

Petrología sedimentaria. Notas de teoría.

11. Las rocas evaporíticas

Ana M. Alonso Zarza

Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas.
Universidad Complutense de Madrid. José Antonio Novais, 2. 28040 Madrid.
alonsoza@geo.ucm.es

Resumen: En este tema se estudiarán los rasgos básicos de las rocas evaporíticas, incluyendo su textura y mineralogía. Una parte del tema se dedica a los mecanismos y modelos de precipitación de evaporitas. La sedimentología y diagénesis de estas rocas así como su importancia desde el punto de vista geotécnico se tratarán al final del tema.

Palabras clave: Evaporitas. Salmueras. Fases sin y postdeposicionales. Yeso. Anhidrita. Halita.

EVAPORITAS

Definición: sedimentos formados por la precipitación de fases minerales a partir de salmueras concentradas. Las [salmueras](#) son soluciones naturales que tienen altas (más de 30 gr/litro) concentraciones de sales disueltas. La salmuera por excelencia es el agua del mar (salinidad media de 35‰).

Mineralogía: la variedad de minerales evaporíticos es muy amplia e incluye cloruros, sulfatos y carbonatos, entre otros muchos minerales. Toda esa variedad aparece recogida en Warren (2006), entre otros muchos.

Mecanismos de precipitación a partir de salmueras

- **Evaporación**

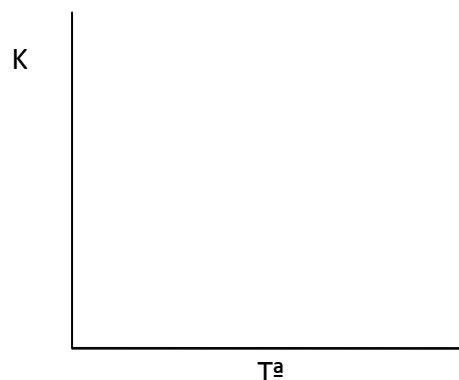
Hace aumentar la concentración. Empiezan a precipitar inicialmente las sales más insolubles. La secuencia es de más insolubles a menos. Se alcanza un punto ([eutónico](#)) en el que ya no hay aumento en la concentración y todas las sales que quedan precipitan.

- **Variación de la Tª (Aumento/disminución)**

Las sales termofílicas son como las que hemos visto hasta ahora (calcita o aragonito). En cambio las sales criofílicas son distintas, pues su constante de

equilibrio aumenta al aumentar la T° . El ejemplo más conocido es el de la mirabilita $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, que precipita en los lagos canadienses durante el otoño-invierno, siempre que la evaporación no haya sido total durante el verano.

Representar variación de K en función de la Temperatura para: **Termofílicas** y **Crioquílicas**.



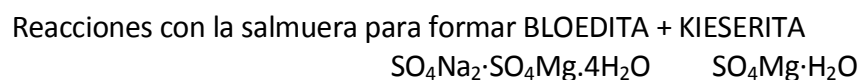
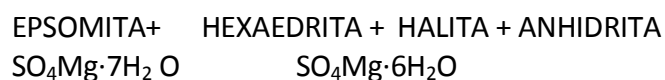
Secuencias de precipitación a partir de salmueras

- **Precipitación de sales a partir del agua del mar (secuencia experimental)**

ClNa	Cl ₂ Mg	SO ₄ Na _a	Cl ₂ Ca	ClK	CO ₃ HNa	BrK	BO ₃ H ₃	Cl ₂ Sr	FNa
23.48	4.98	3.92	1.10	0.66	0.192	0.096	0.026	0.024	0.003

	Factor concentración	% pérdida de agua	Densidad salmuera	Minerales
AGUA DEL MAR	1 35 ‰	0	1.04	
↓ CARBONATOS 0.3% TDS	2-3 40-60 ‰	50	1.10	ARAGONITO + HMC
↓ SULFATOS 3.6% TDS	5 130-160 ‰	80	1.126	YESO ANHIDRITA
↓ HALITA 7.6% TDS	11 340-360 ‰	90	1.214	HALITA
↓ SALES K-Mg 18% TDS	63 >> 360 ‰	98.7	1.29	VER CONT.

Lo que queda es un líquido que va reaccionando con los minerales previamente formados.



SILVINA + Reacciona con salmuera para formar

LANGBEITA- KAINITA

$MgSO_4 \cdot KCl \cdot 11/4H_2O$

$2MgSO_4 \cdot K_2SO_4$

CARNALITA $MgCl_2 \cdot KCl \cdot H_2O$

BISCHOFITA $Cl_2Mg \cdot 6 H_2O$

BORATOS

Concepto de metamorfismo de sales

Los minerales evaporíticos formados en la salmuera pueden reaccionar rápidamente con la salmuera dando lugar a fases distintas.

- **Espectro composicional de salmueras: salmueras continentales.**

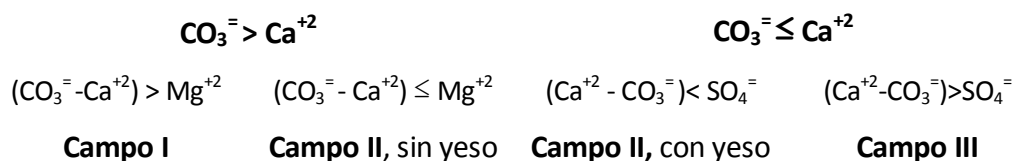
A diferencia del agua del mar, las salmueras que se reconocen en ambientes continentales pueden ser muy distintas entre ellas. Hay dos escuelas distintas que clasifican estos tipos de salmueras: la [escuela rusa](#) y la [escuela americana](#).

Escuela rusa: Diagramas de Valyashko

Diversos autores rusos definen, a partir de ejemplos de la antigua URSS y centro de Asia, tres tipos de salmueras características: [sódicas](#) (salmueras sódicas), [sulfatadas](#) y [Cloruradas](#).

Los datos de composición de la salmuera vienen expresados en miliequivalentes (mgrs/l)/(Pm/val). Si está expresado en milimoles/l, para pasar a miliequivalentes se multiplica por la valencia del ión. En el estudio no se considera la composición el K^+ , ya que este elemento es escaso en salmueras lacustres. En el análisis se considera que el sumatorio de aniones en la salmuera es igual al sumatorio de cationes, de tal forma que cada meq de un catión se combina con 1 meq de un anión.

Se define el campo en el que se situará la salmuera siguiendo el siguiente diagrama



Se distinguen tres tipos de salmueras según su composición:

- Salmueras de tipo sódico
- Salmueras de tipo sulfatado
- Salmueras de tipo clorurado

Se descuenta la cantidad de meq utilizados en la precipitación de los minerales más insolubles: 1º Calcita, 2º Yeso, 3º Magnesita.

La proporción de iones que queda (pueden ser tres iones o cuatro) se recalcula a 100. El punto obtenido es el que se representa en el diagrama. A partir del punto se obtiene la evolución de la salmuera (siguiendo las flechas) y la secuencia de precipitación de los distintos minerales hasta llegar al punto Eutónico. Actualmente los modelos se hacen mediante distintos programas informáticos que permiten introducir cambios en la temperatura y otros parámetros. Uno de los programas mas usados es el PHREEQC.

Ejercicios prácticos

Deducir la secuencia de precipitación de las salmueras siguientes.

A	B	C	D
SO ₄ ⁼ 98 mequ./l	CO ₃ ⁼ 54 mequ./l	Ca ⁺⁺ 20 mequ./l	SO ₄ ⁼ 6,5 mmoles/l
Cl ⁻ 3247	Cl ⁻ 1566	Mg ⁺⁺ 108	Cl ⁻ 4935,5
CO ₃ ⁼ 796	SO ₄ ⁼ 562	Na ⁺ 475	Ca ⁺⁺ 431,5
Ca ⁺⁺ 60	K ⁺ 282	K ⁺ 10	Na ⁺ 621,9
Na ⁺ 3297	Na ⁺ 1478	Cl ⁻ 550	Mg ⁺⁺ 1701,8
K ⁺ 630	Ca ⁺⁺ 55	SO ₄ ⁼ 56	
Mg ⁺⁺ 154	Mg ⁺⁺ 370	CO ₃ H ⁻ 2,34	

Escuela americana

Los investigadores occidentales, particularmente norteamericanos, han definido también, a partir de lagos del Oeste de USA y lagos africanos, unos tipos definidos de secuencias de precipitación en salmueras continentales que, en términos generales, siguen tres vías esenciales según la composición inicial de la salmuera que se va concentrando por evaporación. (Ver gráfico adjunto). Las relaciones que se usan son:

- 1) Ca+Mg/HCO₃
- 2) Mg/Ca
- 3) Ca/SO₄

El primer precipitado es LMC, los siguientes dependen de la composición de la salmuera. Así se obtienen las distintas vías.

¿Cómo y dónde se forman las evaporitas?

Fases sindeposicionales

Se forman durante la sedimentación o inmediatamente después. Pueden ser:

- Precipitados en la superficie de la salmuera (interfase agua-aire).
- Precipitados en el fondo de la salmuera (interfase sedimento-agua).
- Minerales formados dentro del sedimento (intrasedimentarios).
- Costras precipitadas en la superficie o en la zona de ascenso capilar.
- Por transformaciones rápidas entre la salmuera y los precipitados previos.

Fases postdeposicionales

Se forman mucho después de la sedimentación, son claramente fases diagenéticas. Pueden encontrarse:

- Rellenando distintos tipos de fracturas.
- Reemplazando fases previas.

¿Y los yeso detríticos? ¿Son sin o postdeposicionales?

Texturas de evaporitas

La textura y asociación de facies que presentan las evaporitas están condicionadas por dos factores principales, que han quedado esquematizados en numerosos gráficos y que comentaremos en clase, son:

- La salinidad del agua. Determina la fase mineral que se forma (carbonatos, sulfatos, cloruros, etc.).
- El ambiente condiciona el lugar de precipitación y los rasgos que presentan esas evaporitas.

A. Sulfatos: precipitan cuando la salinidad no es extrema y en distintos ambientes y situaciones.

Intrasedimentarias. Yesos lenticulares, nódulos de yeso y anhidrita.

Sulfatos (yesos) laminados: en parte precipitados y en parte clásticos.

Yesos seleníticos.

B. Halita: se forma cuando la salinidad es muy elevada, al igual que los sulfatos en distintos ambientes:

Acumulados subácueos a partir de la interfase salmuera-aire. Hopper y Raft.

Precipitados subácueos nucleados en el fondo, es decir en la interfase sedimento-agua- se forman cornetes, chevron, cubos.

Precipitados intrasedimentarios. Esencialmente cubos hopper.

Halita clástica (oolitos, pisolitos, etc.).

C. Carbonatos: Acompañan a las otras fases y se forman en los momentos o zonas de menor salinidad.

Esencialmente tapices microbianos (estromatolitos) y brechas de intraclastos.

DIAGÉNESIS DE EVAPORITAS. LAS EVAPORITAS COMO RECURSOS

El sistema yeso-anhidrita

La mayor parte de los depósitos de sulfato cálcico que vemos en condiciones superficiales están formados por yeso, siendo la anhidrita minoritaria. Yeso y anhidrita son los dos sulfatos cálcicos, el yeso tiene dos moléculas de agua y la anhidrita ninguna. Además existe otra fase intermedia muy inestable y poco frecuente que es la basanita. Estudiaremos en este tema las características de estos sulfatos y los ambientes sedimentarios/diagenéticos en los que son estables.

Fases:
Yeso
Anhidrita
Basanita $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$

Características de la anhidrita

- **Ópticas y físicas**

	Sistema	Relieve	Birrefrin	Densidad
YESO	Monocl	bajo	claros	2,32
ANHIDRITA	Rómbico	alto	azul-am	2,96

- **Depositos de anhidrita**

- Nodulos: chicken-wire, enterolítica.
- Cemento intergranular en areniscas y carbonatos.
- Reemplazamiento sobre carbonatos.
- Anhidritas laminadas alternando con halita, yeso, carbonatos.

Origen: La mayor parte de los depósitos de anhidrita son diagenéticos, sin embargo la presencia de anhidrita laminar en sedimentos antiguos puede ser indicativa de un origen primario, y que la anhidrita precipitaría bajo lámina de

agua. Sin embargo, no se conocen ambientes actuales dónde se esté formando anhidrita laminar.

Transformación yeso-anhidrita

El yeso es la forma estable de sulfato cálcico en condiciones superficiales y, por tanto, predomina en afloramiento excepto bajo condiciones climáticas áridas, en las que la anhidrita se conserva en superficie. Cuando el yeso sufre un calentamiento por encima de los 40°C pasa progresivamente a basanita (hemihidrato inestable, observado ocasionalmente en medios actuales) y luego a anhidrita. Hay tres factores que condicionan el proceso de deshidratación (yeso-anhidrita).

- a. Influencia de la Tª (40-50°C).
- b. Presencia de fluidos intersticiales (Rebaja la Tª).
- c. La presión. Ej a 500 bares (2.300m) la transformación se puede producir a 27°C.

Rehidratación de la anhidrita

Cuando una formación evaporítica que ha sufrido enterramiento y, como rasgo general, se ha transformado en anhidrita, vuelve a condiciones de superficie, la anhidrita se convierte de nuevo en yeso, cerrando así un especie de ciclo diagenético. Esta transformación puede dar lugar a un importante incremento de volumen.

Los rasgos o evidencias más comunes de la rehidratación de anhidrita es la formación de algunos tipos de yesos, tales como yesos porfiroblásticos, yesos nodulares alabastrinos, o yesos cristalinos (incluso macrocristalinos) muy parecidos a los yesos primarios seleníticos. Una forma típica de yeso relacionado con la hidratación de anhidrita es el yeso fibroso ('satin-spar'), usualmente acumulado en fisuras; este tipo de yeso es interpretado por muchos autores como relacionado con exceso de volumen que puede esperarse de la transformación de la anhidrita a yeso.

Aplicaciones industriales del yeso

Este proceso de hidratación-deshidratación es el que se usa en la industria para la fabricación del yeso. El yeso extraído en cantera se tritura y se pasa por un horno (a 180°), así se obtiene el hemihidrato que es el producto comercial. El hemidrato al amasarlo con agua, adquiere propiedades de aglomerante pues fragua con más o menos rapidez.

Importancia geológica de las evaporitas

Son recursos minerales de gran interés económico. Rocas y minerales industriales.

Controlan la acumulación de diversos metales. Las salmueras que se originan en las zonas de rifting pueden contener proporciones importantes de Pb, Zn, Cu, Ag, U-V, etc.

Presentan frecuente asociación con yacimientos de hidrocarburos.

Tienen importancia en geotecnia y ordenación del territorio.

BIBLIOGRAFÍA

- Ortí, F. 2010. Evaporitas: Introducción a la sedimentología evaporítica. En: A Arche (Coord). *Sedimentología*, pp. 675-770.
- Ortí, F. 2010. Evaporitas: formaciones marinas y continentales. Algunos ejemplos. En: A Arche (Coord). *Sedimentología*, pp. 771- 838.
- Salvany, J.M.; Garcia-Veigas, J. y Orti, F., 2007. Glauberite-halite association of the Zaragoza Gypsum Formation (Lower Miocene, Ebro Basin, NE Spain). *Sedimentology*, 54: 443–467.
- Schreiber, B.C. y El Tabakh, M. 2000. Deposition and early alteration of evaporites. *Sedimentology* 47: 215-238.
- Strakhov, N.M., 1970. *Principles of lithogenesis (reviews of USSR sodium sulphate deposits)*. Plenum Publishing, New York.
- Tucker, M.E. 2001. *Sedimentary Petrology. An Introduction to the origin of sedimentary rocks*. (3ª Ed). Blackwell Sci. Publ, Oxford, 262 pp.
- Warren, J.K. 2006. *Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons*. Springer. 1036 p.
- Warren, J.K. 2010. Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits. *Earth-Science Reviews*, 98: 217–268

Recibido: 19 octubre 2010.

Aceptado: 2 diciembre 2010.