatos como anhidrita y también yeso. Peculiarmente aparecen agrupados en el depósito.

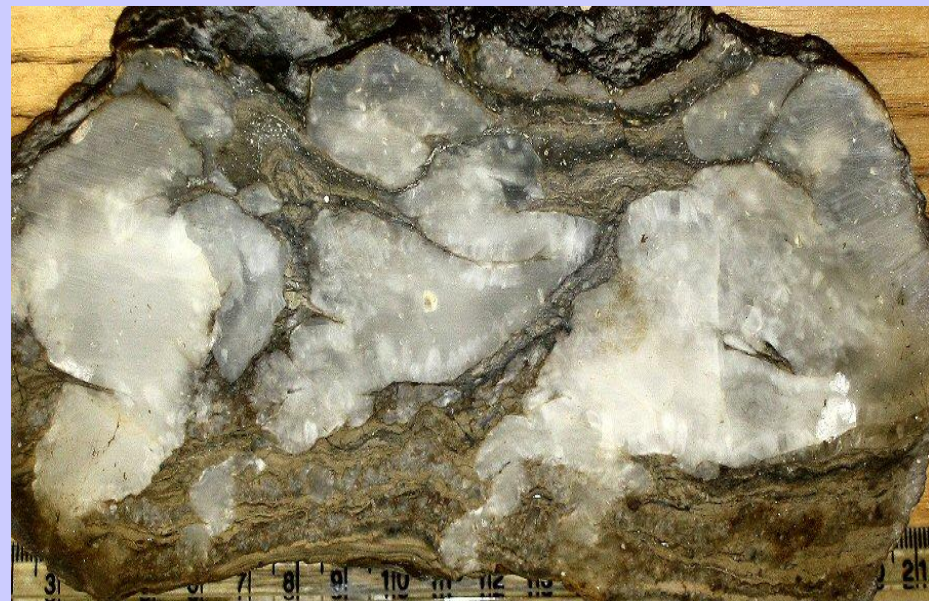
Estructura laminar: es una estructura muy típica de muchas evaporitas. Son láminas delgadas y muy delgadas, marcadas por cambios de tonalidad (en el tenor de materia orgánica) y muy frecuentemente por variaciones en la composición, por ejemplo alternancias repetitivas de halita – yeso o halita – anhidrita o sal-arcilla.

Estructura enterolítica: estructura de replegamiento interno de láminas de yeso como producto de hidratación de anhidrita y consecuente incremento de volumen.

Megapolígonos: grandes grietas de desecación con laminación interrumpida por cuñas que se extienden hacia abajo. Son típicos de las rocas salinas que se forman en cuencas sometidas a total desecación.



Early fabric of displacive enterolithic veins now preserved in late, secondary, (post-anhydrite) porphyrotopic gypsum. Soft Cockle Mb, Purbeck Formation, Worbarrow Tout . Ian West (c) 2005



Small enterolithic veins of calcium sulphate have grown obliquely upward (?) across bedding of laminated gypsum-carbonate sed. They have expanded, folded and wormed through. Purb, Worb. Scale cm. Ian West (c) 2005.

Los nódulos de yeso y las venas enterolíticas son fábricas desplazantes formadas por el crecimiento continuo del sulfato de calcio a partir de aguas capilares en los sabkhas o planicies salinas. El sulfato es muy puro porque no incluye el sedimento al crecer . El yeso puro de los nódulos se conoce como “**alabastro**”. Las venas enterolíticas son nódulos desplazantes súper-desarrollados de yeso blanco o anhidrita que han expandido y empujado al sedimento blando del sabkha. posterior.

Cristales cúbicos de halita



AMBIENTES EVAPORÍTICOS

Planicies salinas (*salt flats*)

***Sabkhas* marginales o planicies fangosas mareales vecinas o marginales al ambiente marino**

Salares y salinas del interior continental

a) **playas**

b) **interdunas o *interdraas***

Lagos de aguas saladas

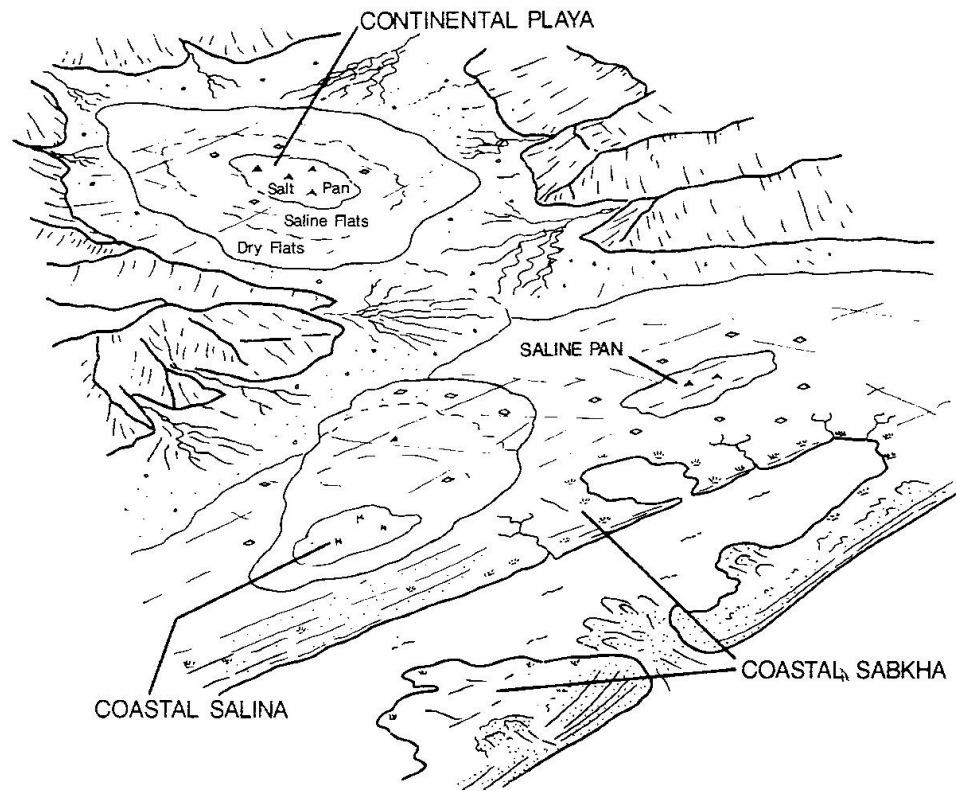
Ambientes marinos marginales







a) **Albuferas o lagos costeros**

b) **Golfos o bahías cerrados**

Ambientes marinos

Ambientes evaporíticos continentales y marginal marino

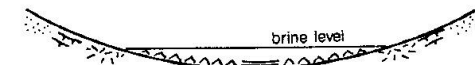


EVAPORITE FACIES	ASSOCIATED FACIES
 Brine-pan & evaporitic flat	 Dry Mudflat
 Perennial shallow-subaqueous	 Sandflat
 Displacive (in mudflat environments)	
 'deep-water' (Laminites).	

CONTINENTAL EVAPORITES

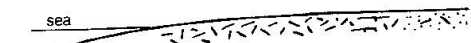


1. SALINE PAN



2. PERENNIAL SALINE LAKE

COASTAL EVAPORITES



1. SABKHA

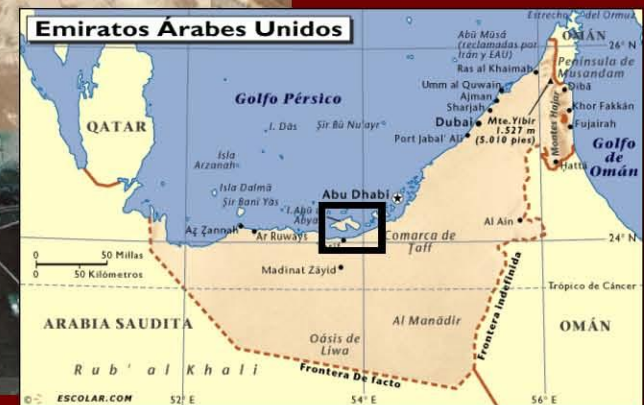
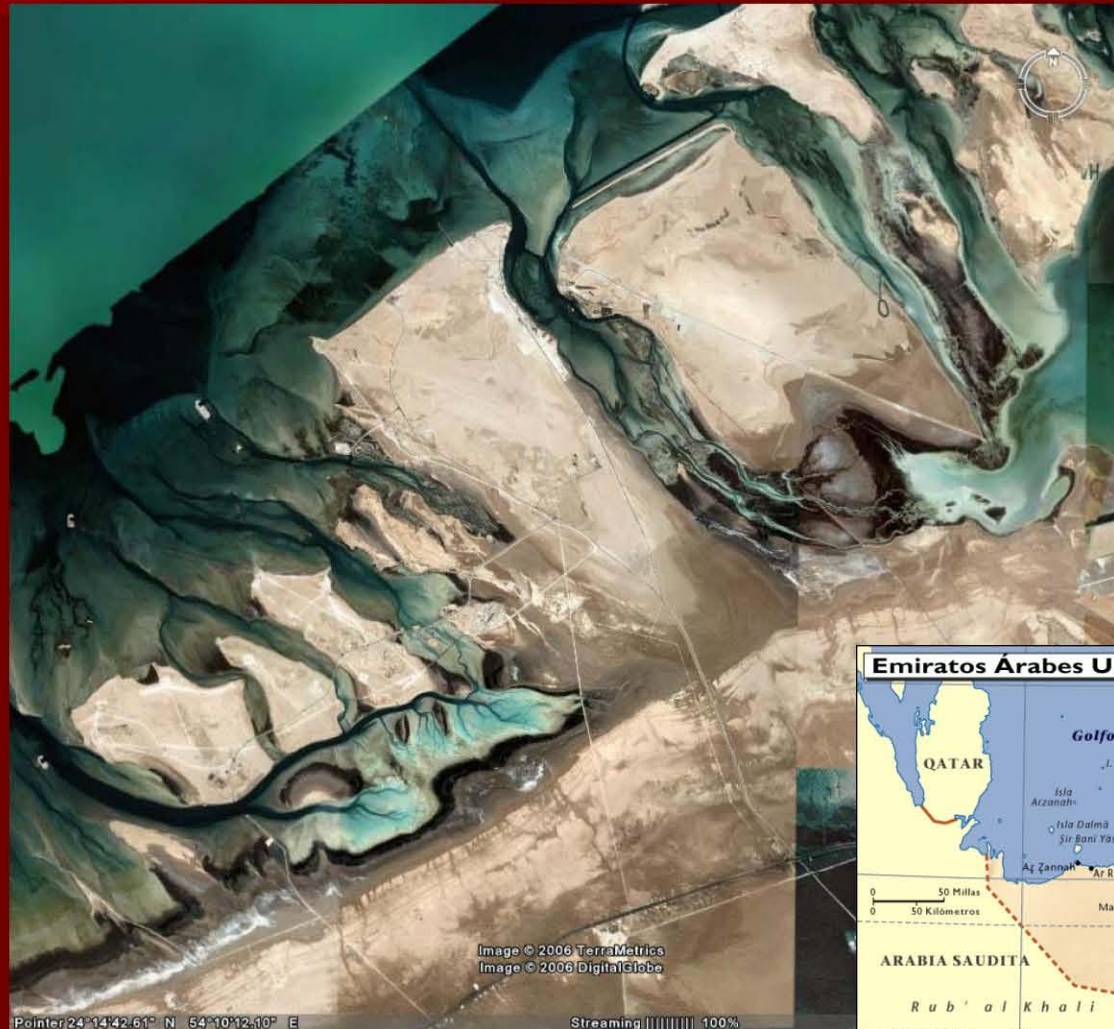


2. SALINA (EPHEMERAL)



3. SALINA (PERENNIAL)

EJEMPLO DE AMBIENTE DE SABKHA MARINO MARGINAL EMIRATOS ÁRABES UNIDOS (COSTA SUR DEL GOLFO DE ARABIA)

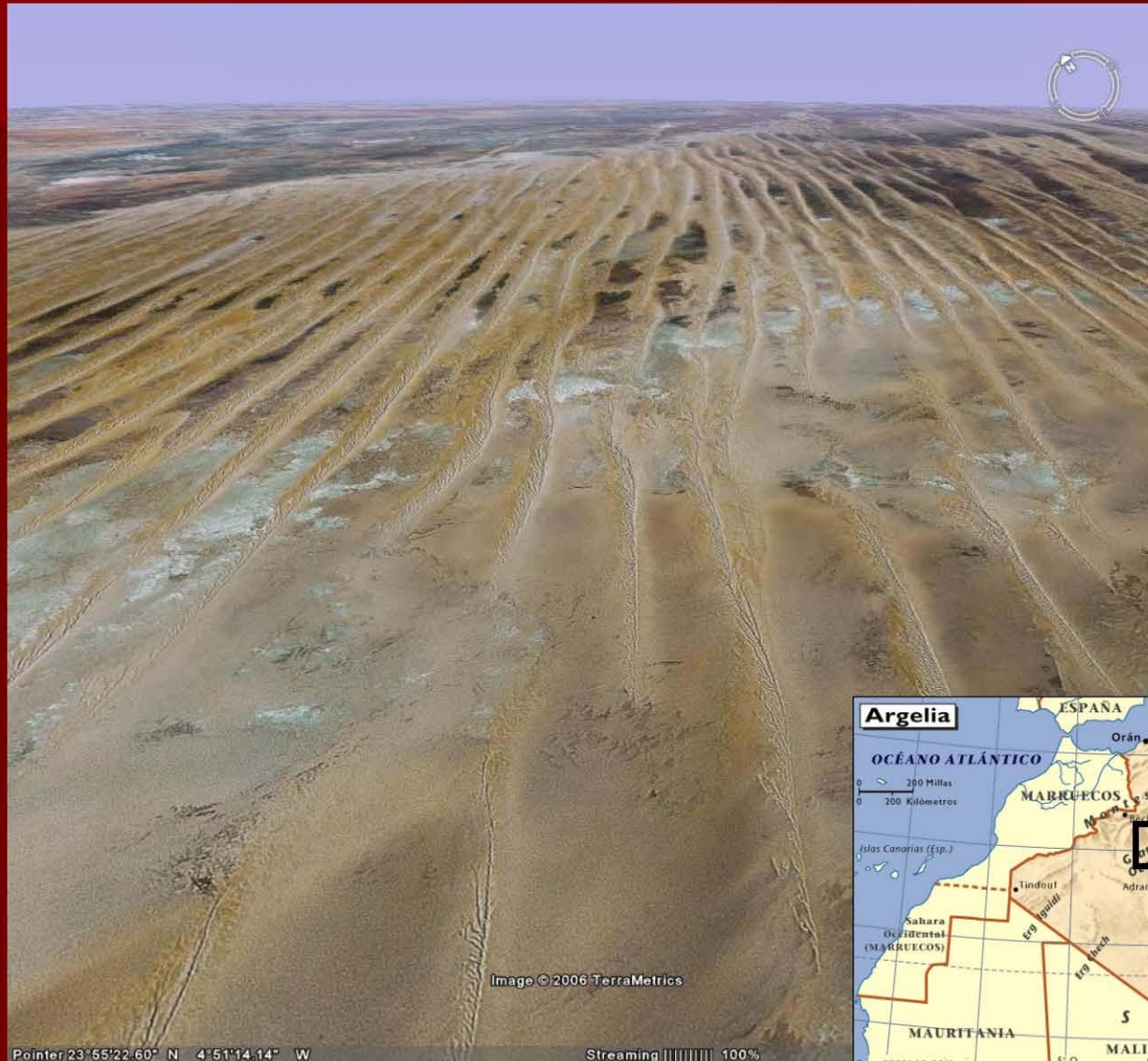


EJEMPLO DE AMBIENTE DE PLAYA EN CUENCAS ENDORREICAS

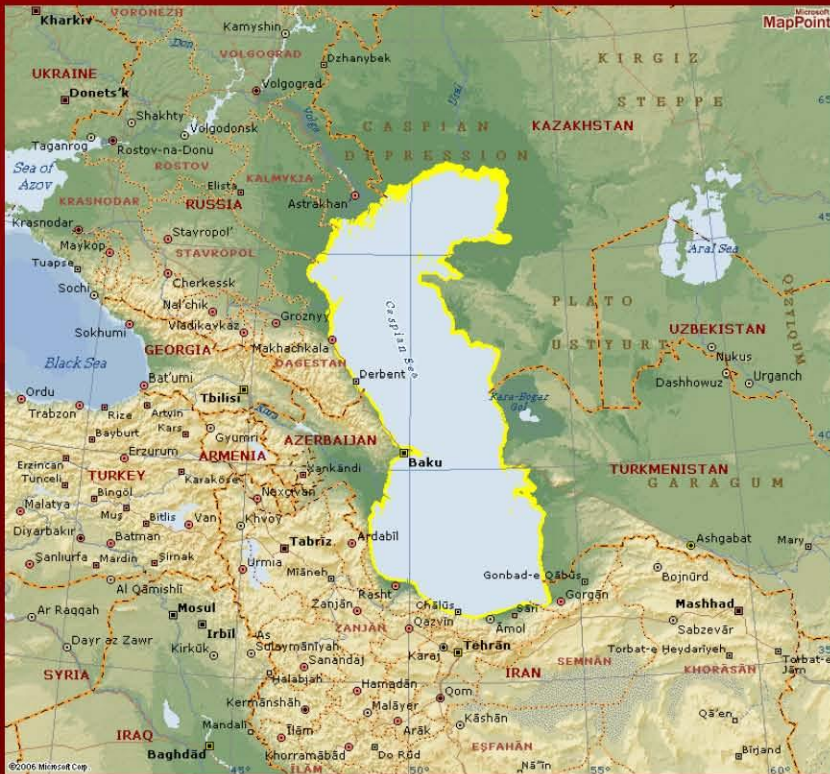
LAS SALINAS GRANDES DE LA PUNA JUJEÑA



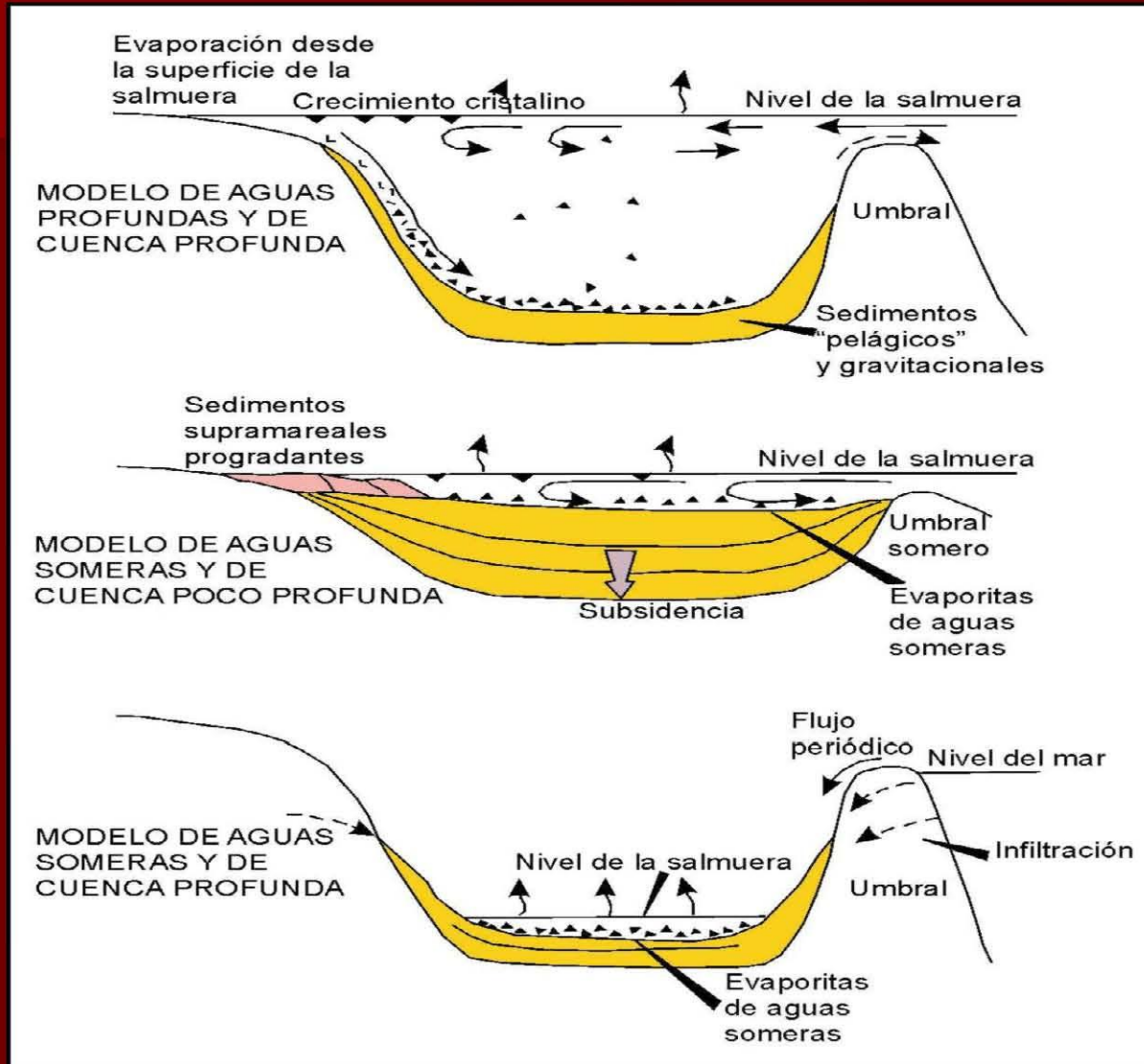
EJEMPLO DE EVAPORITAS EN AMBIENTE DE INTERDUNA. DESIERTO DEL SAHARA (ARGELIA)



EL GOLFO DE KARA BOGAZ



MODELOS EVAPORÍTICOS DE KENDALL



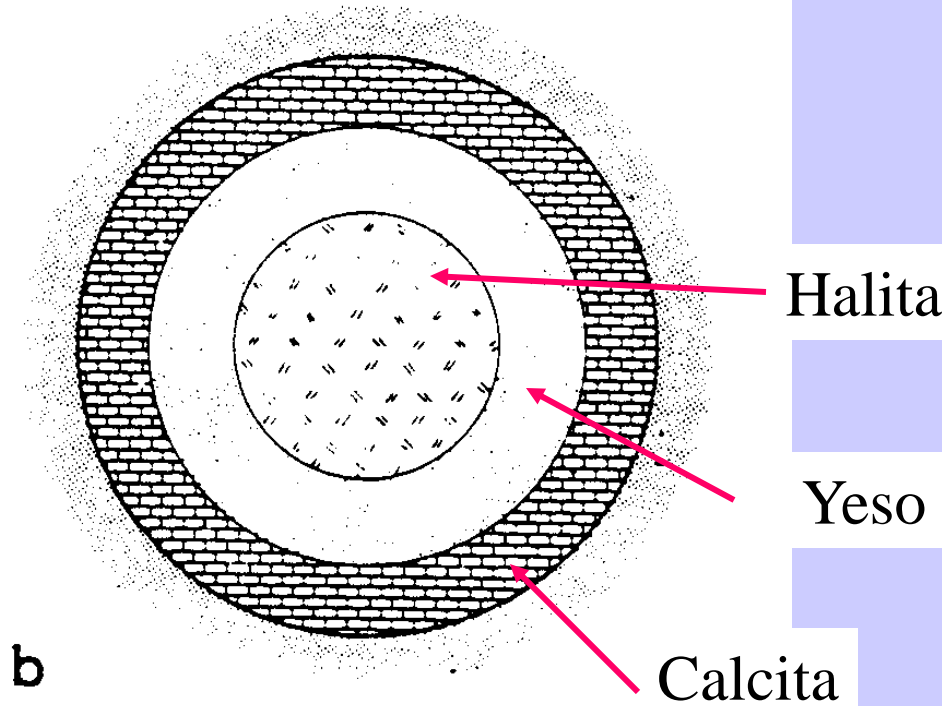
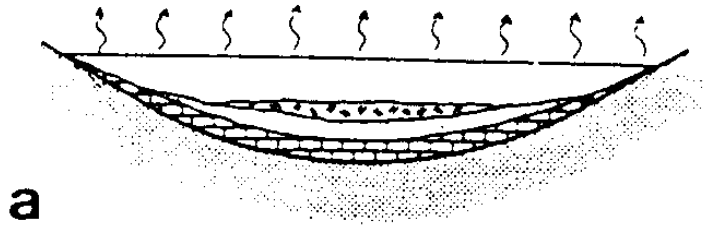
Estos modelos resumen las ideas sobre el desarrollo de las evaporitas marinas antiguas.

Permiten explicar a las acumulaciones de gran espesor, por persistencia en las condiciones de control durante largos períodos de tiempo.

La crisis de salinidad del messiniano (6 ma)

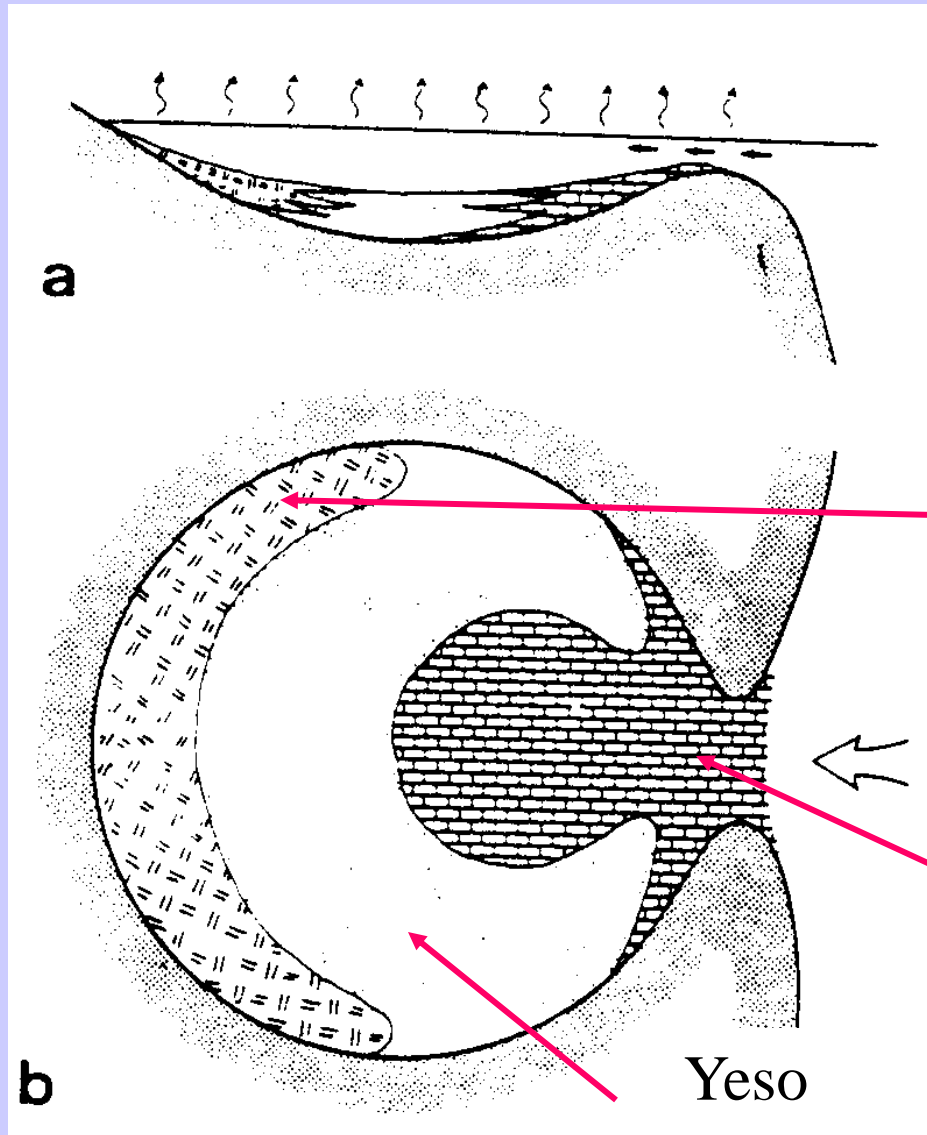


Geometría de los depósitos evaporíticos de cuerpo de agua aislado e hipersalino



Ojo de toro

EVAPORITAS DE MAR SEMI-CERRADO



Depósito en forma
de lágrima

Halita

Calcita

Yeso

ORIGEN de las EVAPORITAS MARINAS

- a) Origen de la salmuera en un mar semicerrado con comunicación con el océano (flujo y reflujo) con precipitación subácea (formación en superficie y crecimiento de cristales en el fondo).
- b) Origen de la salmuera con precipitación subaérea en pantanos salinos costeros (sabkhas). Precipitación de yeso-anhidrita en los poros del sedimento en la zona vadosa y freática superior.

Algunas consideraciones sobre las evaporitas y la evaporación

- No hay ningún **gran** cuerpo de agua marino que esté precipitando actualmente yeso en grandes cantidades. Ni siquiera el mar Rojo o el Golfo de Acaba.
- Hay albuferas con precipitación de yeso en el sur de Australia y en un golfo en el borde este del Mar Caspio, que es un ejemplo de precipitación en un mar cerrado (halita y otras sales).
- Hay sabkhas en el Golfo de Arabia (yeso-anhidrita).
- En el Mioceno tardío (Messiniano) se produjo la sedimentación de una capa de evaporitas en el mar Mediterráneo, a grandes profundidades, porque éste quedó aislado del Océano Atlántico y prácticamente llegó a secarse.

EVAPORITAS de PANTANOS SALINOS (o SABKHAS)

- Los minerales más comunes son el yeso y la anhidrita nodulares
- Crecen en forma desplazante en los poros de los sedimentos
- Se producen a partir de salmueras
- Si el clima es muy cálido y seco se forma anhidrita

(b)

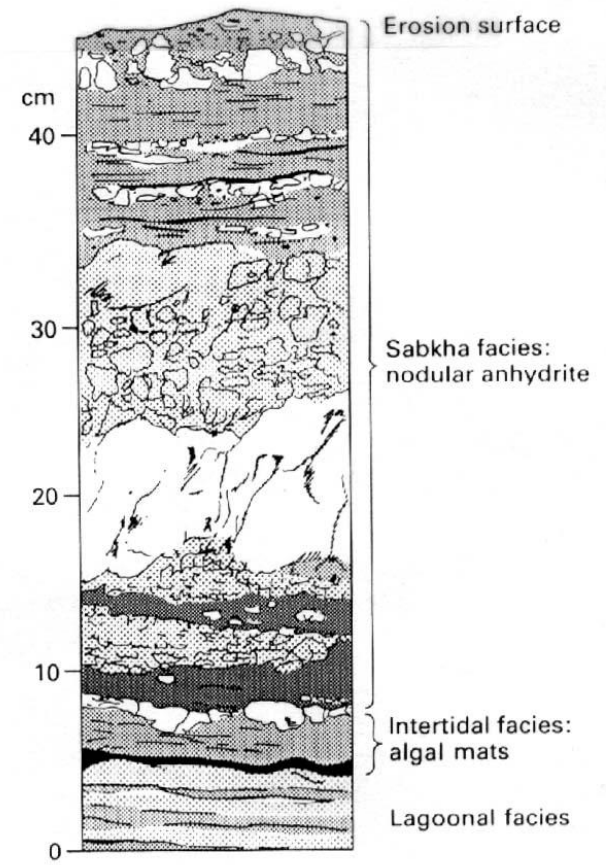
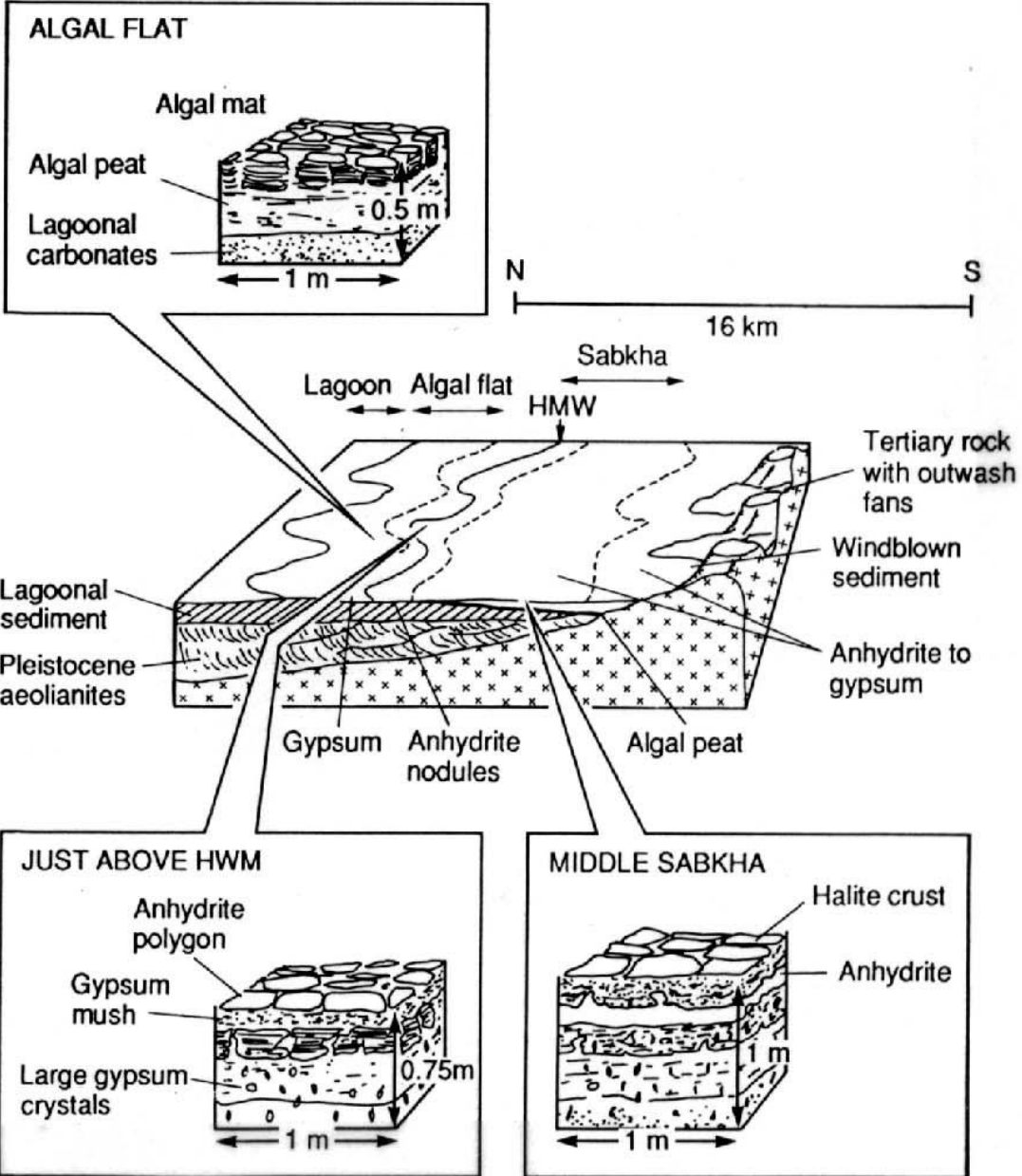
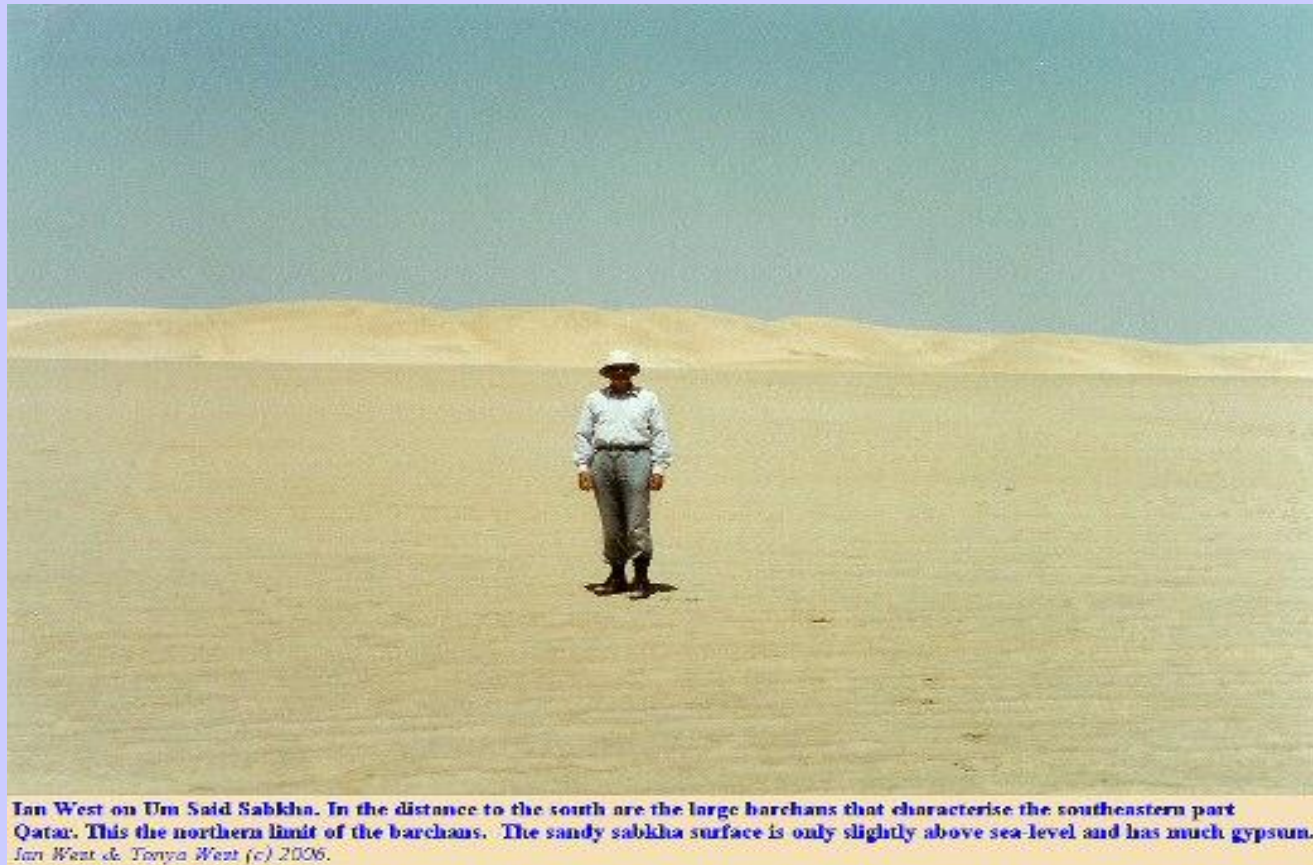


Fig. 8.36. A complete sabkha cycle in the Lower Purbeck Beds of the Warlingham borehole (after Shearman, 1966).



Borde de halita marcando el límite de inundación del mar en la tormenta anterior. Abhu Dhabi, Arabia

Sabkha Um Said, Qatar, con arena y yeso en la superficie





Halita poco consolidada y fácilmente solubilizable si hay precipitaciones, acumulándose en la parte inferior de un sabkha, por debajo hay niveles con yeso más firmes. Umm Said, Qatar



Felpudos algales (algal mats) mayormente formados por cianobacterias
En el sabkha de Umm Said, Qatar – c Ian West, Southampton.

En síntesis

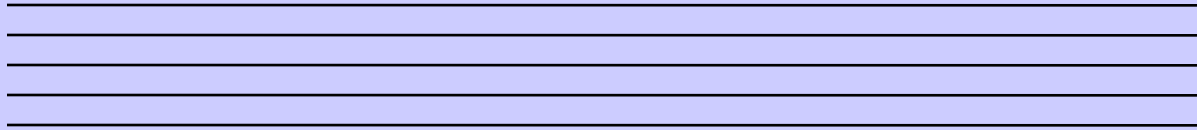
En los **sabkhas precipita casi siempre yeso**, pero con muy altas temperaturas y gran sobresaturación de sales **éste puede ser reemplazado por anhidrita de tipo nodular** (chicken-wire).

También se forma la textura enterolítica por precipitación de anhidrita en capas delgadas en áreas marginales del sabkha.

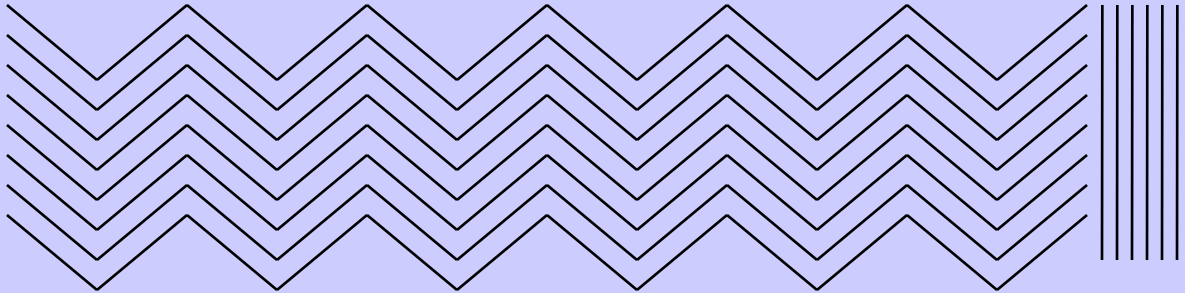
Texturas propias del yeso

El yeso que se forma en las zonas vadosas o freáticas suele mostrar crecimiento en forma de nódulos y cristales desplazantes dentro de depósitos más antiguos de tipo detrítico o carbonático.

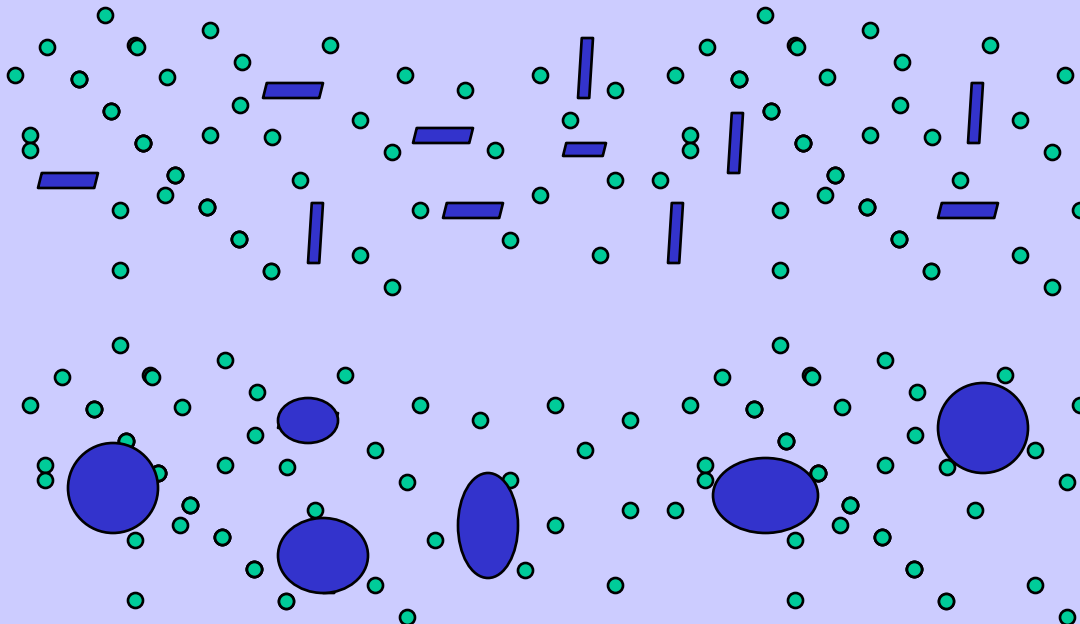
Las láminas de yeso se producen por pequeños cristales que precipitan en la masa de agua (10 a 100 μm). Alternan con láminas de diferente composición (margas, pelitas, etc.). Pueden ser anuales. El yeso crece en forma subácnea en aguas poco profundas como fibras, cristales maclados y con forma de palmas (pasto en el fondo).



Yeso laminado
Agua profunda



Yeso palmado
Agua poco profunda



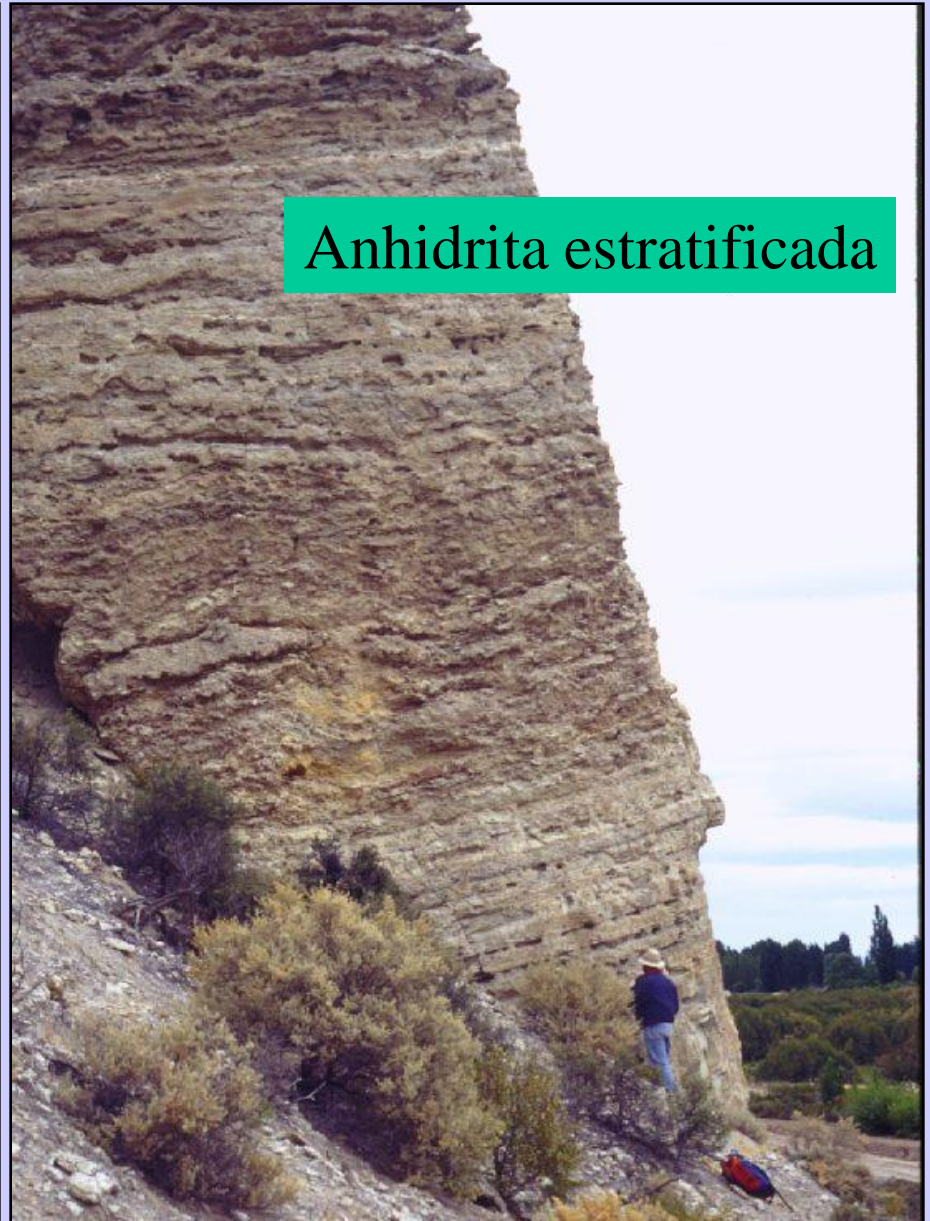
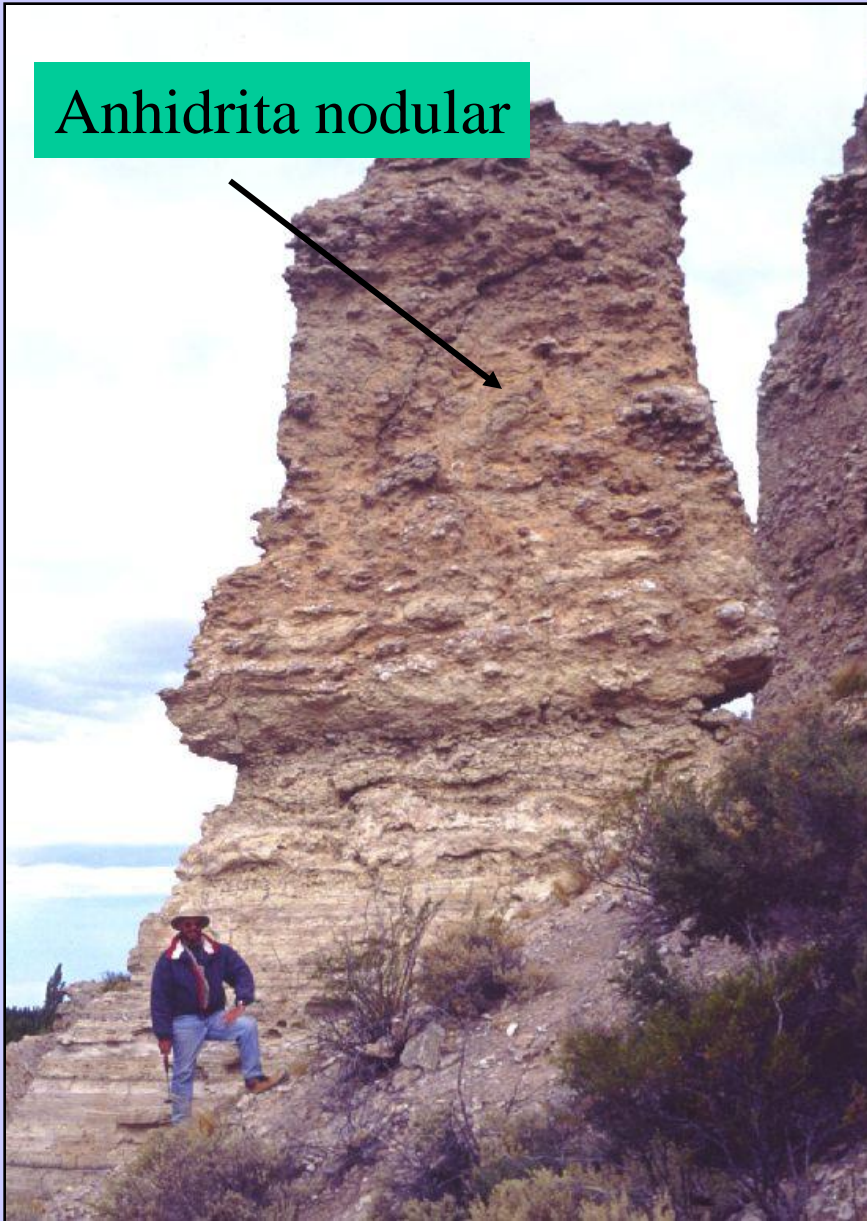
Cristales de yeso en
poros – Playa subácuea

Yeso nodular
Sabkha

Anhidrita nodular



Anhidrita estratificada



Sedimentos lacustres del Oligoceno de la F. Sarmiento, Gaiman



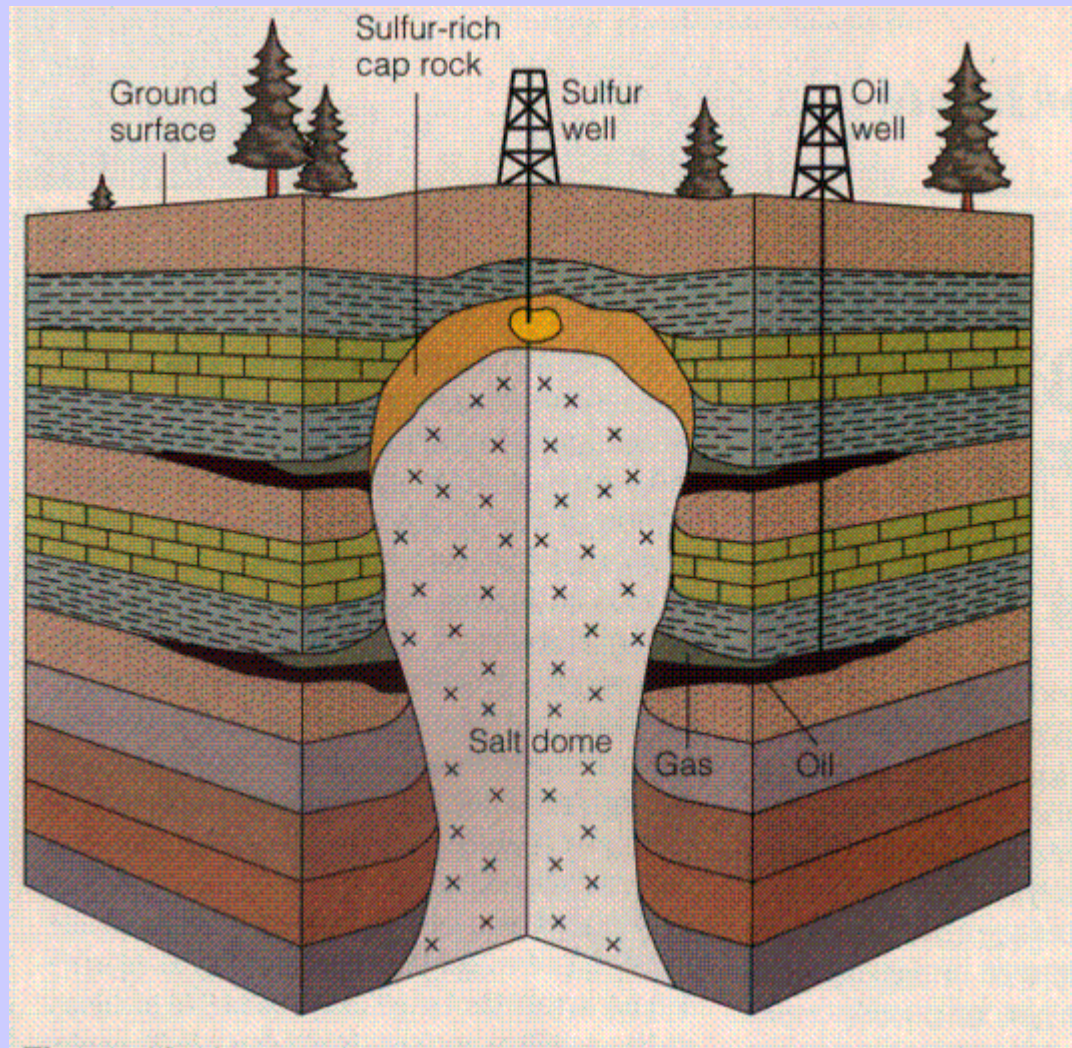
Evaporitas de albúfera

Arrecife ostrero de barrera

Mioceno del valle inferior del Río Chubut

El yeso se convierte en anhidrita durante la diagénesis con una reducción en un 38% en el volumen de sólidos, a profundidades de entre 300 y 3000 m dependiendo de la T y de la composición de las soluciones.

El volumen de anhidrita + agua es mayor que el volumen equivalente de yeso. La transformación de yeso a anhidrita puede producir presiones porales anormalmente altas, que alcancen a la presión litostática, si la permeabilidad no es suficiente para disipar las presiones de fluidos. Esto posibilita que se desarrollen con facilidad estructuras de flujo (diapiros etc.) e incluso que se desarrollen corrimientos.



Domo salino y yacimientos de S y de petróleo asociados



Domos de yeso Oligocenos en el área de Dolavon, Chubut

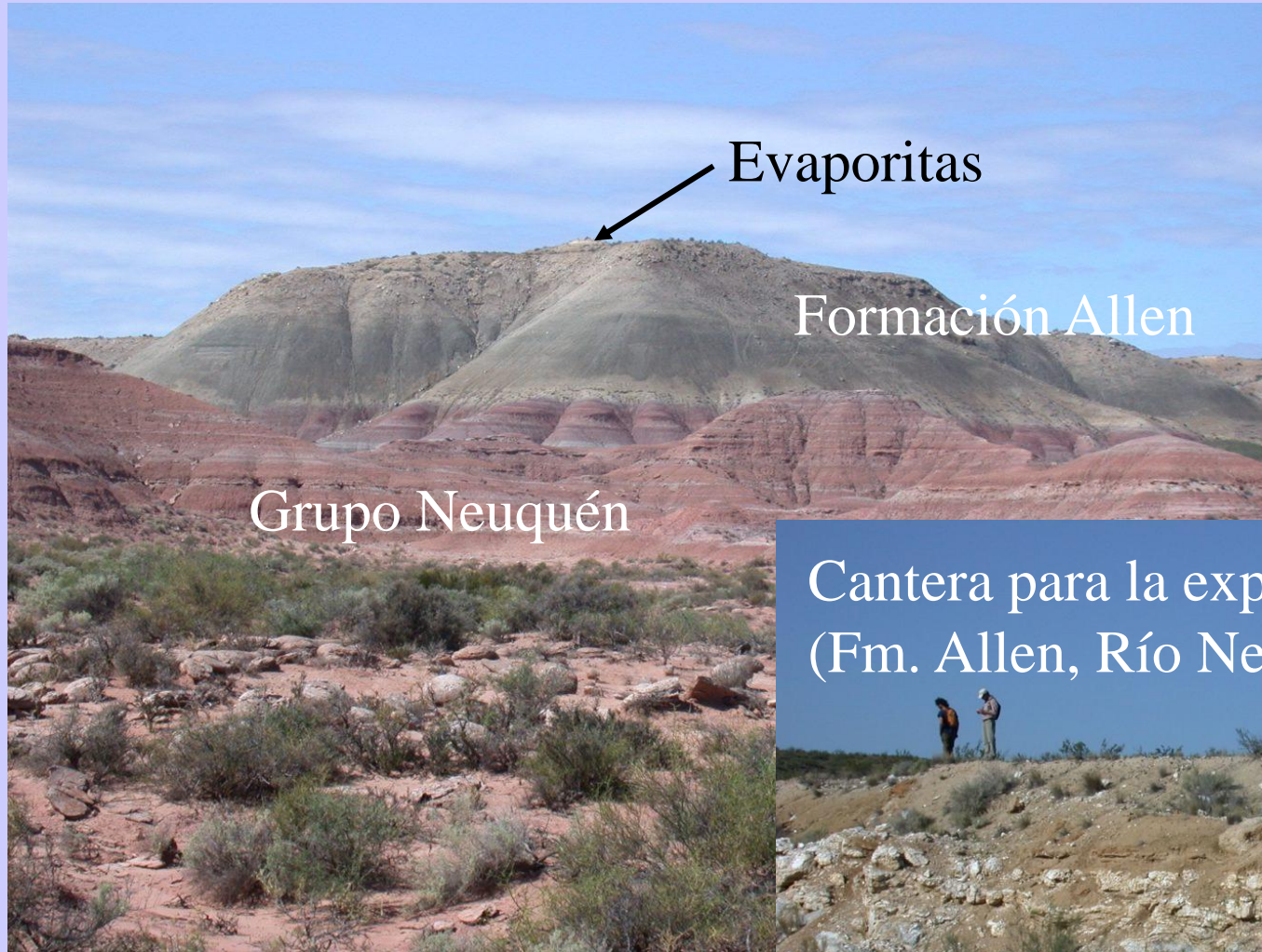
Cuando el fluído es expulsado por compactación, el espesor final se habrá reducido cerca de un 38% con respecto al original y la anhidrita todavía seguirá compactándose hasta llegar finalmente a una porosidad prácticamente nula.

La anhidrita se reconvierte a yeso antes de ser expuesta nuevamente a la superficie. Las profundidades a las que esto ocurre dependen de factores locales como las precipitaciones o la cantidad de agua circulante en el subsuelo. En estos casos se observa la formación de venas de yeso secundario paralelos y subparalelos a la estratificación con crecimiento desplazante.

Durante la diagénesis la disolución del yeso o anhidrita son fenómenos comunes, especialmente por efecto de las aguas freáticas. Esto puede llegar a producir brechas de colapso e inclusive la disolución total de los sulfatos.

En la Argentina existen importantes formaciones de yeso (las formaciones Auquilco y Huitrin) del Jurásico superior y Cretácico medio respectivamente. Alcanza espesores de 200 y 45 m respectivamente. En subsuelo aparecen espesores grandes (300 m de halita y miles de metros de facies mixtas) en la subcuenca de Olmedo, Terciario inferior de la cuenca del Noreste. En la Puna se extrae Li y B de evaporitas terciarias asociadas con volcanismo activo.

Cuenca Neuquina



Cantera para la explotación de Yeso
(Fm. Allen, Río Negro)





Interestratificación de yeso con sedimentos clásticos



Sal de roca, boratos y evaporitas más solubles

En el registro geológico se han observado perfiles de halita de hasta 1000 m de espesor con cantidades subordinadas de yeso o anhidrita, a veces dispuestas en forma de láminas o capas guía dentro de la sal.

La restricción de los cuerpos de agua para la formación de halita y hidroboracita debe ser aún mayor que para los sulfatos, a los que se encuentran asociadas.

Los boratos, principalmente hidroboracita (borato de calcio) se forman en cuencas cerradas asociadas con vulcanismo o con actividad hidrotermal. Hay importantes yacimientos de B en el Mioceno de la Puna, en Argentina.

La halita puede crecer en la zona vadosa y suele presentar crecimiento desplazante.

Presenta laminación paralela, con colores que cambian por contenidos variables de arcilla, si precipita a partir de la masa de agua.

Cuando el volumen de agua llega a un valor equivalente a 1/20 del volumen original, pueden precipitar polihalita



Los minerales más comunes de sulfatos y cloruros solubles son la silvita, la carnalita y la kainita.

En general los últimos estadios de la evaporación son muy complejos. El tipo de minerales que se producen depende de si los cristales formados con anterioridad han sido removidos de la superficie y no pueden entrar en contacto con los fluidos residuales.