

Composición de las inclusiones fluidas en la halita del sondeo Biurrún (cuenca Potásica de Navarra)

Fluid inclusions composition in halite from Biurrún borehole (Navarra Potash basin)

J. Garcia-Veigas (*), C. Ayora (**) y J. J. Pueyo (*)

(*) LIFS-GPPG, Facultad de Geología, Universidad de Barcelona, Zona Universitaria de Pedralbes, 08028 Barcelona.

(**) Instituto de Ciencias de la Tierra (CSIC), Barcelona.

ABSTRACT

The solute concentration of fluid inclusions in halite samples have been analyzed by X-Ray microanalysis (Cryo-SEM-EDS). The results together with the mineral sequence are useful to describe the evolution of the Priabonian basin of Navarra. Thus, a lower salt unit (sal de muro) formed in a restricted basin with seawater recharge. Later, the basin closed to sea and evolved with decreasing volume and stratified brine to the deposition of potash salts. Finally, an upper salt unit (sal de techo) formed in a continental lake without seawater influence.

Key words: *evaporite, Navarra Potash basin, sylvite, halite, fluid inclusion*

Geogaceta, 15 (1994), 70-73

ISSN: 0213683X

Introducción

El estudio de la composición de las inclusiones fluidas primarias en muestras de halita de la formación evaporítica de la cuenca potásica de Navarra (Fm. Guendulain, Puidefábregas, 1975), de edad Priaboniense, permite reconocer cual ha sido la evolución química de las salmueras originales durante la sedimentación de este importante conjunto evaporítico.

En este trabajo se presentan datos de composición de inclusiones fluidas de muestras de halita del sondeo Biurrún, situado 25 km al SW de Pamplona. Además se ha realizado un muestreo en capas de halita, entre capas de silvita, en la explotación de Subiza, unos 3 km al N de Biurrún. El análisis se ha realizado por la técnica Cryo-SEM-EDS presentada por Ayora y Fontarnau (1990), cuya aplicación a la halita se desarrolla en García-Veigas (1993).

Situación geológica y descripción del sondeo Biurrún

La cuenca que dió lugar a la formación de sales potásicas surpirenaica presentaba dos depocentros, el catalán en el extremo oriental, y el navarro en el occidental. En ausencia de datos adecuados de subsuelo, la mayor parte de autores se inclinan por aceptar una continuidad entre ambas zonas. En el sector

de Navarra la formación de sales potásicas está dividida en cuatro sectores (Rosell, 1983): cubeta de Pamplona, zona de Puente la Reina, zona del sinclinal de Izaga-Monreal y zona de Javier-Pintano.

El sondeo Biurrún (Figura 1) está emplazado en la cubeta de Pamplona y contiene todas las unidades litológicas características de la formación. (Pueyo, 1975; Rosell, 1983; Ortí *et al.*, 1985). Sin embargo, no muestra las capas de silvita sedimentaria existentes en las zonas de explotación. De base a techo, y sobre la potente serie de margas marinas del Eoceno (margas de Pamplona) se suceden las siguientes unidades:

A/ Anhidrita basal (439 - 437.5m): Constituida por una única capa de anhidrita con estructura laminada en la que intercalan niveles centimétricos de carbonato con abundantes pseudomorfo de halita.

B/ Sal de muro (437.5 - 416m): La asociación mineral es halita - polihalita. La anhidrita es muy escasa habiendo sido reemplazada por polihalita. El contacto con la anhidrita basal es limpio no reconociéndose ningún tipo de discontinuidad. La sal presenta una litofacies bandeada donde alternan capas decimétricas de sal clara con otras oscuras más ricas en arcillas y sulfatos. Los cristales muestran, en ambos casos, tamaño centimétrico y texturas de crecimiento tipo *hopper*. A techo de esta unidad, a partir del metro 419, se registran láminas de-

tríticas y sulfáticas bien definidas que separan capas de sal de color rojizo.

C/ Tramo mineralizado silvinítico (416 - 414m). Está constituido por halita con litofacies laminada y numerosas intercalaciones lutíticas y/o sulfáticas. La silvita se presenta como un cemento y reemplaza a la halita. La anhidrita es abundante y muy escasa la polihalita. En la zona de explotación (yacimiento de Subiza) este tramo está constituido por ciclos, algunos de los cuales contienen niveles de silvita de espesor variable (entre 5 y 30 cm).

D/ Tramo mineralizado carnalítico (414 - 404m). Muestra una litofacies generalmente brechoide aunque es posible reconocer el carácter laminado original. No contiene prácticamente polihalita y la silvita se presenta como cristales idiomórficos con inclusiones sólidas de hematites y goethita características de la variedad diagenética conocida como "silvinita transformada" producida por disolución incongruente de la carnalita.

E/ Sal de techo (404 - 360m). Serie halítica superior constituida por la alternancia de capas de pocos centímetros de halita con abundantes intercalaciones lutíticas y sulfáticas, constituidas estas últimas fundamentalmente por anhidrita. La sal muestra microestructuras de tipo *hopper* tabular (*plates*) características de la nucleación en la interfase salmuera-aire así como evidencia de niveles parcialmente recrystalizados.

Los análisis petrográficos ponen de manifiesto la abundancia de fases de origen detrítico (calcita, cuarzo y minerales de la arcilla) tanto en los tramos mineralizados como en la sal de techo. La dolomita es una fase diagenética precoz característica de la sal de techo.

Sobre la formación evaporítica des cansa una unidad margosa con niveles de anhidrita de tipo enterolítico (Rosell, 1983) que representa la instalación de una llanura lutítica continental con desarrollo de sulfatos intersticiales en un medio de tipo sabkha.

Composición de las inclusiones fluidas y evolución de las salmueras

Se ha analizado un total de 91 inclusiones fluidas en 15 muestras de halita tomadas a lo largo del sondeo Biurrún. Los resultados promedio para cada muestra se presentan en la Tabla 1. Se observa que las salmueras correspondientes a la sal de muro son del tipo Na-Mg-K-Cl-SO₄, mientras que las de la sal de techo corresponden al tipo Mg-Cl, con muy bajos contenidos en Na, K y SO₄.

A partir de la composición promedio de las inclusiones de cada muestra se han calculado los índices de saturación de las salmueras para diferentes fases minerales. Los índices correspondientes a la silvita y la carnalita (Tabla 2) indican que las salmueras de la sal de muro, en el sector del sondeo, evolucionaron hacia estadios de precipitación de potasas sin llegar a alcanzar la saturación respecto al KCl. Ello concuerda con el hecho de que la silvita constituye un cemento temprano. Por el contrario, las inclusiones de la parte superior de la sal de muro, en la zona del yacimiento de Subiza, están prácticamente saturadas en KCl poniendo de manifiesto el origen sinsedimentario de este cloruro.

Durante la sedimentación de la sal de muro, el continuo enriquecimiento en Mg, K y Cl, junto al descenso en Na, indica la progresiva evolución de las salmueras hacia estadios de mayor concentración. Para ello se requiere un aporte continuo de K y Mg de origen marino. La cuenca de Navarra era inicialmente amplia y "profunda", compensándose la masa de agua evaporada total, o casi totalmente, por aportes de origen marino.

La composición de las inclusiones de la sal de techo indica un importante cambio hidroquímico en la cuenca, probablemente establecido ya durante la sedimentación potásica. Las salmueras

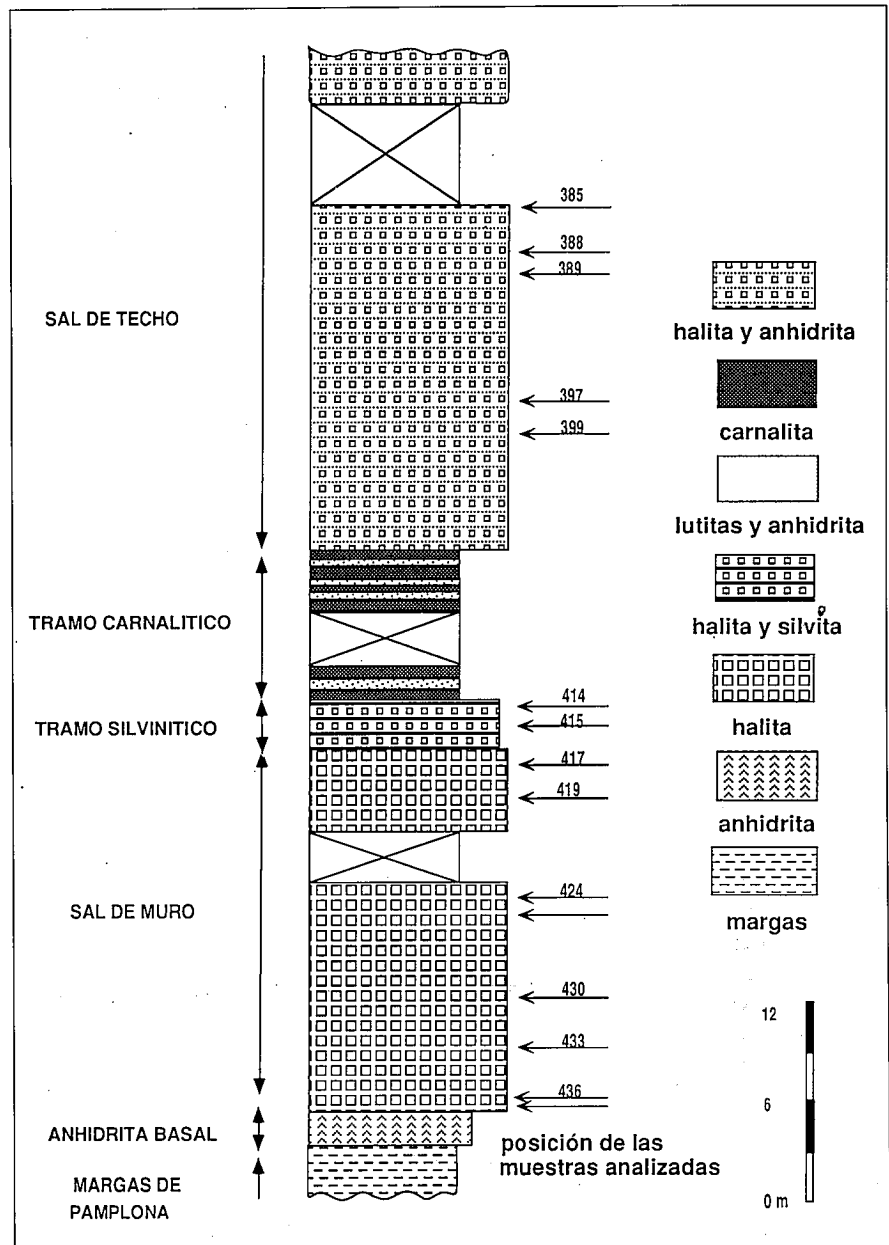


Fig. 1.— Columna estratigráfica del sondeo Biurrún.

Fig. 1.— Stratigraphic section of Biurrún borehole.

registran una importante reducción en los contenidos de K provocados por la precipitación de silvita y carnalita. Los altos contenidos en Mg y bajos en Na, indican el avanzado grado evolutivo de estas salmueras, superior al alcanzado durante la sedimentación de la sal de muro. La relativa homogeneidad en la concentración de los diferentes electrolitos sugiere que las salmueras alcanzaron condiciones próximas al estado estacionario. La intervención de aportes fuertemente enriquecidos en Na y Cl habría facilitado la acumulación de sucesivas capas de halita sin alterar la composición de la salmuera residual.

Implicaciones sedimentológicas

Dadas sus características mineralógicas y petrológicas, la génesis de la sal de techo (halita-anhidrita-componentes detríticos) había sido atribuida a una dilución de las salmueras por entrada a la cuenca de aportes marinos (Rosell, 1983). Ello habría supuesto la interrupción de la sedimentación potásica y el retorno a la precipitación halítica. De este modo, el conjunto de la formación evaporítica había sido considerado como un ciclo evaporítico de concentración-dilución con sedimentación de dos tramos halíticos separados por un cuer-

MUESTRA	Na	Mg	SO ₄	Cl	K
SONDEO BIURRUN					
<u>Sal de techo</u>					
BI-388	1.17	3.18	0.07	7.61	0.12
BI-389	1.87	2.44	0.07	7.26	0.12
BI-392	1.46	2.81	0.05	7.52	0.16
BI-397	1.71	2.65	0.08	7.15	0.18
BI-399	1.55	2.68	0.02	7.51	0.15
<u>Tramo mineralizado</u>					
BI-414	1.31	2.89	0.14	7.91	0.43
BI-415	1.73	2.43	0.12	7.75	0.62
<u>Sal de muro</u>					
BI-417	1.69	2.44	0.20	6.75	0.40
BI-419	1.65	2.43	0.16	7.17	0.58
BI-424	1.89	2.34	0.16	6.96	0.48
BI-425	2.64	1.87	0.16	6.57	0.56
BI-430	2.58	1.65	0.12	6.64	0.52
BI-433	2.53	1.58	0.13	6.68	0.35
BI-436	2.73	1.69	0.15	6.59	0.40
BI-437	3.68	1.36	0.14	6.91	0.36
GALERIA DE MINA DE SUBIZA					
<u>Tramo mineralizado</u>					
SUB-30	1.27	2.96	0.16	7.70	0.59
SUB-25	1.25	2.95	0.13	7.49	0.53
<u>Sal de muro</u>					
SUB-11	1.11	3.06	0.16	7.97	0.76
SUB-6	1.44	2.81	0.15	7.46	0.74
SUB-3	1.53	2.44	0.15	7.45	0.76
SUB-1	1.33	2.86	0.19	7.64	0.96

Tabla 1.— Composición promedio (mol/kg H₂O) de las inclusiones fluidas en muestras de halita del sondeo Biurrún y del yacimiento potásico de Subiza.

Table 1.— Average composition (mol/kg H₂O) of fluid inclusions in salt samples from Biurrún borehole and Subiza potash mine.

	SUBIZA	Sil.	Car.	BIURRUN	Sil.	Car.
Tramo mineralizado	SUB-30	-0.23	-0.93	BI-414	-0.34	-1.07
	SUB-25	-0.31	-1.05	BI-415	-0.22	-1.10
Sal de muro	SUB-11	-0.09	-0.69	BI-417	-0.53	-1.68
	SUB-6	-0.15	-0.93	BI-419	-0.32	-1.38
	SUB-3	-0.14	-1.15			
	SUB-1	-0.03	-0.84			
Silvita, Carnalita						

Tabla 2.— Índices de saturación respecto a la silvita y carnalita para inclusiones fluidas del tramo superior de la sal de muro y de halita entre potasas del sondeo Biurrún y del yacimiento potásico de Subiza.

Table 2.— Carnallite and sylvite saturation index of fluid inclusions in salt samples from the upper part of lower salt and potash units in Biurrún borehole and Subiza potash mine

po potásico que representaría el máximo grado de concentración alcanzado por las salmueras. Sin embargo, los contenidos en bromo de la halita del sondeo Biurrún (García-Veigas, 1993) mostraban un progresivo enriquecimiento durante la sedimentación de la sal de muro, desde 50 a 153 ppm, siendo inferiores a los de la sal de techo (entre 122 y 260 ppm), lo que sugería para esta última estadios evolutivos más avanzados.

A partir de los datos de inclusiones

fluidas, y teniendo en cuenta las características petrográficas de la sal, podemos establecer tres estadios evolutivos durante la sedimentación de la formación salina del Priabonense de la cuenca de Navarra. Cada uno de ellos es la respuesta a una configuración hidrológica e hidroquímica diferente (Figura 2).

A/ Estadio 1 (sedimentación de sal de muro): La sal de muro precipitó en un medio relativamente "profundo". Los contenidos en bromo de la sal y la composición de las inclusiones fluidas

ponen de manifiesto el origen fundamentalmente marino de los aportes. Las salmueras evolucionaron hacia estadios de mayor concentración. Sin embargo, los contenidos en SO₄ son bastante homogéneos y netamente inferiores a los registrados durante la evaporación del agua de mar (McCaffrey *et al.*, 1987). La baja concentración de este electrolito es la causa de que las salmueras evolucionasen hacia la precipitación de silvita, mineral que no precipita por evaporación del agua de mar (Borchert y Muir, 1964; Braitsch, 1971; Harvie y Weare, 1980). Causas que pueden haber provocado el descenso en la concentración de sulfato son: contenido en calcio del agua marina superior al actual, procesos de sulfato-reducción bacteriana, precipitación de anhidrita por incorporación adicional de calcio ligado a procesos de dolomitización o al aporte de fluidos enriquecidos en CaCl₂.

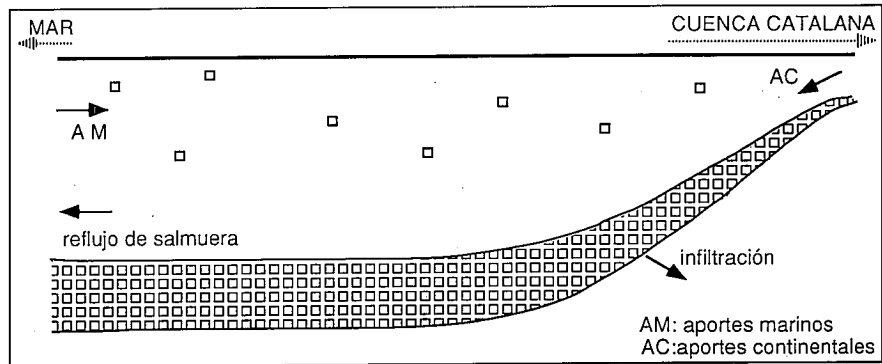
B/ Estadio 2 (sedimentación de sales potásicas): Durante la sedimentación de esta unidad, y posiblemente desde el final de la sal de muro, se registra una serie de cambios mineralógicos y petroológicos que sugieren una disminución del volumen de salmuera en la cuenca. La reducción habría supuesto el aislamiento definitivo de la cuenca con respecto al mar.

Desconocemos con exactitud cual fue el mecanismo que dió lugar a la sedimentación de sales potásicas. Los datos obtenidos hasta el momento indican que la halita intercalada entre silvita, precipitó a partir de salmueras más pobres en K que las que existían al final de la sedimentación de la sal de muro. Las capas de halita no han precipitado, por tanto, a partir de salmueras de igual composición que las que dieron lugar a la precipitación de silvita. Existen dos posibles mecanismos que pueden explicar la precipitación cíclica halita-silvita: A/ Una salmuera químicamente homogénea en la que variaciones cíclicas de temperatura provocarían la precipitación de halita en los periodos cálidos y de silvita en los fríos, y B/ Una salmuera estratificada compuesta por dos masas de agua químicamente diferentes, una superior enriquecida en NaCl, y otra inferior más densa y con altos contenidos en KCl.

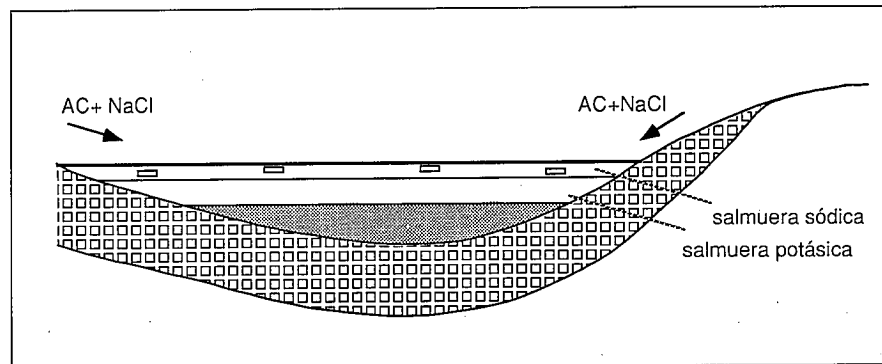
El bajo porcentaje de inclusiones fluidas que contienen cristales de silvita como minerales hijo, y el descenso en la concentración de K, sostienen la hipótesis de la existencia de un cuerpo de sal-

mueras estratificadas. La estratificación debió ser periódica y controlada por variaciones en la cantidad de aportes hídricos continentales que llegaban a la cuenca. De este modo, en las épocas con mayor tasa de aportes se diferenciaba un cuerpo de agua superficial, cuya evaporación daba lugar a precipitación de halita en la interfase salmuera aire. La presencia de dicha salmuera superficial impedía la evaporación de la salmuera de fondo interrumpiéndose la sedimentación potásica. En épocas con baja tasa de aportes, la masa de agua superior desaparecía por evaporación, o no cubría totalmente la salmuera de fondo, quedando ésta expuesta a la evaporación y dando lugar a la precipitación de sales potásicas. Este mecanismo y la composición de las inclusiones sólo se pueden explicar por evaporación de una salmuera superficial, enriquecida en NaCl, generada por reciclaje de la sal de muro expuesta en los márgenes de la cuenca.

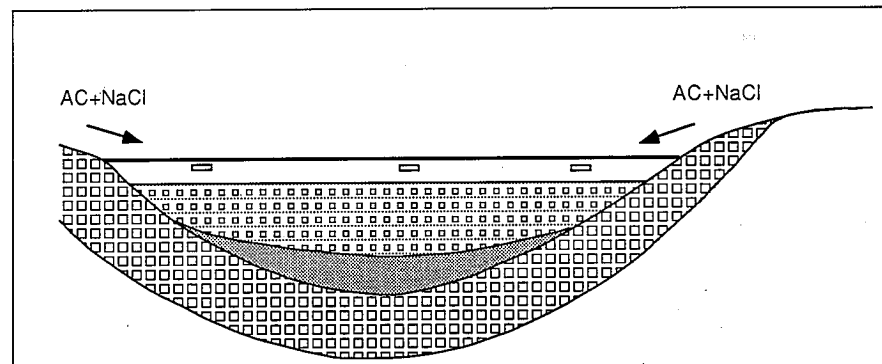
C/ Estadio 3 (sedimentación de sal de techo): Durante la sedimentación de esta unidad aumenta la influencia de aportes de origen continental en un medio poco profundo. El carácter expansivo de la sal de techo sobre el yacimiento potásico esta ligado a un proceso de relleno evaporítico y de colmatación de la cubeta, posiblemente asociado a un descenso en el grado de subsidencia de la misma. La homogeneidad en la composición de las inclusiones sugiere la desaparición de la estratificación de salmueras, probablemente debido a un incremento sustancial en la cantidad de aportes continentales. De lo contrario, la salmuera de fondo hubiera evolucionado hasta alcanzar la precipitación de kieserita. Se alcanzan condiciones de estado estacionario y la acumulación de sucesivas capas de halita requiere aportes a la cuenca de fluidos enriquecidos en NaCl producidos por disolución de la sal de muro expuesta marginalmente.



1: SAL DE MURO



2: TRAMO MINERALIZADO



3: SAL DE TECHO

Fig. 2.— Esquema evolutivo, sin escala, con los aportes existentes durante la sedimentación evaporítica en la cubeta de Pamplona.

Fig. 2.— Evolutive sketch of inflow-outflow relationships during evaporite sedimentation in Pamplona basin (without escale).

Agradecimientos

La realización de este trabajo ha sido posible en el marco de los proyectos DGICYT AMB 93-0220 y CE (H.C. & Mob.) ERB CHRX - CT93-0309.

Agradecemos a la Dra. Rosell su colaboración, a Javier Montes (POSUSA) la cesión del sondeo y a los Servicios Científico y Técnicos de la Universidad de Barcelona las facilidades ofrecidas en la utilización de sus equipos de DRX y SEM-EDS.

Referencias

Ayora, C. y Fontarnau, R. (1990): *Chemical Geology*, 89: 135-148.
 Borchert, H. y Muir, R. (1964): *Salt Deposits. The origin, metamorphism and deformation of evaporites*, 338 p.
 Bräitsch, O. (1971): *Salt Deposits. Their origin and composition*, 279 p.
 García-Veigas, J. (1993): Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 259p.
 Harvie, C. y Weare, J. (1980): *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 48: 981-997.

McCaffrey, M.; Lazar, B. y Holland, H. (1987): *Jour. Sed. Petrol.*, 57: 928-937.
 Ortí, F.; Pueyo, J.J. y Rosell, L. (1985): *Bull. Soc. Geol. France*, 8: 863-872.
 Pueyo, J. J. (1975): Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 351 p.
 Puigdefábregas, C. (1975): *Pirineos* (número extraordinario), 185 p.
 Rosell, L. (1983): Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 321 p.
 Rosell, L. (1990): *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante*, 89-95.