

Características hidroquímicas generales de las lagunas salinas de la comarca de los Monegros

P.L.López¹, L.F.Auqué¹, J.Mandado¹,
M.J.Gimeno² y V.Valles³

¹ Área de Petrología y Geoquímica. Depto. Ciencias de la Tierra. Fac. Ciencias. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza (España).

² Programa de Comportamiento Ambiental de Contaminantes Convencionales. Instituto de Medio Ambiente. CIEMAT. Avda. Complutense, 22. 28040 Madrid (España).

³ Laboratoire de Science du Sol. Institut National de la Recherche Agronomique. Domaine St. Paul, Site Agroparc. 84914 Avignon Cedex 9 (France).

Uno de los rasgos fisiográficos más sobresalientes de la comarca de los Monegros es el endorreísmo, es decir, la ausencia de una conexión hidrológica (superficial o subterránea) que permita la evacuación del agua que accede a esta zona. Como consecuencia directa, el agua superficial tiende a acumularse en depresiones cerradas, donde sufre un proceso de evaporación provocado por la existencia de un régimen climático marcadamente árido (precipitaciones en torno a 300 mm/año y valores estimados de evapotranspiración de aproximadamente 1200 mm/año).

El principal núcleo de depresiones endorreicas se localiza entre Bujaraloz y Sástago, en la plataforma estructural de Monegros. En dicha zona existen aproximadamente un centenar de depresiones, pero sólo algunas presentan actividad evaporítica en la actualidad. Estas últimas pueden considerarse como sistemas activos de *playa-lake*, aunque la reducida extensión areal tanto de las propias lagunas como de sus respectivas cuencas de drenaje han dado lugar a una escasa diferenciación en subambientes, siendo los mejor representados aquéllos que corresponden a las zonas más internas del sistema: lago salino (*inner salt pan*), llanura fangosa salina (*outer saline mudflat*) y, con menor frecuencia, llanura fangosa seca (*dry mudflat*). En las lagunas tiene lugar la precipitación salina directa a partir de las salmueras, y alrededor de aquéllas se forman eflorescencias salinas superficiales como consecuencia del bombeo evaporítico de salmueras intersticiales.

El agua presente en las lagunas procede de la precipitación directa, de escorrentías superficiales e hipodérmicas muy limitadas y, finalmente, del aporte de aguas subterráneas procedentes de los dos niveles acuíferos identificados en el sustrato de la plataforma de Monegros (García Vera, 1994), cuya recarga depende exclusivamente de las precipitaciones. Las lagunas muestran un funcionamiento estacional: a) su recarga tiene lugar durante el otoño y el invierno; b) durante la primavera y el principio del verano, el volumen de agua en las lagunas disminuye paulatinamente debido a la evaporación; c) finalmente las lagunas se secan por completo, hecho que ocurre por lo general durante el mes de junio.

Las salmueras presentes en las lagunas son generalmente del tipo Na-(Mg)-SO₄-Cl. Su carga en solución procede de la lixiviación de los materiales solubles del sustrato, y sufre un reciclado anual como consecuencia de la propia estacionalidad

del clima. La evaporación provoca que las soluciones se concentren de un modo progresivo, llegando a alcanzar valores máximos de fuerza iónica alrededor de 10 molal (a modo de comparación, téngase en cuenta que la fuerza iónica del agua marina es de aproximadamente 0.7 molal). Los estudios realizados sobre la evolución geoquímica de las salmueras presentes en las lagunas han puesto de manifiesto la existencia de una pauta invernal y otra estival (Pueyo, 1978-79; López, 1995).

Durante el invierno y el inicio de la primavera, la concentración de las salmueras es relativamente baja y tiene lugar la precipitación fundamentalmente de yeso. No obstante, las oscilaciones de temperatura día-noche provocan además la precipitación de mirabilita (Na₂SO₄·10H₂O), que puede llegar a ser cuantitativamente mucho más importante que la del yeso. La magnitud de este proceso depende del estado de concentración de la salmuera y de la variación térmica sufrida, y puede ir desde la precipitación aislada de cristalitas de mirabilita que se redisuelven al llegar el día y aumentar la temperatura de la salmuera, hasta la formación de una placa de mirabilita que puede cubrir una superficie importante de las lagunas. La cinética del proceso de reequilibrio mirabilita-solución es muy rápida y provoca notables oscilaciones en el quimismo de las salmueras, produciendo variaciones de varios órdenes de magnitud en su fuerza iónica a lo largo del día (Auqué *et al.*, 1995).

Por otra parte, durante la primavera y el principio del verano se acelera el proceso de concentración de las salmueras, las cuales se retraen progresivamente hacia la zona interna de las lagunas donde tiene lugar su desecación total, con la precipitación mayoritaria de halita, aunque también se ha detectado la formación de otros minerales sulfatados de elevada solubilidad como thenardita (Na₂SO₄) y bloedita (MgNa₂(SO₄)₂·4H₂O). Desde ese momento el lecho de las lagunas se presenta cubierto por un tapiz salino de color blanco, que se redisolverá con la recarga del sistema en el otoño siguiente.

El interés existente por los sistemas salinos actuales se ha visto reforzado por la reciente aparición de herramientas adecuadas para llevar a cabo el estudio fisicoquímico de los procesos que en ellos tienen lugar. La aplicación de códigos de modelización geoquímica basados en las ecuaciones de Pitzer (adecuados para el tratamiento de salmueras de

concentración muy elevada) ha permitido estudiar en detalle las condiciones de saturación de las muestras recogidas en este tipo de sistemas, comparar sus resultados con los minerales salinos allí encontrados y realizar simulaciones teóricas del proceso de concentración por evaporación. Una de las lagunas de los Monegros, la conocida como *La Playa* (la más estudiada, dado que es la de mayor tamaño y además porque de ella se extrajo sal en tiempos pasados), ha servido para verificar el funcionamiento del código de modelización geoquímica PHRQPITZ (Plummer *et al.*, 1988). Los resultados han sido extraordinariamente satisfactorios, ya que se ha podido delinear con precisión la evolución geoquímica de las salmueras en el medio natural (López *et al.*, 1996), en un experimento de laboratorio (López, 1995) y de forma teórica (López *et al.*, 1998 en prensa).

El fácil acceso a estos sistemas salinos (sobre todo si los comparamos con otros parecidos localizados en desiertos de África y Australia, o en el Altiplano andino) los convierte en verdaderos laboratorios naturales cuyo estudio va a proseguir mediante la metodología puesta a punto en la laguna de La Playa, con el objetivo concreto de precisar aún más los procesos involucrados en la evolución de las salmueras en sistemas salinos endorreicos.

Bibliografía

- AUQUÉ, L.F., VALLÈS, V., ZOUGGARI, H., LÓPEZ, P.L. & BOURRIÉ, G. 1995. "Geoquímica de las lagunas saladas de Los Monegros (Zaragoza). I. Determinación experimental de los efectos del reequilibrio mirabilita-solución con la temperatura en un sistema natural". *Estudios Geológicos*, **51**: 243-257.
- GARCÍA VERA, M.A. 1994. *Hidrogeología de zonas endorreicas en climas semiáridos: Aplicación a Los Monegros (Zaragoza)*. Tesis Doctoral, Univ. Politécnica de Cataluña. 347 págs.
- LÓPEZ, P.L. 1995. *Pautas de evolución geoquímica en las lagunas de los Monegros (Zaragoza)*. Tesis de Licenciatura (inédita)., Univ. Zaragoza. 161 págs.
- LÓPEZ, P.L., AUQUÉ, L.F., MANDADO, J., VALLÈS, V. & GIMENO, M. J. 1996. "Aplicación de la modelización geoquímica al estudio de sistemas salinos continentales: la laguna La Playa (Zaragoza, España)". *Rev. Acad. Ciencias Zaragoza*, **51**: 209-220.
- LÓPEZ, P.L., AUQUÉ, L.F., MANDADO, J., VALLÈS, V. & GIMENO, M. J. 1998. "Determinación de la secuencia de precipitación salina en la laguna La Playa (Zaragoza, España). I. Condiciones de equilibrio mineral y simulación teórica del proceso". *Estudios Geológicos*, en prensa.
- PLUMMER, L.N., PARKHURST, D.L., FLEMING, G.W. & DUNKLE, S.A. 1988. *A computer program incorporating Pitzer's equations for calculation of geochemical reactions in brines*. U.S.G.S., Water Resources Invest. Rep. 88-4153.



Boleum asperum (Pers.) Desv. **A:** Fruto. **B:** Flor.
Dib. O. Escudero.