

EVAPORITAS

Dr. Luis A. Spalletti
Cátedra de Sedimentología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo,
Universidad Nacional de La Plata. 2006.

Las evaporitas son rocas formadas por la evaporación de aguas salinas. Para que se formen es esencial que el ritmo de evaporación exceda al de los aportes de aguas.

Estas rocas se pueden acumular en ambientes marinos, marinos marginales y continentales. La mayoría de los depósitos antiguos de mayor desarrollo se han formado en cuencas marinas hasta marinas marginales.

Las evaporitas se encuentran en todo el registro geológico, desde el Precámbrico, aunque son más comunes en las sucesiones del Fanerozoico. Resultan particularmente importantes en el Cámbrico tardío, Pérmico, Jurásico y Mioceno.

Se caracterizan por procesos de acumulación que suelen ser muy rápidos. Por ejemplo 100 m de espesor de estos sedimentos pueden representar a 1000 años de edad. Las famosas evaporitas mesinianas del Mediterráneo (Mioceno tardío) alcanzan un registro de 2 km y se depositaron en unos 200.000 años.

Son típicas de condiciones climáticas secas, pero la temperatura puede ser muy variada. Aunque son más frecuentes en regiones cálidas, también se forman en zonas áridas de muy altas latitudes.

La velocidad de acumulación varía de acuerdo a la temperatura. En las regiones frías es mucho más lenta.

LOS MINERALES DE LAS EVAPORITAS

El mineral que la constituye sirve para darle la denominación a la roca.

Están compuestas esencialmente por halita, anhidrita y yeso, pero entre las evaporitas pueden aparecer numerosos minerales.

Entre los sulfatos, la especie más común es el yeso, aunque la anhidrita se hace más abundante en condiciones de soterramiento superiores a los 600 m. Se asume que este cambio se debe al proceso de deshidratación de yeso.

LOS MINERALES DE LAS EVAPORITAS

Minerales evaporíticos más comunes

Cloruros	Halita	NaCl
	Silvita	KCl
	Carnalita	CaMgCl ₃ .6H ₂ O
Sulfatos	Anhidrita	CaSO ₄
	Yeso	CaSO ₄ .2H ₂ O
	Polihalita	K ₂ MgCa ₂ (SO ₄) ₄ .2H ₂ O
	Kieserita	MgSO ₄ .H ₂ O
	Epsomita	MgSO ₄ .7H ₂ O
Carbonatos	Trona	Na ₃ (CO ₃)(HCO ₃).2H ₂ O
	Natron	Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O
Boratos	Bórax	Na ₂ B ₄ O ₇
Nitratos	Soda	NaNO ₃

RASGOS PRINCIPALES DE LA HALITA, EL YESO Y LA ANHIDRITA

La **halita** suele presentarse en cristales de contornos cuadrados e isótopos (cúbica), también en individuos con forma de tolva (caras esqueléticas e interior hueco), piramidales y dentados. Su tonalidad es clara (blanca), aunque suele ser más oscura cuando posee inclusiones de anhidrita. En la halita son comunes las inclusiones fluidas que han permitido determinar temperaturas de cristalización entre 32°C y 48°C.

El **yeso** y la **anhidrita** aparecen como cristales de variada textura) desde gruesa a fina, y también como individuos fibrosos. Los cristales de **yeso** (monoclínicos) poseen bajo relieve y escasa birrefringencia. Pueden mostrar formas cristalinas especiales, como selenita (grandes individuos transparentes) y rosetas. La **anhidrita** (rómbrica) suele tener textura algo más gruesa, alto relieve y elevada birrefringencia.

LOS MINERALES DE LAS EVAPORITAS MARINAS

La salinidad media del agua de mar es de 35 ppm.

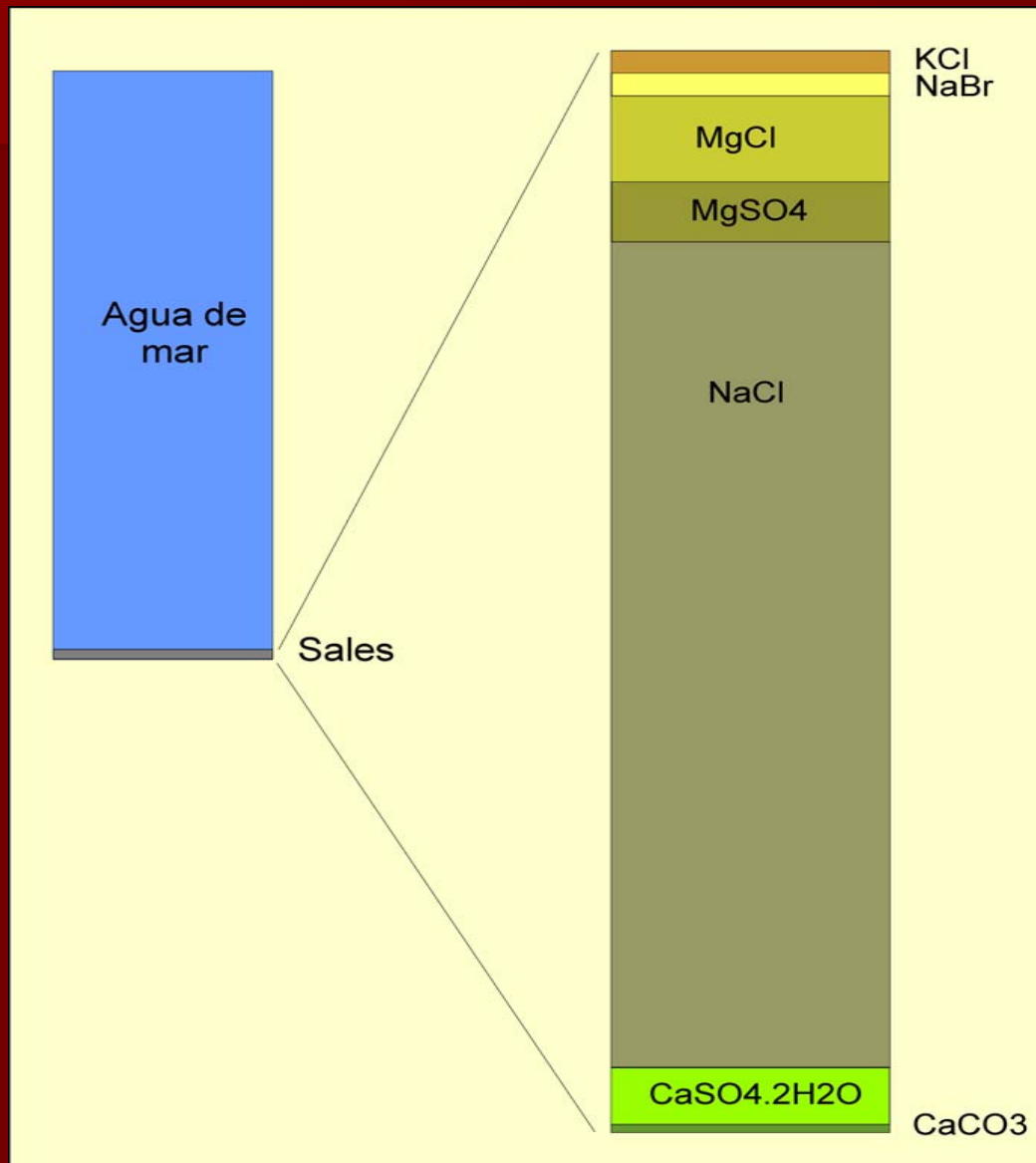
Los elementos disueltos más comunes son Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} , Mg^{+2} , Ca^{+2} , K^+ y HCO_3^- . En menor proporción se encuentran Sr, B, F, y H_4SiO_4 .

A medida que se avanza la evaporación (o se concentra la salmuera) se produce una precipitación con tendencia ordenada de las sales: yeso-anhidrita, halita y finalmente sales higroscópicas de potasio y magnesio, tales como silvita (KCl), carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), polihalita ($\text{K}_2\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y kieserita ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

CONDICIONES DE PRECIPITACIÓN DE LAS EVAPORITAS MÁS COMUNES EN AGUA DE MAR

Tipo de compuesto	Concentración ppm	Límites para la precipitación		Espesor de agua (m) evaporada por 1 m de sal
		Volumen de agua	Salinidad ppm	
CaCO ₃	0,12	53-19%	72	25.000
CaSO ₄ .2H ₂ O	1,27	19-3%	200	2.100
NaCl	27,2	9,5-1,6%	353	73
MgSO ₄	2,25	9,5-0%	353	
MgCl ₂	3,35	9,5-0%	252	
KCl	0,74	1,5-0%	?	

RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 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 reflujos de las aguas cargadas con sales más solubles.

LOS MINERALES DE LAS EVAPORITAS CONTINENTALES

Se forman a partir de aguas de ríos o del suelo en las que se produce aumento en la concentración de sales disueltas.

En ambiente continental la geoquímica del agua es muy variable, dependiendo de la litología de los materiales que han sido meteorizados y puestos en solución por las aguas circulantes.

Además de su complejidad, las evaporitas continentales pueden estar constituidas por minerales que no son comunes en las marinas. Por tanto, además de halita, yeso y anhidrita se pueden encontrar especies tales como trona ($\text{NaHCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), thenardita (Na_2SO_4), mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), glauberita ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$), epsomita ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$).

La halita es por lejos la evaporita más común en estos ambientes. No obstante, algunos de estos minerales “raros” pueden ser componentes esenciales de depósitos evaporíticos continentales.

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 ensanchan hacia abajo. Son típicos de las rocas salinas que se forman en cuencas sometidas a total desecación.

CONDICIONES NECESARIAS PARA LA FORMACIÓN DE EVAPORITAS EN UNA CUENCA SEDIMENTARIA

Clima árido. Evaporación en exceso. En cuencas marinas, falta de contribución de aguas dulces.

Carencia de aportes clásticos a la cuenca sedimentaria.

Aislamiento parcial de la cuenca evaporítica. En condiciones marinas, aislamiento del mar abierto por la presencia de una barrera que restrinja la circulación del agua y retenga las salmueras.

PRINCIPALES PROCESOS DE DEPOSITACIÓN

En general, se asume que las evaporitas son productos de precipitación química a partir de salmueras.

No obstante, debe tenerse presente que los componentes originales pueden ser removilizados por agentes newtonianos (agua, viento) o por flujos gravitacionales de sedimentos como corrientes de turbidez y desmoronamientos.

LAS EVAPORITAS DEL PRESENTE Y DEL PASADO

En la actualidad, las acumulaciones más comunes de evaporitas se producen en ambientes de sabkhas, en salares o salinas y en áreas de interduna.

Por el contrario, numerosas evaporitas del registro geológico parecen haberse formado en ambientes marinos, desde someros a relativamente profundos.

Boggs (1992) ha señalado que el uniformitarismo no es una buena guía para comprender a las evaporitas del pasado.

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

Planicies salinas (salt flats): son planicies de fango que pueden quedar cubiertas por breves lapsos con aguas muy poco profundas. Las evaporitas se acumulan por precipitación directa sobre el fondo, por eflorescencias o como minerales “desplazativos” en la zona de ascenso capilar, por encima de la tabla de agua salina.

Se reconocen dos tipos de sabkhas:

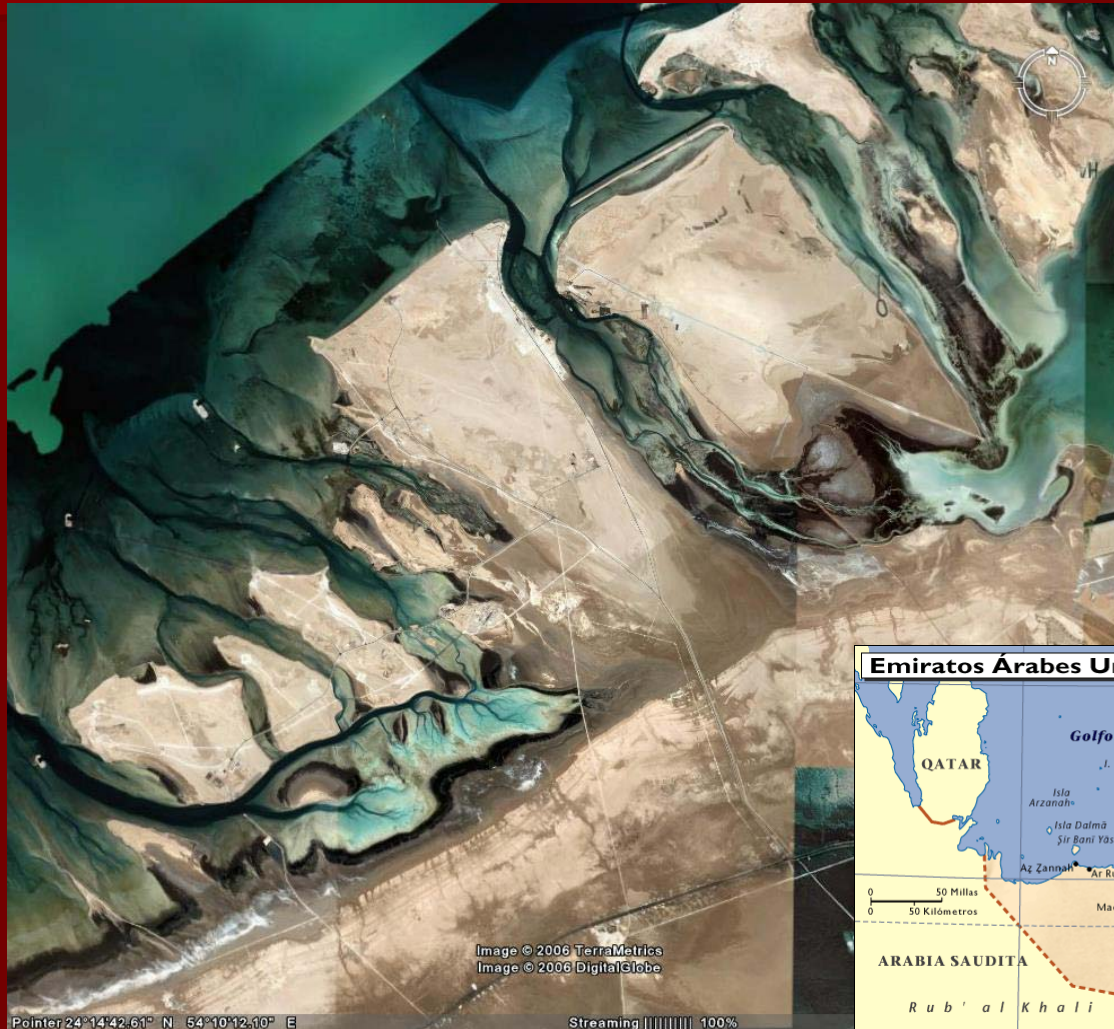
Sabkhas marginales o planicies fangosas mareales vecinas o marginales al ambiente marino (comunes en el Golfo de Arabia). Las aguas tienen procedencia marina.

Salares y salinas del interior continental donde se forman asociaciones complejas de sedimentos terrígenos, carbonatos y evaporitas, y entre los que se dan dos situaciones:

a) **playas** o cuencas endorreicas en las que las sales se asocian con depósitos fluviales y lacustres someros, e

b) **interdunas o interdreas**, evaporitas asociadas con arenas eólicas y depósitos pelíticos de decantación suspensiva.

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

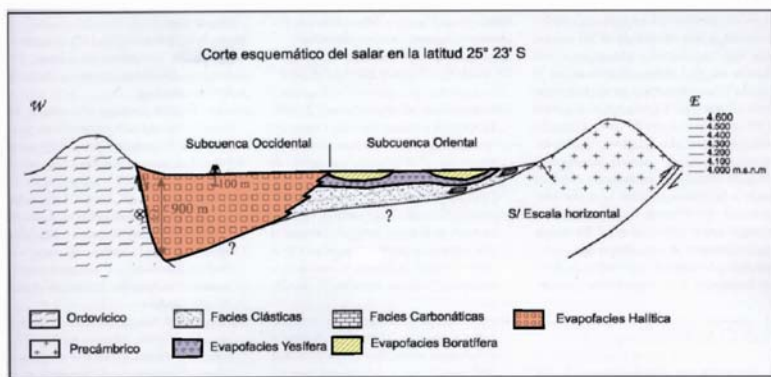
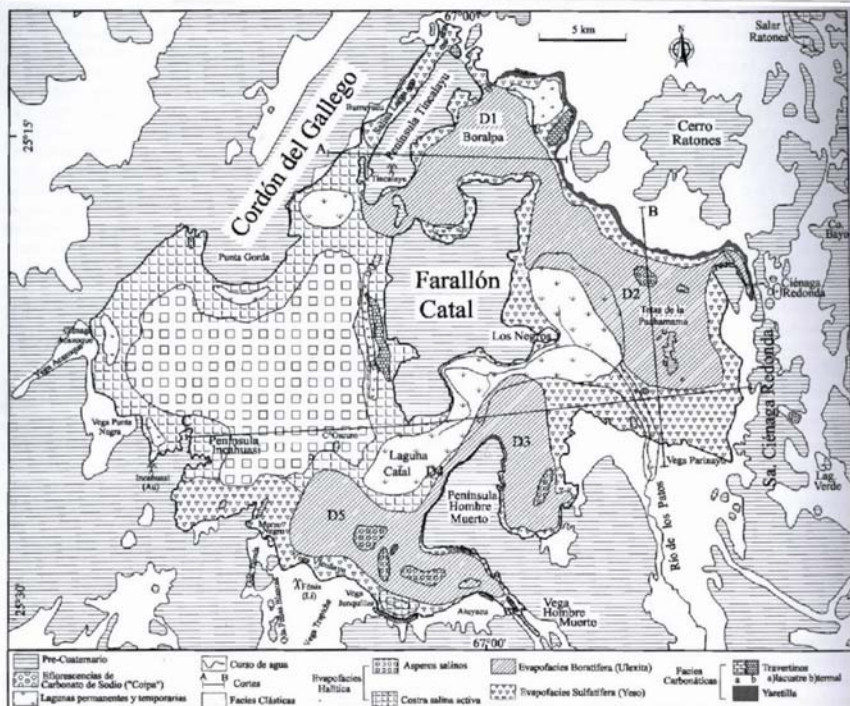


EJEMPLO DE AMBIENTE DE PLAYA EN CUENCAS ENDORREICAS LAS SALINAS GRANDES DE LA PUNA JUJEÑA



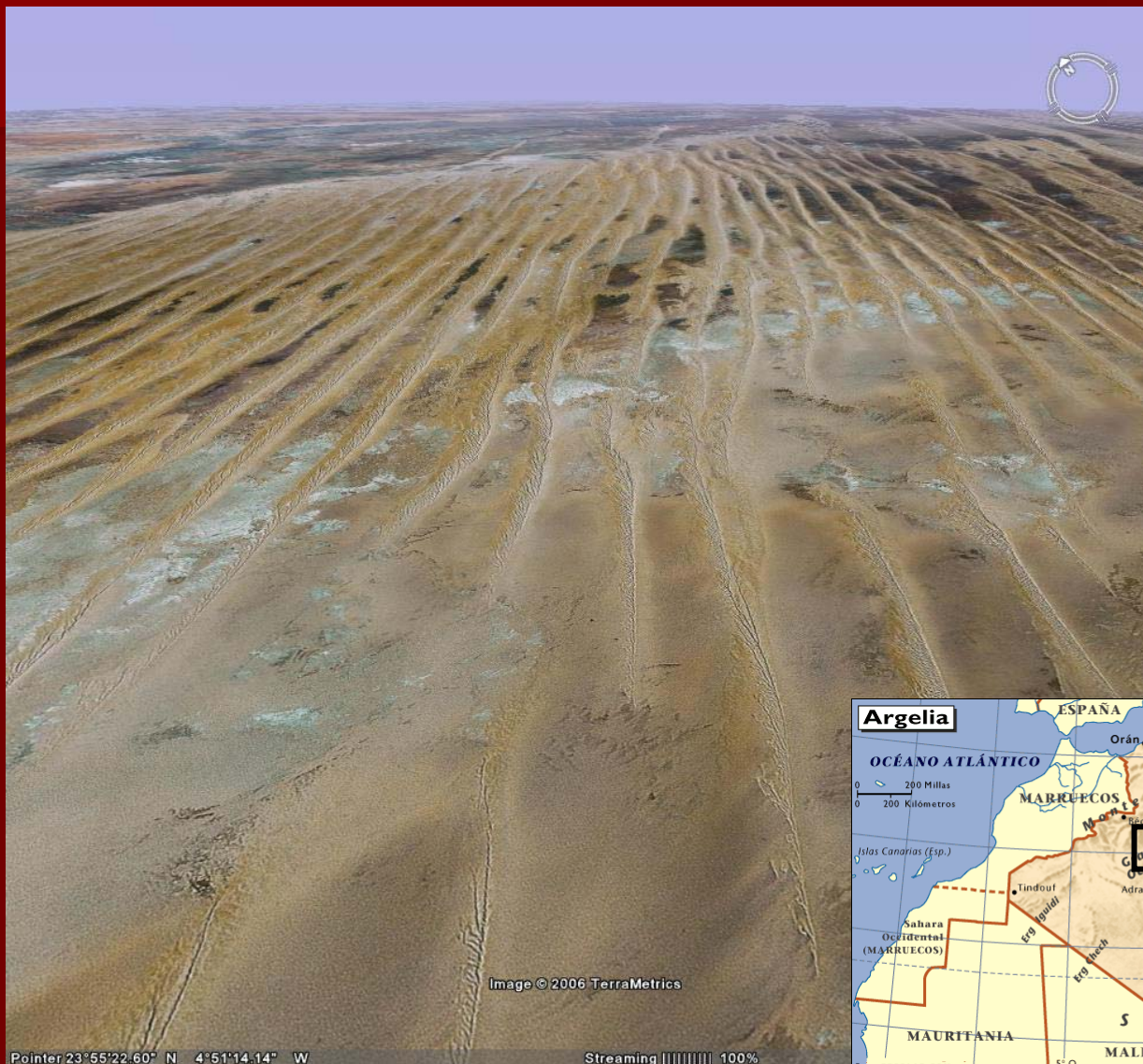
EJEMPLO DE AMBIENTE DE PLAYA EN CUENCAS ENDORREICAS

El Salar de Hombre Muerto



Vinante & Alonso (2006)

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



AMBIENTES EVAPORÍTICOS



Lagos de aguas saladas. Son cuerpos del interior continental que a diferencia de los ambientes anteriores se caracterizan por la presencia de aguas más permanentes que en las playas.

El ejemplo mejor conocido es el del **Lago Magadi** (Kenia), del rift africano. Es un lago alcalino de región seca en el que se acumulan carbonatos de sodio, como trona, en asociación con silicatos de sodio (magadiita). Está alimentado por aguas de emanaciones volcánicas.

Los espesores de sal pueden superar los 40 m.



AMBIENTES EVAPORÍTICOS

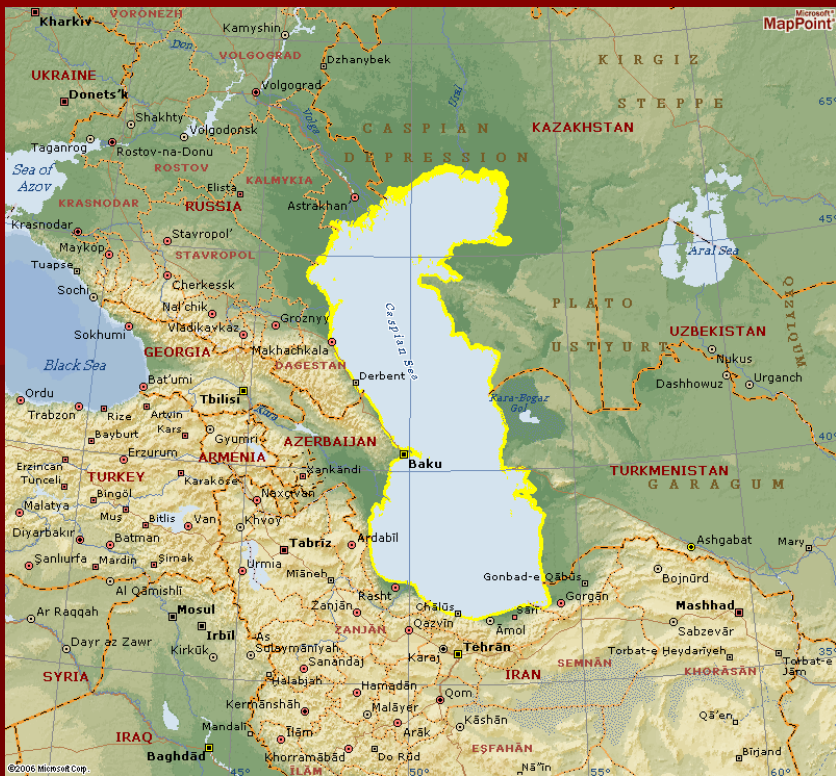
Ambientes marinos marginales. Con aguas someras, pero permanentes y con circulación restringida. El componente más común en estos ambientes es el sulfato (con frecuencia yeso), pero hay casos en los que se registra precipitación de halita.

Se reconocen dos situaciones:

a) **Albuferas o lagos costeros**, los que suelen estar parcialmente aislados del mar por la presencia de abultamientos carbonáticos (clásticos o arrecifales). Se los identifica en regiones costeras de Australia, del Mediterráneo, del Mar Negro y del Mar Rojo.

b) **Golfos o bahías cerrados**, sólo vinculados al mar abierto por canales estrechos. El ejemplo más emblemático es el Golfo de Kara Bogaz en el Mar Caspio.

EL GOLFO DE KARA BOGAZ



EL GOLFO DE KARA BOGAZ

Kara Bogaz Kol (Garabogazköl, *Lago de la Garganta Negra*) es una depresión de escasa profundidad, a pocos metros bajo el nivel del mar, ubicada en la zona noroccidental de Turkmenistán, en la costa este del Mar Caspio. Su superficie es de 18.100 km², pero su profundidad máxima es de sólo 3,5 m.

Una estrecha barra litoral arenosa la separa de las aguas del Mar Caspio. En épocas en que el nivel de este mar aumenta, la depresión se inunda, formando así un golfo, pero cuando desciende domina la evaporación y la precipitación salina.

El golfo posee un índice de salinidad muy elevado (un 35% en comparación con el 1,3% del mar Caspio), prácticamente no posee vegetación marina, el fondo se mantiene en condiciones anaeróbicas y, según los sectores y los tiempos, predomina la precipitación de halita, hepsomita y astrakhanita ($\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

AMBIENTES EVAPORÍTICOS

Ambientes marinos. El único ejemplo actual es el del Mar Muerto, pero existen diversos modelos teóricos destinados a explicar el desarrollo de las evaporitas marinas del pasado geológico.

En estos ambientes, las evaporitas forman cuerpos de rocas carbonáticas, sulfáticas y de sal de roca (halita) muy continuos. Alcanzan desde decenas a centenares de metros de espesor.

En su mayoría, las evaporitas son precipitados químicos que se han acumulado a ritmos de sedimentación muy veloces, pero aparecen también depósitos de retrabajamiento, como por ejemplo turbiditas localizadas hacia las partes más profundas de las cuencas.

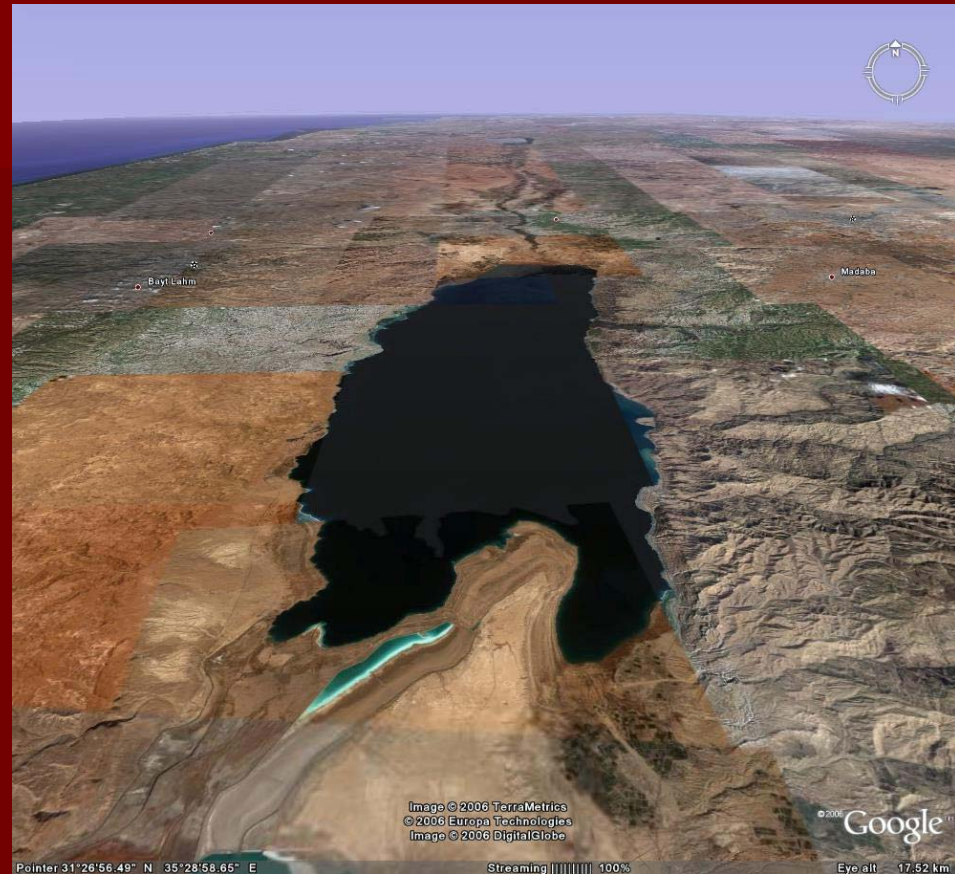
Estas cuencas están aisladas de las aguas oceánicas por la existencia de un umbral geológico.

MODELOS DE AMBIENTES EVAPORÍTICOS EN CUENCAS MARINAS

Kendall (1979) ha propuesto tres modelos esenciales:

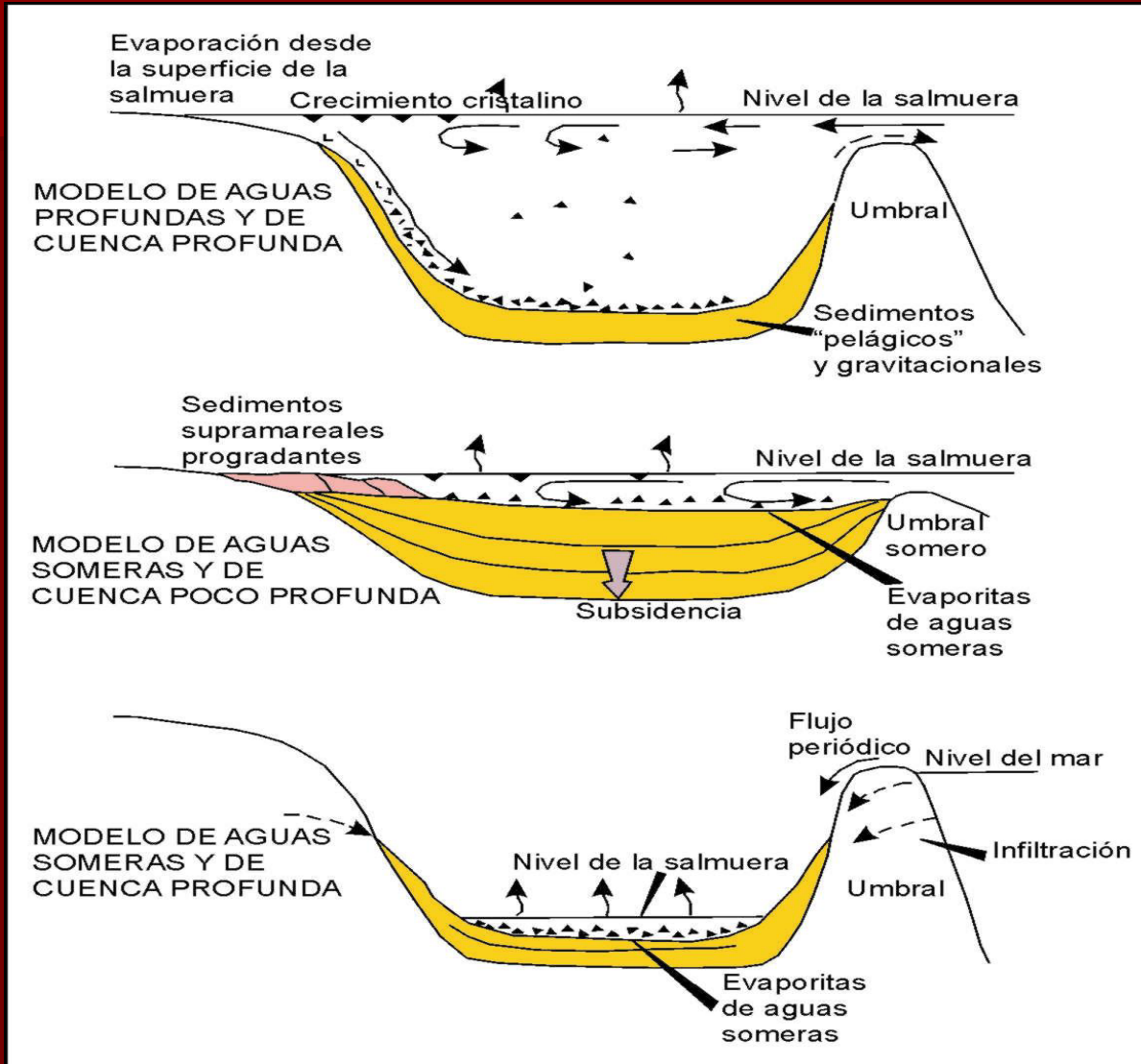
- a) de aislamiento parcial en aguas profundas y cuenca profunda,
- b) de aislamiento parcial en aguas someras y cuenca poco profunda,
- c) de aguas someras y cuenca profunda.

EL MAR MUERTO: MAR O LAGO ?



Se encuentra a 418 m por debajo del nivel del mar actual. Permanentemente sujeto a grandes oscilaciones del nivel del mar en el Cuaternario, pasó por etapas de conexión y desconexión marina. En su margen sur, las precipitaciones no superan los 50 mm anuales. Sus aguas tienen alto contenido salino, están estratificadas por temperatura y densidad, y en el fondo se produce la precipitación de halita. Las acumulaciones de sal son potentes (varias decenas de m) en el sector SE.

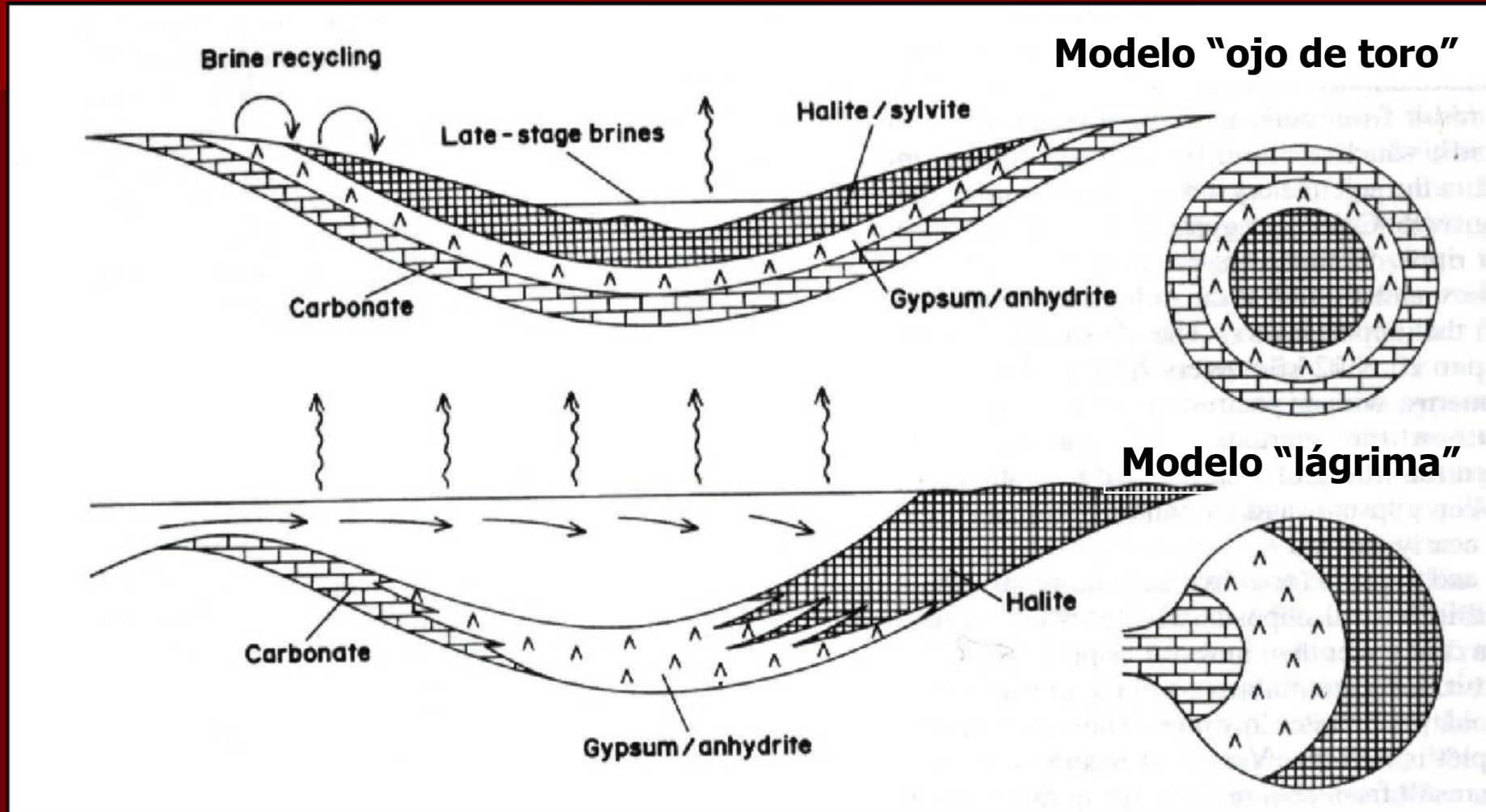
MODELOS EVAPORÍTICOS DE KENDALL



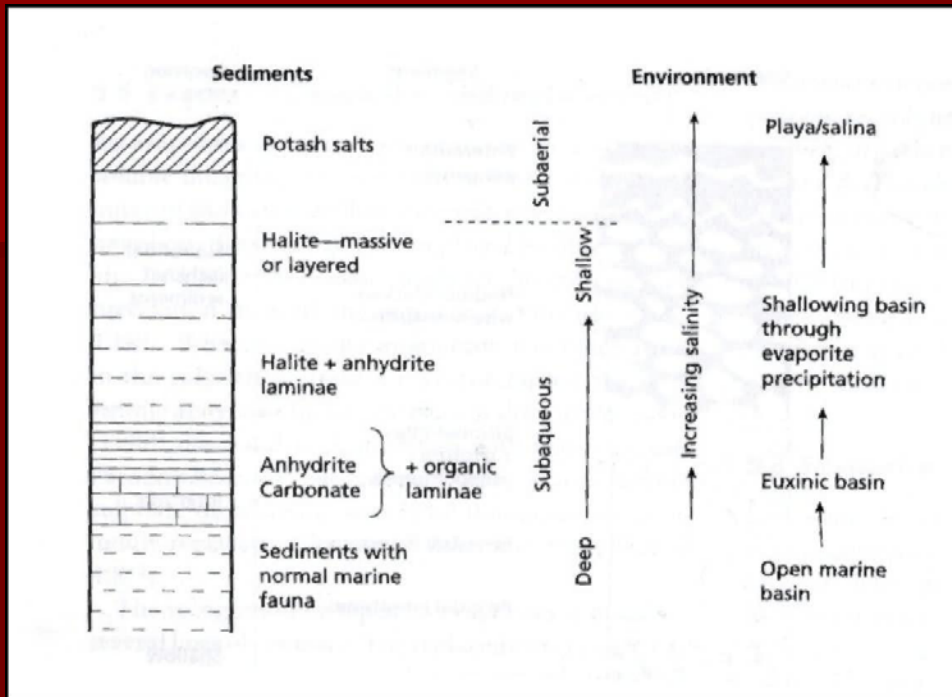
Estos modelos resumen las ideas sobre el desarrollo de las evaporitas marinas antiguas.

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

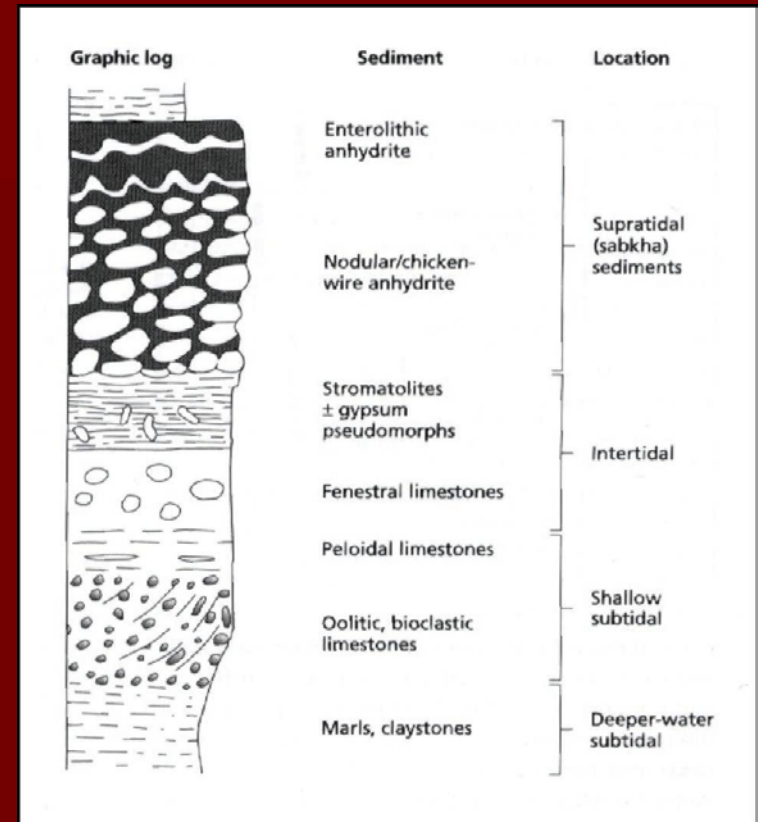
MODELOS COMPLEMENTARIOS POR ZONACIÓN REGIONAL



CICLOS EVAPORÍTICOS

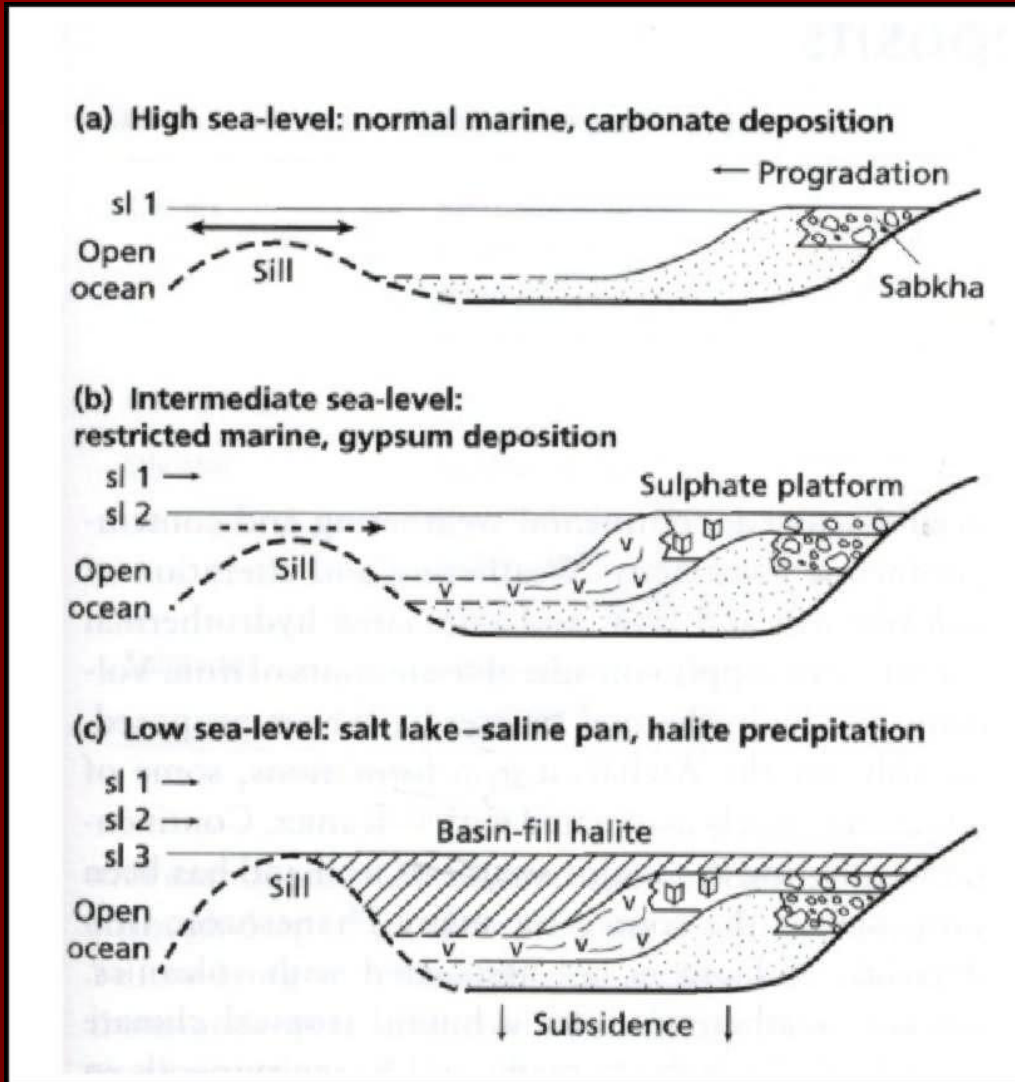


Ciclo de secuencia evaporítica formado en una cuenca parcialmente cerrada y con renovación periódica (sin escala). El ciclo se puede repetir por oscilaciones relativas en el nivel del mar.



Ciclo básico de sabkha marino marginal. Son ciclos que varían desde varios metros a varias decenas de metros de espesor.

DEPOSITACIÓN EVAPORÍTICA Y CAMBIOS EN EL NIVEL DEL MAR



Modelo de depositación de evaporitas en cuenca intracratónica, cuyo control principal está determinado por cambios en el nivel del mar.

CONSIDERACIONES FINALES SOBRE LA GEOLOGÍA Y SEDIMENTOLOGÍA DE LAS EVAPORITAS GIGANTES

La posición del nivel del mar controla la distribución de las facies carbonáticas y evaporíticas con registros regionales y potentes, es decir en cuencas sedimentarias marinas y/o marinas marginales.

Aunque las evaporitas pueden acumularse a lo largo de todo un ciclo eustático, sus mayores espesores caracterizan a períodos de nivel bajo. En estos casos, las evaporitas aparecen en el centro de las cuencas sedimentarias y por depositación pueden mostrar relación de *onlap* sobre los márgenes de las cuencas.

Los gigantes salinos son típicas de períodos de nivel del mar bajo correspondientes a los ciclos eustáticos de bajo orden o de muy larga duración (decenas de millones de años).

CONSIDERACIONES FINALES SOBRE LA GEOLOGÍA Y SEDIMENTOLOGÍA DE LAS EVAPORITAS GIGANTES

Las evaporitas marinas de gran escala se acumulan cuando se combinan las condiciones eustáticas, climáticas y tectónicas para favorecer la restricción de las cuencas y la evaporación.

Los gigantes de halita son propios de zonas de bajas latitudes y se produjeron por el retiro de las aguas marinas en las plataformas continentales. Pueden ser tanto de períodos invernadero (*greenhouse*) como fríos (*icehouse*).

Los gigantes salinos no aparecen súbitamente, ya que suelen estar precedidos por ciclos de carbonato-evaporita que reflejan el progresivo deterioro del clima y el aislamiento de las cuencas.

No se encuentran ejemplos de gigantes salinos en el Holoceno dada la posición elevada del nivel del mar y la buena circulación de las aguas oceánicas.

EVAPORITAS GIGANTES Y CUENCAS SEDIMENTARIAS

Los principales tipos de cuencas y ambientes tectónicos en los que pueden aparecer gigantes salinos son:

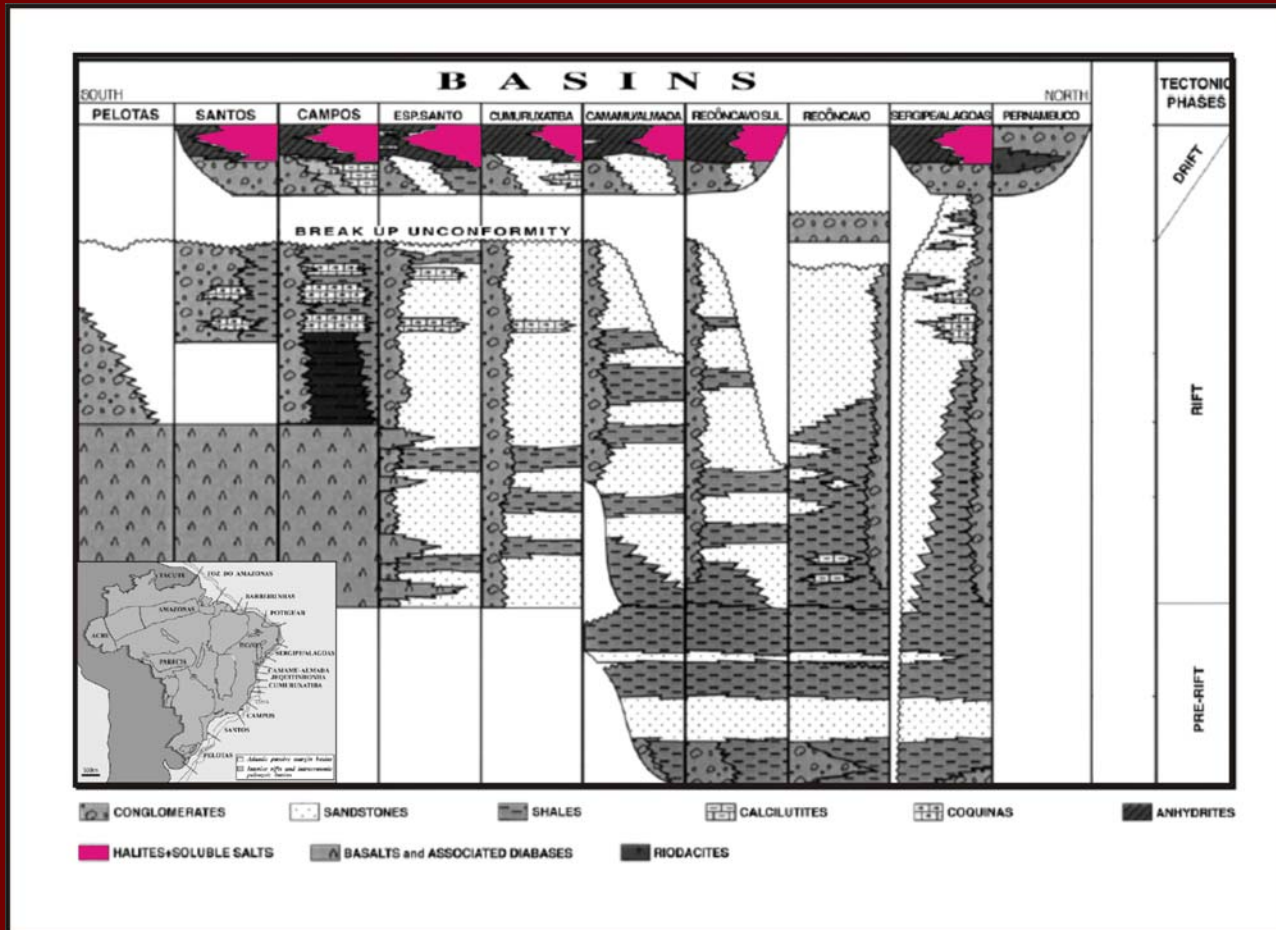
Cuencas intracratónicas o del interior continental (ejemplos del Paleozoico inferior en Siberia y oeste de Norte América).

Cuencas extensionales (rifts) especialmente en el estado de sinrift tardío (fase transicional *rift-drift*) y con parcial conexión con el mar abierto (ejemplos de las cuencas de rift mesozoicas vinculadas con la apertura del Océano Atlántico, por ejemplo en los márgenes occidental del África y oriental de Brasil).

Cuencas de antepaís en su fase postorogénica (ejemplos del Paleozoico Superior del oeste y del centro de Estados Unidos, del norte de Europa, de Rusia central y de Arabia).

EJEMPLO DE LAS EVAPORITAS DE LAS CUENCAS ATLÁNTICAS DEL BRASIL

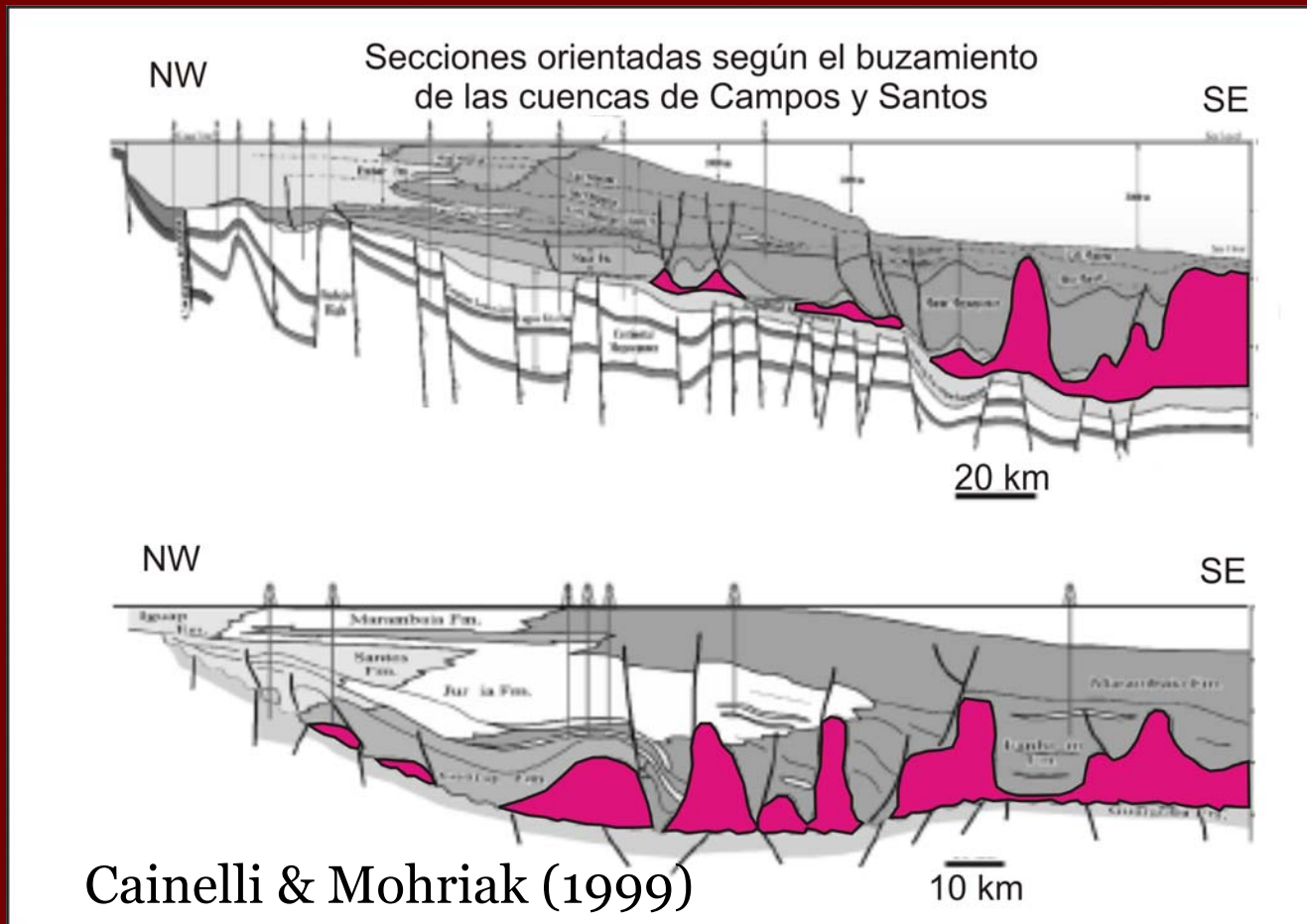
Transición de la fase de rift a drift, Aptiano tardío - Albiano temprano



Cainelli & Mohriak (1999)

EJEMPLO DE LAS EVAPORITAS DE LAS CUENCAS ATLÁNTICAS DEL BRASIL

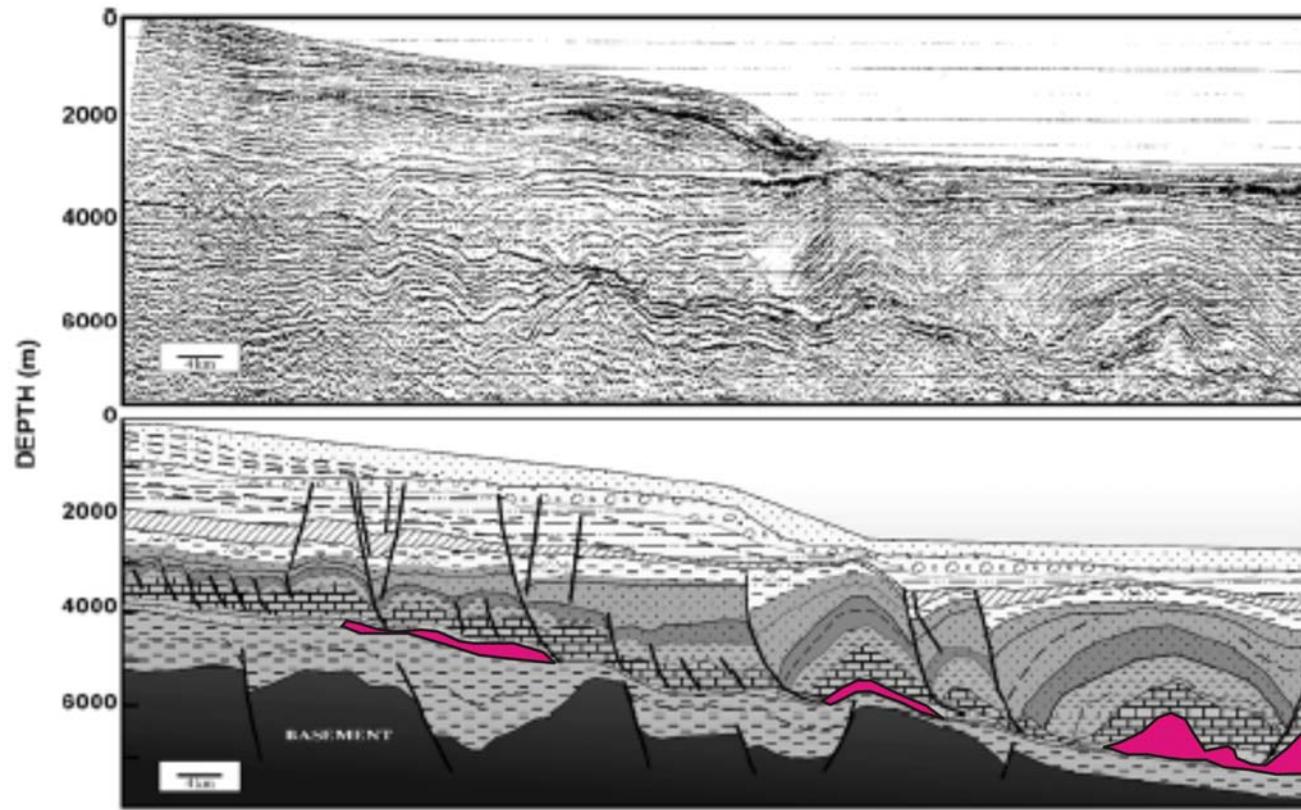
Transición de la fase de rift a drift, Aptiano tardío - Albiano temprano



Notar cómo la tectónica de intrusión de los cuerpos salinos produce intensa deformación en el registro de las cuencas, con lo que se generan trampas muy favorables para el alojamiento de hidrocarburos.

EJEMPLO DE LAS EVAPORITAS DE LAS CUENCAS ATLÁNTICAS DEL BRASIL

Sección sísmica de la Cuenca de Campos



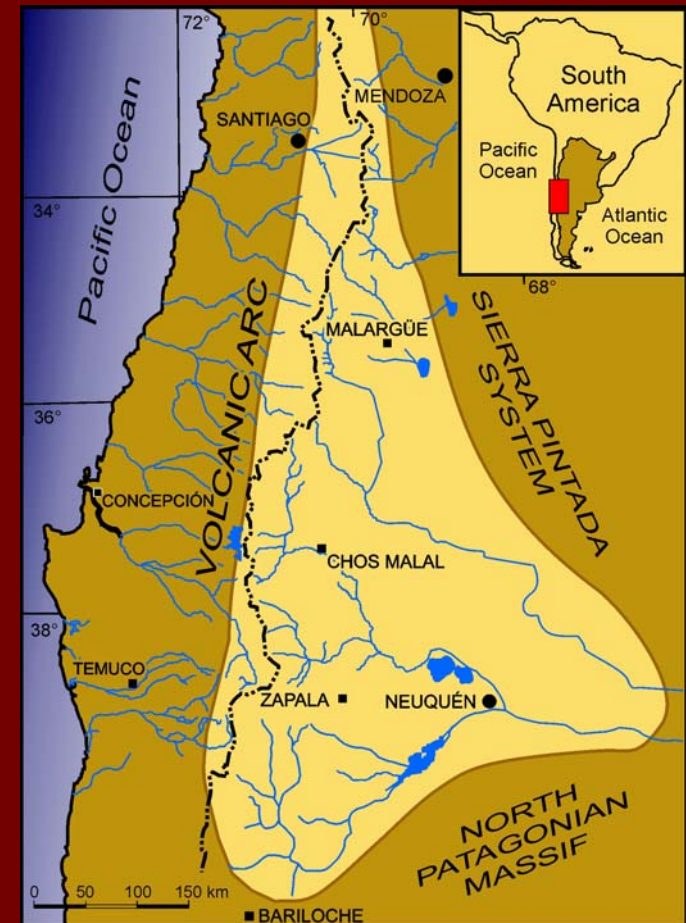
Cainelli & Mohriak (1999)

EL CASO PARTICULAR DEL CRETÁCICO EN LA CUENCA NEUQUINA

Miembro Troncoso de la Formación Huitrín

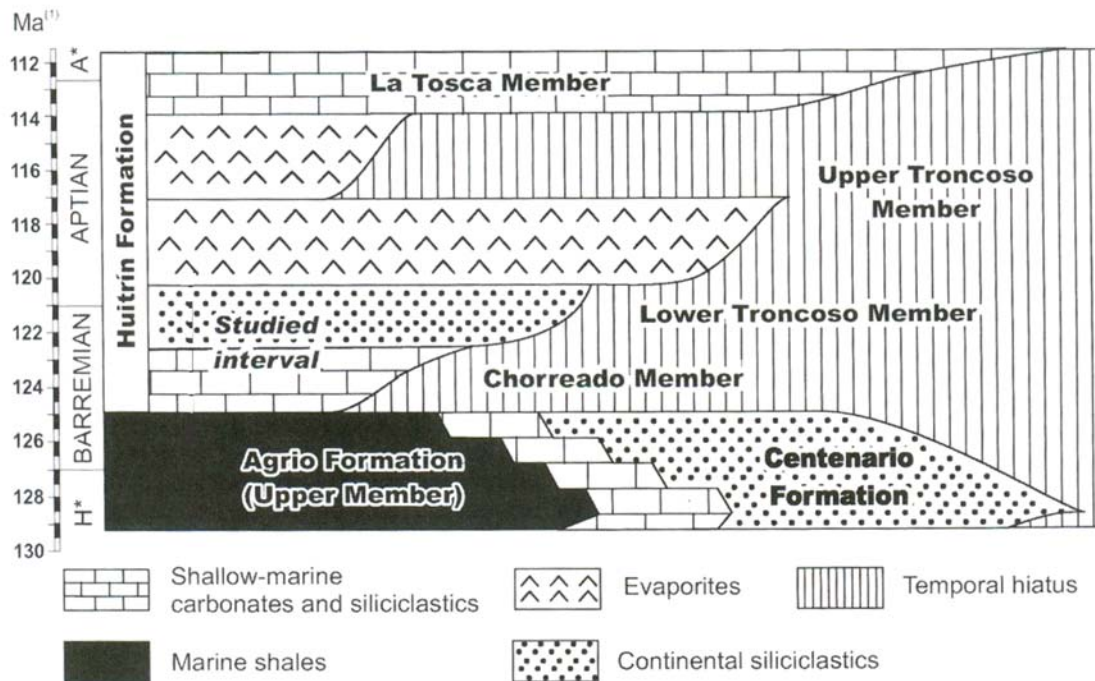
Formación de una gran cuenca evaporítica durante la transición del estado de cuenca extensional de trasarco al de cuenca compresional de antepaís.

Por su situación tectónica y paleogeográfica, vinculada a un margen continental activo y limitada al oeste por un arco magmático, constituye un ejemplo único de cuenca evaporítica marina marginal.



EL CASO PARTICULAR DEL CRETÁCICO EN LA CUENCA NEUQUINA

Miembro Troncoso de la Formación Huitrín



Veiga et al. (2005)

El conjunto evaporítico se ha formado bajo condiciones climáticas áridas y cálidas.

La sedimentación estuvo controlada por el clima, la tectónica (coincidente con el inicio del ascenso andino) y los movimientos eustáticos.

Las evaporitas forman parte de una cuña de mar bajo de un ciclo eustático de importante magnitud.

EL CUERPO SALINO DEL MIEMBRO TRONCOSO DE LA FORMACIÓN HUITRÍN

Se registra la acumulación cíclica de evaporitas, que comienza con yeso-anhidrita, (hasta 30 m), sigue con un espeso cuerpo salino en el que predomina la halita pura o mezclada con material fangoso (máximo 120 m) y culmina con un manto carbonático (Miembro La Tosca).

En el cuerpo salino aparecen varias intercalaciones compuestas por sales de potasio: silvita, carnalita y langbeinita ($K_2Mn_2(SO_4)_3$), que reflejan períodos de máximo aislamiento del depocentro.

La distribución regional de facies evaporíticas responde a un modelo de “ojo de toro”, con las sales higroscópicas concentradas en el centro de cuenca. Según los modelos de Kendall correspondería a una cuenca poco profunda de agua marina somera.