

SEDIMENTOLOGIA Y DIAGENESIS COMO CRITERIOS DE PROSPECCION DE RECURSOS EN EL TERCIARIO EVAPORITICO DE LA CUENCA DEL EBRO.\*

F.ORTI, L. ROSELL, J.M. SALVANY, M. INGLES, A. PERMANYER Y J. GARCIA-VEIGAS

Depto. Geoquímica, Petrología y Prospección ; Univ. Barcelona  
(\*Trabajo desarrollado en el marco del Proyecto CICYT PB86-0049)

**ABSTRACT.-** This paper deals with the major evaporitic systems and units either marine or non-marine, developed in the Tertiary of the Ebro Basin . The most outstanding sedimentological and diagenetic factors controlling both the geographical distribution and the mineral paragenesis of economic interest in these units (calcium sulfates; calcium-sodium sulfates, mainly glauberite; sodium chloride; potash salts) are taken into account as a guide for prospecting and for evaluation of mineral resources.

### 1. LAS FORMACIONES EVAPORITICAS DEL TERCIARIO DEL EBRO

En el presente artículo vamos a referirnos únicamente a las formaciones evaporíticas de mayor entidad conocidas en la cuenca del Ebro (s.l). Estas pueden dividirse en dos grandes grupos:

a) Unidades de origen marino, ligadas al Prepirineo y Depresión Central Catalana. Sus principales sustancias de interés económico son: sulfatos cálcicos, cloruro sódico y potasas.

b) Unidades de origen continental, de amplia distribución por toda la cuenca. Sus principales sustancias de interés económico son: sulfatos cálcicos, sulfatos sódico-cálcicos y cloruro sódico.

La fig. 1 resume el desarrollo estratigráfico de todas estas unidades, y la fig. 2 muestra su distribución geográfica aproximada en el dominio autóctono de la cuenca. Los controles genéticos de estas unidades han sido múltiples (estructurales, climáticos, eustáticos, de área fuente, diagenéticos, etc.), habiendo facilitado, en su conjunto, la aparición de un importante y variado registro químico. Los factores sedimentológicos han impuesto las principales características a las unidades evaporíticas (potencia, litofacies, paragénesis primarias, etc.). Adicionalmente, la actuación de determinados mecanismos diagenéticos, tanto tempranos como tardíos, ha contribuido enormemente a la configuración final de las paragénesis minerales, tal como en la actualidad pueden ser beneficiadas.

### 2. LOS SISTEMAS DEPOSICIONALES EVAPORITICOS DE MAYOR INTERES

De acuerdo con el contexto global de cuenca de antepaís surpirenaico, los grandes sistemas deposicionales de evaporitas han evolucionado desde marinos (Eoceno) a continentales (durante todo el Paleógeno y parte del Neógeno).

A) SISTEMAS MARINOS. Los principales corresponden a las fases del Luteciense y Priaboniense, estando el primero limitado al sector catalán, y siendo este último el sistema más extenso de todos los evaporíticos desarrollados en la cuenca del Ebro. Ambos se sitúan al techo de importantes ciclos sedimentarios, y marcan el tránsito

SECTORES DE LA CUENCA DEL EBRO

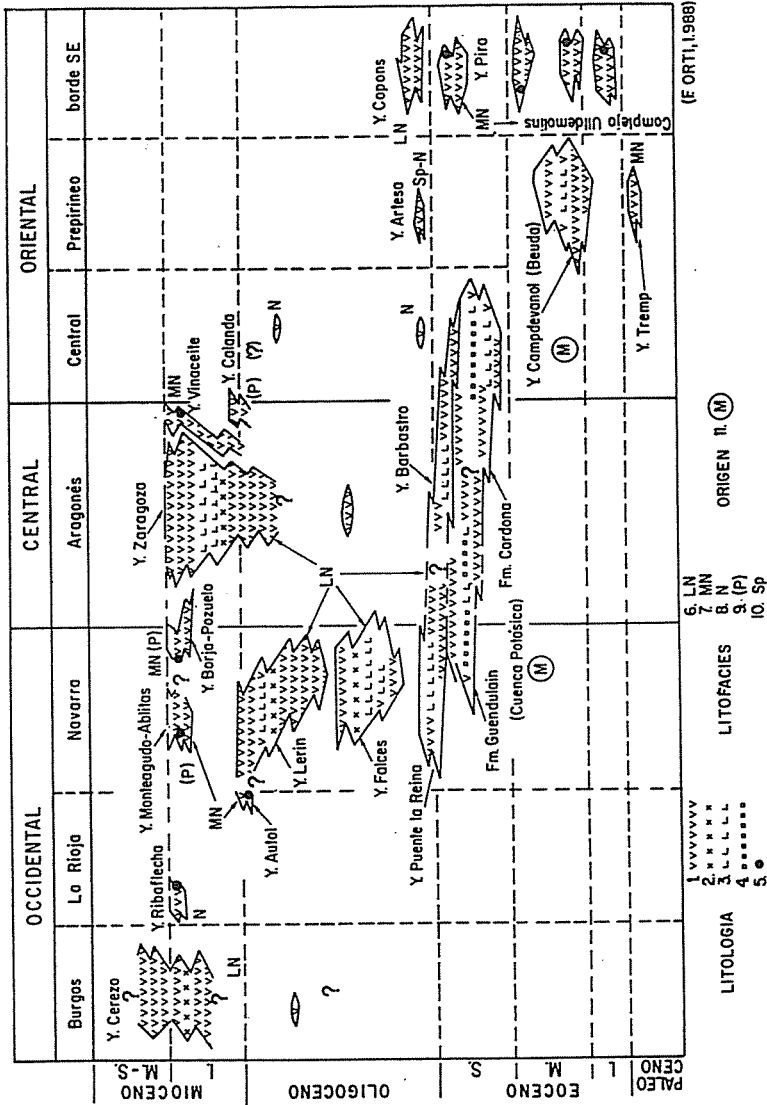


Fig.1 Reparto estratigráfico de las principales unidades evaporíticas del Terciario de la Cuenca del Ebro.  
 1: sulfato cálcico; 2: sulfato sódico-cálcico; 3: cloruro sódico; 4: potasas; 5: sílex; 6: laminado-nodulares;  
 7: microlenticulares y nodulares; 8: nodulares; 9: yeso primario preservado; 10: selenita pseudomórfica;  
 11: marino.

de marino a continental, o bien están muy próximos al mismo. El sistema evaporítico del Luteciense es dominantemente de sulfato cálcico, con halita subordinada, mientras que el del Priaboniense es fundamentalmente clorurado, con sulfatos cálcicos acompañantes. En ambos casos se produce un relleno, mediante evaporitas, de una cubeta profunda que previamente estaba ocupada por turbiditas o margas "offshore". Estas evaporitas muestran secuencias de somerización, y lo que realmente varía para cada fase es la distribución espacial de las facies. Así, en centro de cubeta se sedimentan sulfatos cálcicos en la fase luteciense, frente a cloruros en la priaboniense. Ambas cubetas quedan afectadas por la evolución estructural de la propia cuenca de antepaís, mostrando en la actualidad zonas alóctonas muy distorsionadas, y zonas autóctonas localizadas a profundidades muy variables.

El interés económico de estas fases se centra en las potasas de la fase priaboniense y, en segundo lugar, en la sal asociada. En tercer lugar cabe citar a los sulfatos cálcicos, de ambas fases, que han sido ampliamente explotados en Cataluña. Los sistemas de facies responden a anillos concéntricos, es decir, de centro a borde de cuenca: potasas, halita, yeso y carbonatos arrecifales. Este esquema, particularmente válido para la fase priaboniense, parece más limitado en la luteciense: halita (¿depocentro más interno mal conocido?), yeso (centro y borde de cuenca) y carbonatos de plataforma. La fase priaboniense, o Cuenca Potásica Surpirenaica, ha sido ampliamente tratada en Busquets et al. (1985), y de la fase luteciense puede encontrarse cierta documentación en el artículo de Ortí et al. (1987-88, en prensa).

B) SISTEMAS CONTINENTALES. Corresponden a cuerpos lacustres de características muy diversas, pero siempre muy someros. Estos cuerpos pueden ser referidos a dos sistemas extremos, cuyas características han sido resumidas en Ortí et al. (1989): a) sistemas marginales, y b) sistemas de centro de cuenca.

Los sistemas marginales se desarrollan en relación con el levantamiento de las cadenas de tipo intermedio limitantes de la cuenca del Ebro por el SW (Cordillera Ibérica) y por el SE (Catalánides). Su edad sigue la evolución geodinámica principal propia de cada sector: eocena en el borde SE y oligoceno-miocena en el borde SW. Son cuerpos evaporíticos instalados frontalmente a los abanicos aluviales o entre los mismos, siendo así de baja concentración iónica. Se trata de largos y estrechos cinturones jalonados por pequeños y discontinuos cuerpos lacustres evaporíticos. Sus potencias son discretas, no superando el centenar de metros. Los materiales evaporíticos principales están limitados a sulfato cálcico, con carbonatos subordinados. El sílex se encuentra asociado típicamente a este cinturón. En el borde con los Catalánides destacan las unidades del Complejo de Ulldemolins, así como las de Pira-Sarreal, Copons, etc. En el borde con la Cordillera Ibérica destacan las de Calanda, Vinaceite, Pozuelo-Borja, Ablitas-Monteagudo, Autol y Ribaflecha. En el sector alóctono pirenaico se desarrolla la unidad Yesos de Tremp.

Los sistemas centrales son principalmente de control pirenaico, y ocupan los ejes deposicionales de la cuenca para cada

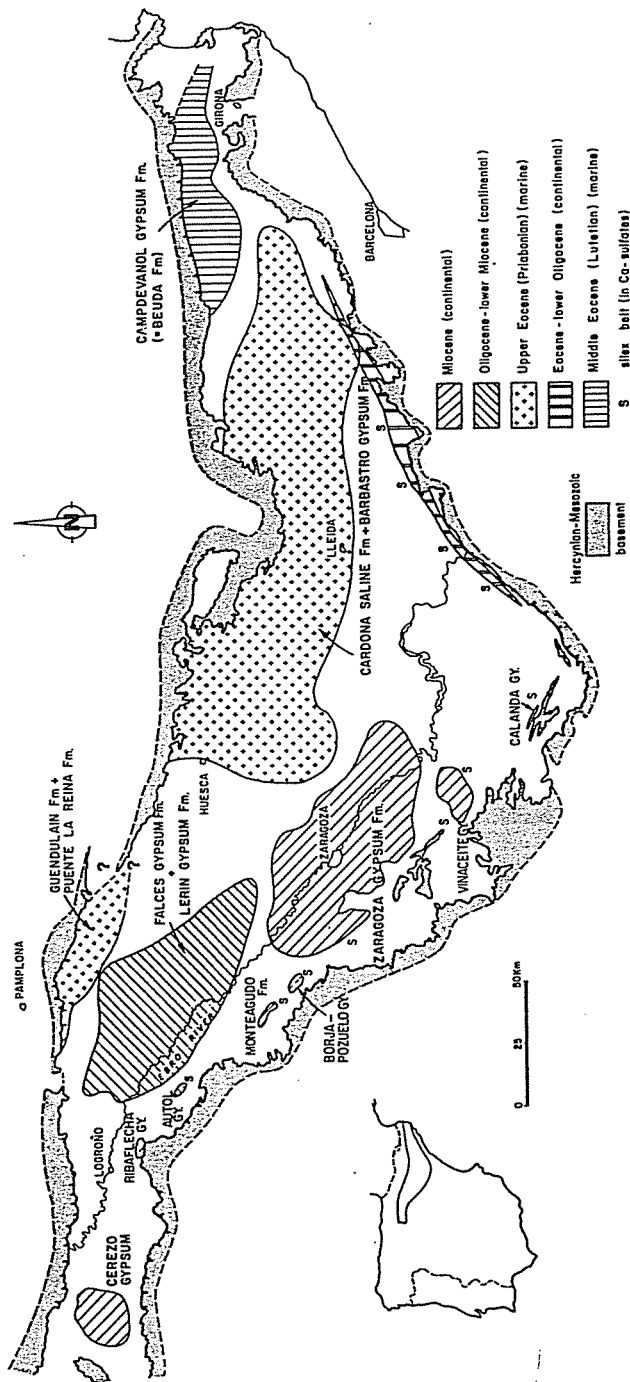


Fig.2 Localización geográfica de las principales formaciones evaporíticas en la zona autóctona de la Cuenca del Ebro. Unidades continentales de centro de cuenca: Fms. Barbaastro-Puente la Reina, Zaragoza, Falces-Lerín y Cerezo. Unidades Continentales miocenas marginales, del borde de la Cordillera Ibérica: Ribaflecha, Autol, Monteagudo-Ablitas, Borja-Pozuelo, Vinaceite, Calanda. Obsérvese la existencia, tanto en éstas como en las unidades continentales eocenas marginales del borde con los Catalánides. del cinturón de sílex sobreimpuesto

momento de su evolución (desplazamiento progresivo hacia el S y hacia el W). Se caracterizan por presentar formaciones evaporíticas muy potentes (orden de mil metros) y elipsoidales, y por su riqueza en facies evaporíticas: sulfatos de Ca, de Ca-Na, (de Ca-K-Mg), y cloruro sódico, siendo pobres en carbonatos. Las formaciones principales son: Zaragoza, Barbastro-Puente la Reina, Falces, Lerín y Cerezo.

Ambos sistemas lacustres son independientes, tanto en el tiempo como en el espacio. Sin embargo, localmente pueden empalmar entre sí, haciendo tránsito lateral de uno a otro. Este caso parece válido para las unidades de Autol (marginal) y Los Arcos (unidad superior de la Fm. Lerín) (fig. 1), y su existencia es demostrable en otras cuencas (Calatayud). Ello permite plantear un corte general de sistema evaporítico (fig. 3). La alimentación hidrológica principal del sistema es subterránea, en relación con la someridad de sus medios deposicionales.

### 3. FACIES PRIMARIAS Y MECANISMOS DIAGENETICOS PRINCIPALES

**SISTEMAS MARINOS.** Respecto al sulfato cálcico, la facies típica de la fase luteciense es laminada y de grano muy fino, y en general muy pura (facies "de cuenca"). Respecto a la fase priaboniense, las facies dominantes son laminado-estromatolíticas y seleníticas, con mayores cantidades de insoluble carbonatado y arcilloso. Igualmente, para los sulfatos del Priaboniense existen cristalizaciones asociadas de celestina ( $\text{SrSO}_4$ ), que localmente podrían tener interés económico. La geometría del depósito de sulfatos luteciense es una potente capa, del orden del centenar de metros, que previsiblemente se bisela hacia los bordes, mientras que para los sulfatos priabonienses la geometría es la inversa: cuña periférica (de hasta 40 m) que se adelgaza hacia el centro de cuenca. En ambos casos el yeso original ha sufrido una transformación a anhidrita, principalmente durante el enterramiento profundo. Aún así, las litofacies seleníticas del Priaboniense se conservan bien como pseudomórficas. Sin embargo, la anhidrita aflora rápidamente al profundizar en los frentes, perjudicando ello las explotaciones.

Las litofacies de los cloruros (halita) de la fase luteciense nos son desconocidas, mientras que las correspondientes a las priabonienses, tanto de la halita como de la silvinita y carnalita, han sido ampliamente documentadas (Pueyo, 1975; Rosell Ortiz, 1983). En las potasas las litofacies principales son las primarias, siendo menos importantes en volumen las propias de procesos diagenéticos (silvinita "transformada"). En las halitas también dominan las facies primarias, con cristales evolucionados a partir de tolvas, aunque se presentan recristalizaciones tanto en las zonas diapíricas como en las zonas de borde de cuenca (por disolución y reprecipitación) del sector catalán. Sobre el interés económico de estas potasas existe una amplia bibliografía.

**SISTEMAS CONTINENTALES.** En los sistemas marginales la facies original corresponde principalmente a un yeso de grano muy fino, en capas del orden decimétrico a métrico, que suele mostrar intensa bioturbación de origen animal. Se trata de microcristales

gradiente de salinidad → +

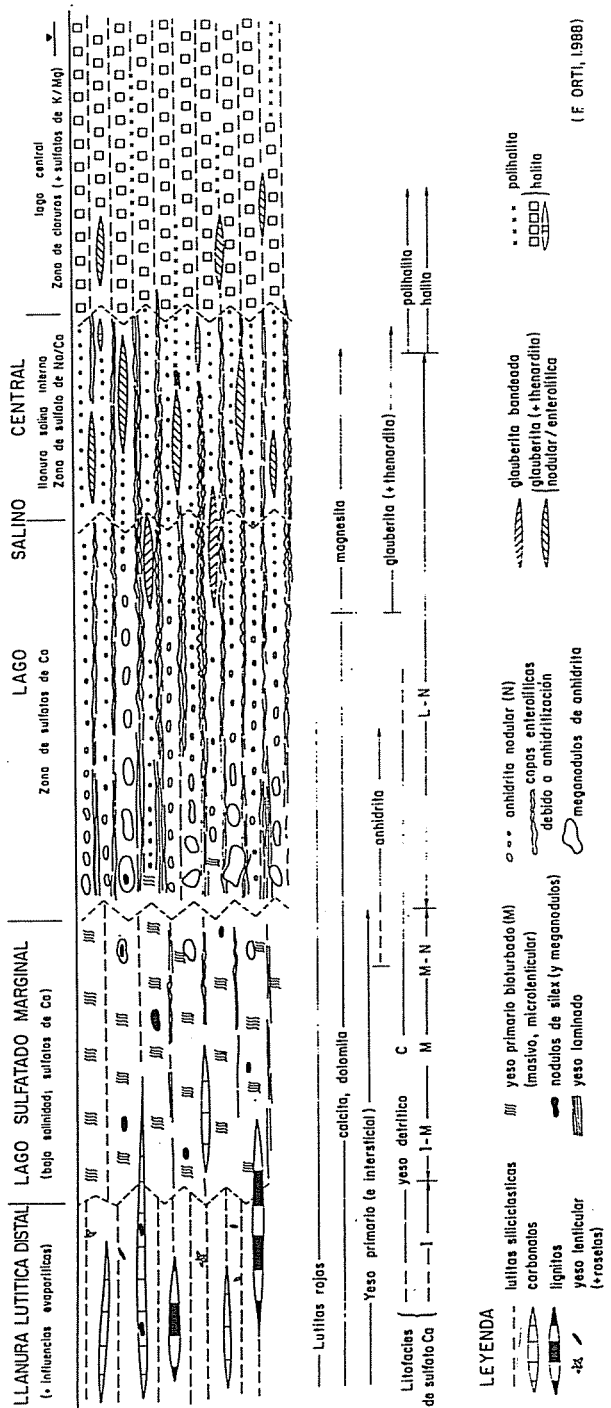


Fig.3 Corte general idealizado de ambientes deposicionales en la Cuenca del Ebro, desde los sistemas evaporíticos marginales a los centrales (modificado de F. Orti, 1988, fig.3).

lenticulares (gipsilitas-gipsarenitas) en los que se presenta escasa cantidad de matriz arcillosa o margosa. El proceso de bioturbación confiere un carácter masivo a las capas y uniformiza su riqueza en sulfato cálcico.

La diagénesis temprana en estos sistemas lacustres muy someros (lagos-playa y sabkhas) ha producido:

- 1) el reemplazamiento parcial del yeso primario por nódulos y meganódulos (>50 cm) de sílex. En este proceso la sílice parece comportarse como una fase evaporítica más.
- 2) la anhidritización parcial del yeso primario en una amplia gama de tamaños, desde micronódulos (<2 cm) a meganódulos (>50 cm). Este proceso, que afecta a los depósitos ya con grados de litificación y con intensidades muy diferentes, genera gran pureza en sulfato cálcico en las áreas nodulizadas. Su causa reside en la continua caída a posición subterránea (fase sabkha) de la lámina de agua. Localmente la meganodulización y las estructuras fluidales a gran escala dominan en las unidades yesíferas.

La diagénesis tardía ha producido:

- a) la anhidritización por enterramiento profundo del yeso primario de los depósitos más antiguos (eocenos y oligocenos) que no habían sido anhidritizados precozmente. Este proceso apenas ha afectado a los depósitos miocenos;
- b) la hidratación final de esta anhidrita a yeso secundario, en fase morfogenética reciente. Este hecho generalizado hace posible el beneficio final del sulfato cálcico en forma de yeso.

En los sistemas centrales la distribución de facies parece seguir el esquema sintetizado en la fig. 3 (aunque éste no sea aplicable en su totalidad a cada formación). La alta concentración iónica provoca que casi todo el yeso laminado depositado primariamente sea anhidritizado de un modo diagenético temprano, generándose horizontes nodulares que alternan con litofacies laminadas preservadas. Se observa en estas grandes formaciones evaporíticas una pérdida de tamaño nodular desde las zonas periféricas hacia sus centros.

Siguiendo a los sulfatos cálcicos, hacia centro del sistema se localizan horizontes con sulfatos sódico-cálcicos (glauberitas) en posiciones intermedias entre aquellos y los cloruros. Han sido citadas capas de sulfato sódico (thenardita) (Mandado, 1987) y de polihalita (Ortí y Salvany, 1986) en algunos sondeos. Las facies de las glauberitas son tanto nodulares y enterolíticas (diagenéticas intersticiales) (Fms. Falces y Lerín) como bandeadas (Fm. Cerezo). Núcleos halíticos son conocidos en algunas de estas formaciones, con potencias del orden del centenar de metros (Fms. Zaragoza, Barbastro, Falces y Lerín), intercalando alguno o todos los sulfatos antes citados (excepto en la Fm. Barbastro?). Las litofacies halíticas suelen ser primarias, con cristales del tipo tolvá, y también diagenéticas del tipo fenoblásticas (cristales grandes y transparentes de disolución-reprecipitación). Las facies polihalíticas son siempre diagenéticas tempranas, reemplazando a otros sulfatos precursores. La sílice diagenética es mínima en estos sistemas centrales. Además de dolomita, la magnesita puede acompañar a los cloruros sódicos y sulfatos sódico-cálcicos.

Algunas unidades centrales parecen no desarrollar las facies más solubles (cloruros), limitando su paragénesis a sulfatos de Ca y glauberita (Yesos de Cerezo).

Durante la diagénesis tardía, y en relación con las fases de reciente exhumación, las enormes formaciones de anhidritas nodulares diagenético-tempranas han sido rehidratadas a yeso secundario, permitiéndose así su actual explotación. Igualmente, una parte de las glauberitas ha sido reemplazada por yeso secundario. De un modo general, las facies más solubles (cloruros, thenarditas, glauberitas) han podido ser disueltas, dejando extensas formaciones superficiales estériles.

#### 4. LA ACTIVIDAD MINERA Y EXTRACTIVA EN RELACION CON LAS EVAPORITAS

**SULFATO CALCICO.** Las intensas explotaciones de los yesos marinos del Eoceno catalán (zonas de Beuda y Campdevàno, en los lutecienses; zonas de Odena y Vic, en los priabonienses) están seriamente amenazadas por la aparición de la anhidrita en los frentes, y muchas están siendo abandonadas. Prácticamente todas las unidades existentes en los sistemas lacustres marginales han sido explotadas en diversos grados, tanto para yesos como para escayolas y alabastros ornamentales. Esta última actividad se ha centrado en las zonas de meganodulización preferente (zonas de Valldeperes y Sarreal, en el Eoceno del borde con los Catalánides; Yesos de Vinaceite, en Zaragoza; zonas de Ribaflecha, Ablitas, etc, en el Mioceno de Navarra-La Rioja).

Comparativamente, los núcleos de las grandes formaciones centrales (Zaragoza, Lerín, Falces, Barbastro, Cerezo) han sido menos explotadas, debido a la abundancia de alternancias arcillosas. Sin embargo, en sus anillos periféricos el desarrollo de meganódulos aislados o en capas potentes ha permitido extracciones intensas (Mediana, Rodén, Gelsa, etc, en la Fm. Zaragoza; Villalómez en los Yesos de Cerezo). También en determinados sectores periféricos de mayor pureza en sus facies laminadas han progresado las extracciones (Yesos de Copons).

**SULFATO SODICO.** Tal como muestra la fig. 3, los sistemas centrales pueden tener intercalaciones de sales sódicas importantes. La intensa actividad desarrollada en los Yesos de Cerezo (la producción de mineral glauberita durante 1986 por parte de CRIMIDESA fue de 222.312 toneladas; IGME, 1988), así como las antiguas extracciones de la Fm. Lerín (Alcanadre-Arrúbal, San Adrián, etc), e igualmente los niveles glauberíticos cortados por el sondeo de Marcilla-1 en los Yesos de Falces (Salvany, 1989), y por varios sondeos mineros en la Fm. Zaragoza, etc, todo ello sugiere un enorme potencial glauberítico en estas formaciones. El enriquecimiento podría ser máximo en aquellas unidades que no han desarrollado núcleos halíticos centrales (Cerezo) o bien éstos son poco importantes (Fm. Lerín). Es de esperar la localización de similares horizontes de sulfatos de Na-Ca en otras unidades donde aún no se conocen, como en los Yesos de Barbastro. Los sistemas marginales parecen totalmente desprovistos de sulfatos sódicos y su proyección en tales unidades estaría poco justificada.



CLORURO SODICO. En las unidades continentales su localización se limita a los núcleos de los sistemas lacustres centrales, estando relativamente desarrollados en las Fms. Zaragoza, Barbastro y Falces, pero faltando en las marginales. La unidad halítica mejor conocida es la de la Fm. Zaragoza cuya explotación se remonta a la época romana (Remolinos), con un depósito primario bandeado (Ortí y Pueyo, 1977; Mandado, 1987). Existieron antiguas explotaciones mineras de sal en Arrúbal (Fm. Lerín) y Sástago.

POTASAS. Durante 1986 la producción de sales potásicas surpirenaicas fue de 5.588.463 toneladas de mineral ( y el cloruro sódico obtenido como subproducto de las anteriores representó el 17,4% en importancia económica de la producción total de esta sustancia; IGME,1988). En la actualidad se investiga las posibilidades de la cubeta navarra (fase del Priabonense), tras el cierre de P.D.N. en Beriain y la apertura de POSUSA en Subiza. Las reservas en silvinita (y carnalita) de la cubeta catalana son enormes (EXPLOSIVOS RIO TINTO, en minas de Sallent-Balsareny y en Cardona; SOLVAY, en Súrria). La pobreza en cloruros de la fase luteciense sugiere la no existencia de potasas en la misma.

## 5. POSIBLES CRITERIOS DE PROSPECCION Y ACTUACION FUTURA

Dejando de un lado las dos fases marinas eocenas, que deben ser consideradas como unidades sedimentarias independientes, cada una con sus respectivas problemáticas, para la valoración y exploración completa de las unidades evaporíticas continentales es recomendable el tener una visión de conjunto, aunque a primera vista puedan considerarse individualizadas e independientes. La excesiva someridad de todos los cuerpos lacustres parece haber impedido el desarrollo de ciertos depósitos de interés económico (presentes en otras cuencas endorreicas del Terciario peninsular), como : azufre elemental, diatomitas, pizarras bituminosas, e hidrocarburos en general. Sin embargo, la prospección de subsuelo realizada en las grandes unidades centrales es aún muy limitada. No puede descartarse tampoco la existencia de posibles anillos externos de arcillas especiales, en particular sepiolitas y/o paligorskitas, en relación con los sistemas lacustres más marginales.

A pesar del importante volumen de sulfato cálcico depositado durante todo el Terciario, la someridad antes referida de los sistemas lacustres limita la pureza de los depósitos. Este condicionante sedimentológico está parcialmente corregido por los mecanismos diagenéticos de nodulización anhidrítica, que producen localmente yesos de altísima pureza, en particular en las facies de meganódulos, que han sido las principales promotoras de las industrias de las escayolas y alabastros. Estas facies deben buscarse preferentemente tanto en los sistemas marginales como en los anillos más periféricos de los grandes sistemas centrales, tipo Fm. Zaragoza. Sin embargo, la fijación de sílice en los primeros puede perjudicar el tratamiento industrial de los yesos.

La potencialidad en depósitos glauberíticos (y thenardíticos) en los sistemas centrales es grande y quizás no ha sido suficientemente investigada. Su prospección puede hacerse en

relación con el esquema de la fig. 3, es decir, en posición intermedia entre los cloruros y el yeso/anhidrita. En los afloramientos la presencia de glauberita puede deducirse a través de la existencia de ciertas capas perfectamente pseudomorfizadas en yesos secundarios (en la zona navarra Ortí y Salvany, 1986, han dado criterios adicionales de prospección de capas glauberíticas). Igualmente, es previsible que se presenten en dichos depósitos capas asociadas de polihalita u otros sulfatos diagenéticos.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BUSQUETS, P., ORTI, F., PUEYO, J.J., RIBA, O., ROSELL, L. SAEZ, A., SALAS, R. y TABARNER, C. (1985).- Evaporite deposition and diagenesis in the Saline (Potash) Catalan Basin, Upper Miocene. Exc. Guidebook, Vith European regional Meeting, I.A.S., Lérida, Exc. n.1, 11-59
- IGME (1988).- Panorama minero 1986. Ministerio de Industria y Energía, 1-411.
- MANDADO, J. (1987).- Litofacies yesíferas del Sector Aragonés de la Cuenca Terciaria del Ebro. Petrogénesis y Geoquímica. Tesis doctoral, Univ. Zaragoza, 1-443.
- ORTI, F. (1988).- Sedimentación evaporítica continental durante el Terciario en la Península Ibérica: aspectos generales. II Cong. Geol. España, S.G.E., Granada, 1988; Vol. Simposios, 509-518.
- ORTI, F. y PUEYO, J.J. (1977).- Asociación halita bandeada-anhidrita nodular del yacimiento de Remolinos, Zaragoza (sector central de la Cuenca del Ebro). Nota petrogenética. Rev. Inst. Inv. Geol. Dip. Prov. Barcelona, 32, 167-202
- ORTI, F y SALVANY, J.M. (1986).- Programa de investigación de las formaciones evaporíticas en Navarra, vols. I y II y Anexos (Memoria inédita), Gobierno de Navarra.
- ORTI, F., BUSQUETS, P., ROSELL, L., TABARNER, C., UTRILLA, R. y QUADRAS, M. (1987/88).- La fase evaporítica del Eoceno medio (Luteciense) en la Cuenca surpirenaica catalana. Nuevas aportaciones. Rev. Inv. Geol., 44-45 (en prensa).
- ORTI, F., SALVANY, J.M., ROSELL, L. y INGLES, M. (1989).- Sistemas lacustres evaporíticos del Terciario de la Cuenca del Ebro. Geogaceta (en prensa).
- PUEYO, J.J. (1975).- Estudio petrológico y geoquímico de los yacimientos potásicos de Cardona, Súria, Sallent y Balsareny (Barcelona, España). Tesis doctoral, Univ. Barcelona.
- ROSELL ORTIZ, L. (1983).- Estudi petrològic, sedimentològic i geoquímic de la formació de sals potàssiques de Navarra (Eocè superior). Tesis doctoral, Univ. Barcelona, 1-321
- SALVANY, J.M. (1989).- Las formaciones evaporíticas del Terciario continental de Navarra y La Rioja. Tesis doctoral, Univ. Barcelona.