

## **ASPECTOS PETROLOGICOS Y SEDIMENTOLOGICOS DE LOS YESOS DE ABLITAS Y MONTEAGUDO (NAVARRA): MIOCENO DE LA CUENCA DEL EBRO**

J. M. SALVANY DURAN \*

### **RESUMEN**

Los Yesos de Monteagudo constituyen una pequeña formación evaporítica próxima al borde Sur de la Cuenca del Ebro, en la provincia de Navarra. Está constituida por yeso primario microlenticular con bioturbación, yeso secundario masivo-micronodular que contiene grandes nódulos también de yeso secundario de tamaño métrico, carbonatos algales, nódulos de sílex y arcillas del tipo illita-clorita-esmectita. Por la distribución de facies y la relación con las formaciones detríticas encajantes, hemos interpretado estas evaporitas como el resultado de la evolución de un playa-lake de baja salinidad, situado al pie de los abanicos aluviales del borde meridional de la Cuenca. Estas facies se abren hacia el Norte a una extensa llanura lutítico-carbonatada que ocupa la parte central de la Cuenca.

### **ABSTRACT**

The Monteagudo gypsum is a small evaporitic formation placed in the Southern edge of the Ebro basin, in Navarra. It is composed of microlenticular primary gypsum with bioturbation, secondary gypsum as big nodules scattered between a micronodular gypsum matrix, algal limestones, chert nodules and illite-clorite-smectite clays. We have interpreted these facies as the result of a low-salinity playa-lake environment placed at the

\* Depto. Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica Universidad de Barcelona

foot of alluvial fans of the meridional edge basin, opened to the North towards a one lutitic and carbonatic mud flat which represents the central area of the basin.

## INTRODUCCION

Existen en el margen Sur de la Cuenca del Ebro, en su sector occidental (Navarra-La Rioja), diversas formaciones yesíferas, de reducidas dimensiones, que presentan características litológicas comunes entre sí y a la vez bien diferentes de las que ofrecen las grandes formaciones evaporíticas de centro de cuenca. Se trata de los Yesos de Borja (Zaragoza), Monteagudo-Ablitas (Navarra), Autol (La Rioja) y Ribaflecha (La Rioja).

Con algunas variaciones entre ellas, estas formaciones están constituidas principalmente por yeso secundario en forma de grandes nódulos de tamaño métrico (meganódulos según ORTI, 1988) dispersos en una matriz de yeso micronodular; por nódulos de sílex; así como por unas características facies de yeso primario microlenticular y bioturbado que contienen carbonatos algales. También, como característica propia es de destacar el alto contenido en esmectitas de las arcillas asociadas a los yesos.

Estas facies difieren notablemente de los yesos nodulares o laminados, con intercalaciones de sal (halita) y otros sulfatos (glauberita, polihalita...), de las formaciones evaporíticas de centro de cuenca, y representan por tanto un tipo de medio evaporítico particular, tanto en un sentido paleogeográfico (evaporitas de borde de cuenca), como ambiental (evaporitas de más baja salinidad). De estas diferentes pequeñas formaciones, los yesos de Ablitas y Monteagudo constituyen el mejor ejemplo para el estudio e interpretación sedimentológica de estas facies evaporíticas, dado que en ellos están bien representadas las diferentes litologías y ofrece además unas excelentes condiciones de afloramiento.

En el presente artículo haremos una descripción de las litofacies que integran la formación Monteagudo, expondremos la relación entre las mismas y los materiales de las formaciones encajantes, y finalmente expondremos el modelo sedimentológico y diagenético que creemos permite explicar sus características.

El estudio se ha basado en un reconocimiento sobre el terreno de las facies y su distribución, levantamiento de 8 cortes estratigráficos (figura 3) y muestreo de sus diferentes litologías. El material muestreado ha sido analizado al microscopio petrográfico (33 láminas delgadas), al microscopio electrónico de barrido (Scanning) y por difracción de rayos-X (25 difracciones de sulfatos y carbonatos, en roca total; 13 difracciones de arcillas en agregados orientados).

Parte de los resultados que se exponen en este artículo fueron ya presentados en ORTI et al. (1986), ORTI y SALVANY (1986) y ORTI (1987, 1988). Otros autores que han hecho referencia a estos mismos materiales desde diferentes puntos de vista (estratigráfico, paleontológico o mineralógico) son: RUIZ DE GAONA et al., 1946; RIBA, 1964; CRUSAFONT et al., 1966; CASTIELLA et al., 1977; GONZALEZ y GALAN, 1984; MANDADO, 1987, y PEREZ, et al., 1988.

## CARACTERISTICAS ESTRATIGRAFICAS

La formación fue denominada por CASTIELLA et al. (1977) como «Yesos de Monteagudo» probablemente por el hecho de presentarse en esta localidad el conocido yacimiento de vertebrados (RUIZ DE GAONA et al., 1964) que ha permitido datarla como del Vindoboniense (Mioceno medio) o bien Aragoniense superior según la escala cronoestratigráfica actual. Sin embargo, en Monteagudo sólo aflora una reducida parte de la formación, siendo en Ablitas donde ésta se presenta en toda su amplitud. Entre Monteagudo y Ablitas se extiende la terraza cuaternaria del río Queiles, que corta totalmente la continuidad entre ambos afloramientos.

Estratigráficamente los Yesos de Monteagudo se sitúan entre los materiales detríticos miocénicos del borde Sur de la Cuenca, que en este sector comprenden varias formaciones (CASTIELLA et al., 1977) (figura 1):

A) *Fm. Cascante*: Se sitúa por debajo y lateralmente a los yesos de Monteagudo al Oeste del río Queiles, con una potencia en conjunto del orden del centenar de metros. Constituye una serie arcillosa rojiza en la que están bien desarrollados los niveles de arenisca y canales de conglomerados.

B) *Fm. Alfaro*: Se sitúa estratigráficamente por debajo de los yesos en la zona de Ablitas. Está constituida por arcillas rojizas entre las que se intercalan algunas capas de arenisca y limolitas que raramente superan los 50-80 cm. de potencia, así como algunos niveles de yeso poco importantes. La potencia total supera los 80-90 m.

C) *Fm. Fitero*: Hacia el Sur y el Oeste las formaciones Cascante y Alfaro pasan lateralmente a una potente serie conglomerática que constituye las facies de abanicos aluviales más proximales. A pesar de que no llega a aflorar en su totalidad se le puede considerar una potencia superior a los 300 m. Un estudio estratigráfico y sedimentológico detallado de esta unidad se ofrece en PEREZ y MUÑOZ (1985).

D) *Serie de Transición*: Con este nombre GONZALEZ y GALAN (1984) denominan a la serie que se sitúa estratigráficamente por encima de los yesos en Ablitas, y finaliza a techo con las calizas de La Muela de Borja. Esta serie es fundamentalmente arcillosa y presenta una gran variedad litológica: areniscas, limolitas, calizas, calizas con sílex, etc. CASTIELLA et al. (1977) consideran para esta unidad una potencia de 330 m.

E) *Facies de Tudela*: Constituyen el paso lateral hacia el Norte de los yesos de Monteagudo, así como de las formaciones detríticas Cascante, Alfaro y Serie de Transición. Estos materiales tienen una gran extensión regional en la Ribera de Navarra y La Rioja y representan las facies aluviales distales del margen Sur de la Cuenca. Están constituidas fundamentalmente por arcillas rojas con frecuentes niveles calizas, de 1 a 3 m. de potencia, así como de areniscas. La potencia de esta unidad puede estimarse en unos 300-400 m. aunque en ningún punto llega a aflorar la totalidad de la serie. Consideraciones más detalladas sobre estas facies han sido realizadas por PEREZ et al. (1988).

F) *Calizas de La Muela de Borja*: Son en este sector de la cuenca el techo del Terciario, con una potencia de 60-70 m. Esta unidad está formada por calizas algales de aspecto masivo con algunas intercalaciones margosas. PEREZ y MUÑOZ (1986) realizaron un estudio sedimentológico detallado de estas facies.

En Ablitas los yesos constituyen una unidad tabular que buza ligeramente hacia el E-SE (aprox. 5°) con una potencia que no llega a superar los 20-30 m. Por el Norte y Oeste la formación se presenta erosionada formando un escarpe que puede seguirse varios kilómetros y permite los mejores afloramientos para su observación. Bajo este escarpe afloran las arcillas de la Fm. Alfaro que se reconocen bien por su color rojizo característico. Hacia el Sur los yesos pierden su continuidad bajo los materiales de la Serie de Transición sin que pueda precisarse su terminación meridional.

En Monteagudo los yesos quedan reducidos a unas pocas capas, no superiores a los 2-3 m. de potencia cada una de ellas, intercaladas entre las arcillas, areniscas y conglomerados de la Fm. Cascante (ver perfil estratigráfico CMC de la figura 3). Estas capas de yeso forman una pequeña hilera de lomas al Oeste de Monteagudo. La desconexión de estos niveles de los de Ablitas dificulta su correcta correlación, aunque CASTIELLA et al. (1977) los consideran equivalentes a los niveles más bajos aflorantes en Ablitas.

Por el Sureste no está hasta el momento clara la conexión de los Yesos de Monteagudo con los que afloran en Borja. Ambas unidades se hallan separadas por los relieves que constituyen la Muela de Borja pero presentan muy similares características petrológicas (GONZALEZ y GALAN, 1984; MANDADO, 1987) y estratigráficas. CASTIELLA et al. (1977) opinan que los yesos de Borja ocupan una posición algo más alta en la serie que los de Ablitas y Monteagudo y que por tanto corresponden a niveles de diferente edad. Por el contrario, PEREZ et al. (1988) creen que se trata de la misma unidad y así lo reflejan en su trabajo. De hecho, ambas unidades yesíferas ofrecen un significado sedimentológico idéntico, al margen de que puedan o no ser equivalentes laterales y en este sentido, buena parte de lo que expondremos para los Yesos de Monteagudo, es válido también para los yesos de Borja.

## PETROLOGIA

La formación, como ya se ha comentado, está constituida principalmente por yeso así como carbonatos (calcita y dolomita), arcillas y nóludos de sílex.

### El yeso

El yeso es básicamente de dos tipos: *primario*, formado directamente en el medio sedimentario por precipitación a partir de las salmueras saturadas en sulfato cálcico; o bien *secundario*, procedente de la transformación durante la diagénesis tardía, de anhidrita antecesora. Ambos tipos de yeso se distinguen bien al microscopio y también de «visu».

A) *El Yeso Primario*. En Monteagudo y en el extremo occidental del área de Ablitas, el yeso es de tipo primario microlenticular presentándose con dos litofacies diferentes:

1. Yeso Microlenticular «Caramelo»: De «visu» se reconoce fácilmente por su textura de grano muy fino (gipsilitita), aspecto masivo y característico color marrón acaramelado. Forma capas de uno o varios metros, intensamente bioturbadas con abundantes inclusiones de carbonato.

Al microscopio el yeso se observa como un denso agregado de microlenticulas de tamaño entre 100-500 m $\mu$ . Las lenticulas forman normalmente una fábrica desorientada aunque con motivo de la bioturbación se pueden orientar formando tubos de varios milímetros de diámetro dispuestas tangencialmente a sus bordes, formando en sección longitudinal (foto 6) arcos concéntricos. En ocasiones, se identifican zonas en las que el yeso presenta una textura en mosaico anedral, que recuerdan a la del yeso alabastrino. Se trata también de yeso primario, precipitado como cemento en la porosidad del sedimento. Este tipo de yeso en mosaico es frecuente observarlo entre los tubos o «burrows» producidos por la bioturbación ofreciendo, en sección transversal, una estructura concéntrica en la que el cemento yesífero ocupa el núcleo del «burrow» mientras que el yeso microlenticular forma la zona periférica del mismo.

El carbonato forma zonas irregulares entre el yeso (antiguos niveles distorsionados por la bioturbación) y algunos de sus componentes (fragmentos algales) llegan a reconocerse a simple vista. Su color es siempre más claro que el del yeso y cuando es abundante permite reconocer mejor la bioturbación en la roca.

2. Yeso Microlenticular Verdoso: Forma capas de potencia normalmente inferior al metro, también muy bioturbadas, de textura más gruesa que el yeso «caramelo», en las que las lenticulas de yeso se observan a simple vista (0,5 a 2 cm. de longitud). Estas lenticulas presentan formas muy aplanadas (discoidales), fábrica desorientada y siempre una cierta cantidad de matriz intercrystalina arcillosa o carbonatada que es la que da a la roca el característico color verdoso.

Al microscopio se observa una estructura heterométrica y desorientada en la que las lenticulas de yeso están con frecuencia interpenetradas entre sí. En los cristales de mayor tamaño son frecuentes las maclas. También se observan algunas inclusiones de anhidrita como reflejo de un primer estadio de deshidratación del mineral.

B) *El Yeso Secundario*: Constituye en conjunto la mayor parte de la formación, tratándose siempre de yeso alabastrino y ocasionalmente megacristalino (nomenclatura según ORTI, 1977). Se presenta con dos litofacies diferentes:

1. Yeso Masivo-Micronodular. Forma capas de orden decimétrico de morfología irregular que superpuestas llegan a constituir tramos de varios metros. En detalle, este yeso se presenta como un denso empaquetado de micronódulos cuyo tamaño está normalmente entre 1 cm. y 2-3 cm. El carácter micronodular no siempre llega a distinguirse de «visu» pero al microscopio se aprecia bien como el yeso alabastrino se

dispone formando pequeños nódulos de yeso muy puro, en una matriz envolvente alabastrina más impura que contiene las arcillas verdosas que dan color a la roca.

2. Grandes Nódulos de Alabastro (Meganódulos): Se emplazan entre los yesos micronodular y microlenticular verdoso, de forma aislada o bien formando niveles de varios nódulos. El tamaño de estos nódulos oscila entre los 20-30 cm. y 1-2 m. y son de yeso alabastrino muy puro y color blanco. En ocasiones también pueden presentarse como yeso megacristalino, llegando a constituir todo el meganódulo un único cristal (foto 2).

En los meganódulos emplazados entre el yeso primario es frecuente observar una envoltura de yeso fibroso de algunos centímetros, poniendo de manifiesto una disminución en el volumen del nódulos en algún momento de la diagénesis del yacimiento. Por sus características, este cambio parece estar en relación con la transformación a yeso secundario del meganódulo pues en un estadio más temprano de la diagénesis la compactación del depósito difícilmente habría permitido este fenómeno.

C) *Relación entre las diferentes Facies Yesíferas:* En la figura 4 se ha representado esquemáticamente la distribución de facies yesíferas en un corte ONO-ESE de la formación a partir de las diferentes series realizadas (fig. 3). En este corte se reflejan los siguientes aspectos:

1. La parte occidental de la formación está constituida por las facies de yeso primario que lateralmente, hacia el Este, pasan a los yesos alabastrinos.

2. Los yesos primarios se encajan entre las facies detríticas de la formación Cascante, de carácter aluvial más próxima (arcillas con areniscas y conglomerados) mientras que los yesos alabastrinos lo hacen entre las formaciones arcillosas (con areniscas y carbonatos) de Alfaro, Tudela y Serie de Transición, que constituyen facies aluviales más distales.

3. Las facies de yeso primario verdoso constituyen el material encajante en el dominio del yeso primario. Entre el yeso primario verdoso se sitúan los yesos de facies «caramelo», así como algunos grandes nódulos de yeso secundario alabastrino o megacristalino.

4. El yeso micronodular verdoso actúa como material encajante entre los meganódulos de yeso alabastrino. Este tipo de yeso proviene de la anhidritización del yeso primario verdoso y posterior transformación a yeso secundario (Fig. 6). En esta transformación se pierde totalmente la textura lenticular original de la roca (no se reconocen pseudomorfos) para adquirir la facies masiva-micronodular que hemos descrito. A pesar de ello, en ocasiones entre el yeso secundario se llegan a reconocer trazas de bioturbación, fragmentos algales y otros elementos relictos de la antigua textura original.

## **La celestina**

En buena parte de las muestras de yeso analizadas al microscopio se reconocen

pequeños cristales (10-100  $m\mu$ ) subidiomórficos o idiomórficos que por sus características ópticas interpretamos como celestina. A pesar de que llegan a ser abundantes en algunas láminas, siempre representan una proporción muy baja con respecto al yeso sobre el que se encuentran y no llegan a identificarse en los difractogramas de rayos-X.

Estos cristales se presentan indiferentemente en los distintos tipos de yeso y tienen, por tanto, que estar en relación con etapas tempranas de la diagénesis de la formación. No descartamos la posibilidad de que en parte esta celestina esté relacionada también con la transformación de la anhidrita a yeso secundario. En este caso su origen sería diagenético tardío y su significado genético sería bien diferente de la celestina formada en el medio sedimentario. La presencia de este mineral entre los yesos puede ser la responsable (en parte) de los altos valores en estroncio que ofrecen las muestras analizadas de esta formación (datos inéditos del autor).

### Los carbonatos

El carbonato está presente en la formación como matriz o inclusiones entre los yesos o bien como niveles bien individualizados entre las arcillas. En ambos casos las características petrográficas son muy similares: se presentan con textura micrítica dominante, aspecto masivo o bioturbado y frecuentes moldes de evaporitas (foto 4). Los análisis de difracción de rayos-X permiten ver que se trata de calcita y/o dolomita.

Al microscopio (y también en ocasiones de «visu») se reconocen frecuentes bioclastos, en su mayor parte micritizados o recristalizados. Estos bioclastos son principalmente fragmentos algales (carófitas y otros grupos de algas), así como ostrácodos y gasterópodos.

También se reconocen con frecuencia pequeños cristales de calcita de neoformación, anhedrales, de tamaño esparita, que en buena parte reemplazan al yeso o bien crecen sobre el encajante. Estas calcitas tienen un origen algo tardío, posiblemente en relación con las primeras fases de enterramiento del depósito, pues crecen sobre cualquier proceso sedimentario o diagenético temprano previo. Están bien desarrolladas en los diferentes tipos de yeso aunque preferentemente lo son sobre el yeso primario reemplazando los bordes de sus cristales.

### El sílex

El sílex se presenta entre el yeso en cualquiera de sus facies (foto 1), y también, en menor grado de importancia, entre el carbonato. En ambos casos el sílex sustituye al sulfato y carbonato. Constituye nódulos de morfología muy irregular. Su tamaño puede variar entre pocos centímetros hasta más de un metro, siendo su forma tanto más irregular cuanto mayor es su tamaño. Son de color marrón muy oscuro o blancos.

Aunque están dispersos en toda la formación se advierte que su mayor desarrollo

está en relación con el yeso primario y la zona yesífera nodular más próxima al mismo. Conforme nos alejamos hacia zonas más distales los nódulos de sílex disminuyen en cantidad y tamaño.

Al microscopio el sílex presenta una homogénea textura microesferulítica (agregados fibrosoradiados de calcedonia) en la que en luz paralela se reconocen frecuentes pseudomorfos de yeso microlenticular. La presencia de estos pseudomorfos permite pensar que el sílex se originó antes de la anhidritización del yeso primario, pues los pseudomorfos se presentan indiferentemente entre el sílex emplazado en el yeso primario como en el que lo está entre el yeso secundario. Si el sílex fuera posterior a la anhidritización solo deberían reconocerse pseudomorfos en los nódulos de sílex situados entre el yeso primario, pues la textura microlenticular queda totalmente destruida al transformarse el sulfato cálcico en anhidrita. Un estudio petrográfico más detallado del sílex en la formación Monteagudo y también en Soria, ha sido realizado por MANDADO (1987).

### **Las arcillas**

Se han analizado por difracción de rayos-X diversas muestras de arcilla correspondientes a la base, techo y niveles intercalados en la formación. Las arcillas presentan entre sí un carácter marcadamente homogéneo y están constituidas por illita, clorita y esmectitas, así como caolinita en menor grado de importancia. Como minerales acompañantes hay cuarzo, calcita, dolomita y ocasionalmente magnesita. Un estudio mineralógico más amplio de las arcillas de la formación Monteagudo y formaciones vecinas en el área de Tarazona, Borja y Ablitas se ofrece en GONZALEZ y GALAN (1984).

## **SEDIMENTOLOGIA**

De la distribución de facies y su relación con las formaciones encajantes hemos considerado el modelo sedimentológico que exponemos en la figura 5:

Durante la etapa de desarrollo de la formación Monteagudo se individualizan bien las siguientes áreas sedimentarias desde el borde Sur hacia centro de Cuenca: I) área de abanicos aluviales (Fms. Fitero y Cascante), con facies detríticas gruesas (conglomerados, areniscas y arcillas); II) área de sedimentación evaporítica (Fm. Monteagudo); III) área de llanura lutítica distal con facies lacustres carbonatadas (facies de Tudela). Esta última área es la de mayor extensión en la cuenca y lateralmente hacia el Norte enlaza con las facies fluviales y aluviales del mioceno del borde pirenaico de la cuenca (Fm Ujue) descritas por PUIGDEFABREGAS, 1973; SOLER y PUIGDEFABREGAS, 1970; CASTIELLA et al. 1976, entre otros.

Sedimentológicamente las evaporitas de la formación Monteagudo responden a un modelo de playa-lake bien diferente de los modelos clásicos que se describen en



HARDIE et al. (1976), EUGSTER y HARDIE (1978) y otros trabajos. La distribución de facies no es concéntrica ni ocupa la parte central de la cuenca, tampoco existe un lago salino con precipitación de halita. En nuestro caso el playa-lake ocupa una posición marginal en la cuenca y se individualizan dos zonas diferentes:

Las facies de yeso primario bioturbado (IIa) se preservan en la zona más proximal a los abanicos aluviales, como zona lacustre de mayor estabilidad y salinidad moderada. Estas lagunas yesíferas están en relación probablemente con puntos algo más deprimidas entre los abanicos, alimentadas por las aguas de procedencia ibérica. Hacia centro de cuenca estas facies lacustres pasan lateralmente a otra zona evaporitas (IIb) donde la lámina de agua salina ocupa la mayor parte del tiempo una posición freática. En esta zona, el yeso microlenticular que es sedimento en las etapas de expansión lacustre es anhidritizado al reaccionar en subsuelo con las salmueras intersticiales que se han ido concentrando por bombeo evaporítico. Este proceso produce en el sulfato cálcico un cambio mineralógico y también textural: el yeso microlenticular primario pasa a anhidrita micronodular.

La llanura lutítica con carbonatos y areniscas (III) constituye una zona de mayor dilución con medios lacustres carbonatados alimentados por aguas de procedencia pirenaica (estas facies han sido estudiadas con mayor detalle por PEREZ et al. 1988). La zona de mezcla de aguas pirenaicas e ibéricas, corresponde al área de tránsito entre las evaporitas intersticiales y la llanura lutítica-carbonatada. En esta zona los carbonatos presentan frecuentes moldes de evaporitas como reflejo de periódicas variaciones en la salinidad del medio.

La dinámica del playa-lake podemos considerarla en tres estadios diferentes:

A) A través de los abanicos aluviales, se recarga el medio evaporítico con aguas procedentes de la Cordillera Ibérica, expandiéndose el lago yesífero sobre el mud flat distal de los abanicos. El yeso «caramelo» corresponde a una zona lacustre más profunda y estable precipitando como finos cristales sobre el fondo del lago de forma alternante con carbonato. El yeso verdoso corresponde a una posición marginal, creciendo intersticialmente en la zona de sedimento lutítico plano del lago. En este momento la actividad biológica puede ser máxima con producción de carbonato y bioturbación.

La sílice también llega a la cuenca con las aguas de procedencia ibérica, y precipita entre los sulfatos por cambios en el quimismo de las aguas al entrar en contacto con las salmueras del playa-lake (cambios de pH, salinidad, etc.). La sílice precipita reemplazando al sulfato en su forma primaria y posteriormente es incorporado en las otras litologías (anhidrita, yeso secundario) durante la diagénesis.

B) En los periodos de sequía la lámina de agua aflorante se restringe a los puntos más deprimidos del playa-lake, quedando la mayor parte del mismo en exposición subaérea. En esta zona de exposición subaérea las salmueras se extienden intersticialmente y se concentran por bombeo evaporítico, reaccionan con el yeso primario y producen su anhidritización. Este es, un proceso diagenético temprano ligado estrechamente a la dinámica sedimentaria del medio evaporítico.

C) No está claro en qué momento empiezan a generarse los grandes nódulos de anhidrita. Posiblemente se desarrollaron como proceso diagenético lento y profundo en una primera fase de enterramiento de la formación, al reaccionar con aguas salinas subterráneas los sulfatos anteriormente formados. Esta consideración puede justificarse por las siguientes observaciones: 1) En este proceso no se advierten distorsiones en los sulfatos encajantes, lo que implica un grado avanzado en la litificación de los mismos. 2) La gran pureza del yeso que constituye los meganódulos sugiere un crecimiento lento de los mismos, permitiendo la segregación del sedimento lutítico o carbonatado que forma la matriz del yeso y anhidrita encajantes.

Con la subsidencia de la cuenca los sulfatos quedan preservados en el subsuelo como anhidrita y yeso primario, pero durante su exhumación las aguas meteóricas reaccionan con la anhidrita hidratándola y transformándola en el yeso secundario. Este fenómeno se da como proceso diagenético tardío y afecta por igual a la anhidrita micronodular y meganodular. En este proceso no hay cambios en las litofacies, la anhidrita micro y meganodular permanecen con su misma forma y estructura. Como caso particular, la envoltura de yeso fibroso alrededor de los meganódulos emplazados entre el yeso primario (cantera de Ablitas ABH), sugiere que ha habido una disminución en el volumen de los mismos durante la diagénesis del yacimiento. Probablemente, como ya se ha comentado, esta disminución está relacionada con la transformación de la anhidrita a yeso secundario. Al sur de Ablitas la formación Monteagudo, por debajo de la serie de Transición, puede presentar aún niveles de anhidrita que no han sido transformados a yeso secundario, pero no tenemos datos de subsuelo que permitan confirmar este hecho.

## CONCLUSIONES

Los yesos de Ablitas y Monteagudo se formaron en un ambiente de tipo playa-lake de baja salinidad, situado al pie de los abanicos aluviales del borde Sur de la Cuenca del Ebro. En el yeso se distinguen bien cuatro litofacies diferentes: 1) yeso microlenticular primario de color marrón y tamaño de grano muy fino (yeso caramelo); 2) yeso microlenticular primario de color verdoso y tamaño más grueso; 3) yeso secundario masivo-micronodular de color verdoso; y 4) yeso secundario en grandes nódulos (o meganódulos) de tamaño métrico.

El yeso microlenticular primario (facies verdosa o caramelo) se ha generado en un medio lacustre evaporítico de baja salinidad y se presenta intensamente bioturbado por los organismos que colonizaron el ambiente sedimentario. Con pocas variaciones, este tipo de yeso se ha preservado, en buena parte, hasta la actualidad.

El yeso secundario micronodular proviene de la hidratación de una anhidrita micronodular antecesora. La anhidrita, a su vez, proviene de la transformación del yeso microlenticular primario como fenómeno diagenético temprano al reaccionar las salmueras intersticiales con el yeso primario en el playa-lake.

Los grandes nódulos de yeso secundario también provienen de anhidrita antecesora,

aunque esta tiene un origen algo más tardío que la anhidrita micronodular. Posiblemente en relación con una primera fase de enterramiento de la formación y como proceso diagenético lento en relación con aguas salinas profundas.

Otras litologías que acompañan el yeso son: el sílex, los carbonatos y las arcillas.

Los nódulos de sílex tienen un origen anterior o sincrónico a la anhidritización de los yesos primarios. Su origen está en relación, muy probablemente, con cambios en las condiciones físicas lacustres, por acción de microorganismos o cambios en la salinidad del medio.

Los carbonatos son en su mayor parte de origen algal (tallos de carofíceas y otros tipos de algas difíciles de identificar), aunque también son frecuentes otros bioclastos (ostrácodos, gasterópodos...). En su mayor parte estos componentes están micritizados y en parte también dolomitizados.

Las arcillas que acompañan a los sulfatos son del tipo illita, clorita y esmectita y presentan también cantidades variables de calcita, dolomita, cuarzo y ocasionalmente magnesita, como minerales acompañantes.

## AGRADECIMIENTOS

El presente estudio ha sido posible gracias al «Programa de investigación de las formaciones evaporíticas en Navarra (1984-86)», financiado por el Gobierno de Navarra y dirigido por el Dr. Federico Ortí Cabo del Depto. de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica de la Universidad de Barcelona.

## BIBLIOGRAFIA

CASTIELLA, J.; DEL VALLE, J.; RAMIREZ DEL POZO, J., 1977.- *Memoria explicativa de la hoja núm. 320 «TARAZONA» del Mapa Geológico de España*, esc. 1: 50.000, publ. I.G.M.E.

CASTIELLA, J.; SOLE, J.; DEL VALLE, J., 1988.- *Memoria explicativa del Mapa Geológico de Navarra*, esc. 1:200.000, Diputación Foral de Navarra, Dir. Obras Públicas, Serv. Geológicos (no publicada).

CRUSAFONT, M.; TRUYOLS, J., y RIBA, O., 1966.- Contribución al conocimiento de la estratigrafía del Terciario continental de Navarra y Rioja. *Not. y Com. I.G.M.E.*, 90: 53-76.

EUGSTER, H.P.; HARDIE, L.A (1978).- Saline lakes. In LERMAN, *Physics and Chemistry of Lakes*. Springer Verlag, 237-293.

GONZALEZ, I. y GALAN, E., 1984.- Mineralogía de los materiales terciarios del área de Tarazona-Borja-Ablitas (Depresión del Ebro). *Estudios Geológicos*, 40: 115-128.

HARDIE, L.A.; SMOOT, J.; EUGSTER, H.P., 1978.- Saline lakes and their deposits: a sedimentological approach. In MATTER and TUCKER, *Modern and ancient lake sediments*. Spec. Publ. Int. Ass. Sediment, 2: 7-41.

MANDADO, J., 1987.- **Litofacies yesíferas del Sector Aragonés de la Cuenca Terciaria del Ebro.** Pretogénesis y Geoquímica. Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza, 442 pp.

ORTI CABO, F., 1977.- Aproximación al estudio petrográfico de las microestructuras de rocas de yeso secundario y a su origen. **Rev. Inst. Inv. Geol. Dipu. Prov. Univ. de Barcelona.**, Vol. 32: 87-152.

ORTI, F.; SALVANY, J.M., 1986.- **Programa de Investigación de las formaciones evaporíticas en Navarra.** Informe Gobierno de Navarra: Vol. 1, Estudio Geológico, 121 pp. Vol. 2, Estudio Geoeconómico, 126 pp., 2 Anejos. (inédito).

ORTI, F.; SALVANY, J.M.; ROSELL, L.; PUEYO, J.J.; INGLES, M., 1986.- Evaporitas antiguas (Navarra) y actuales (Los Monegros), de la Cuenca del Ebro. **XI Congreso Español de Sedimentología**, Barcelona. Libro de Excursiones, exc. núm. 2: 40 pp.

ORTI, F., 1987.- La zona de Villena-Cascante-Javalambre. Introducción a las formaciones evaporíticas y al volcanismo jurásico. **XXI Curso de Geología Práctica de Teruel.** 7-17 Julio. Guía de las excursiones, pp. 56-92, Univ. de Zaragoza.

ORTI, F., 1988.- Sedimentación evaporítica continental durante el Terciario en la Península Ibérica: aspectos generales. **II Congreso Geológico de España** - Granada, Sociedad Geológica de España, libro de Simposios, 509-518.

PEREA, A.; MUÑOZ, A., 1985.- Los abanicos aluviales del Mioceno de la comarca de Tarazona. **Tvriaso VI**, Centro de Estudios Turiasonenses, CSIC - Tarazona (Zaragoza), 373-384.

PEREZ, A.; MUÑOZ, A., 1986.- Depósitos palustres y aluviales en el Terciario de La Muela de Borja (prov. de Zaragoza). **Cuadernos de Estudios Borjanos XVII-XVIII**, Centro de Estudios Borjanos, CSIC - BORJA (Zaragoza), 129-138.

PEREZ, A.; MUÑOZ, A.; PARDO, G.; ARENAS, C.; VILLENA, J., 1988.- Características de los sistemas lacustres en la transversal Tarazona-Tudela (sector navarro-aragonés de la cuenca Terciaria del Ebro). **II Congreso Geológico de España.** Granada, Vol. Simposiums, 519-528.

PUIGDEFABREGAS, C., 1973.- Miocene point-bar deposits in the Ebro Basin, Northern Spain. **Sedimentology**, 20: 133-144.

RIBA, O., 1964.- Estructura sedimentaria del Terciario continental de la Depresión del Ebro en su parte riojana y navarra. **Aport. al XX Congreso Geográfico Internacional**, Londres. pp. 127-138. Madrid.

RUIZ DE GAONA, M.; VILLALTA, B., y CRUSAFONT, P., 1946.- El yacimiento de mamíferos fósiles de la yesera de Monteagudo (Navarra). **Not. y Com. I.G.M.E.** 159-179.

SOLER, M., y PUIGDEFABREGAS, C., 1970.- Líneas generales de la geología del Alto Aragón Occ. **Pirineos** 96: 5-20.

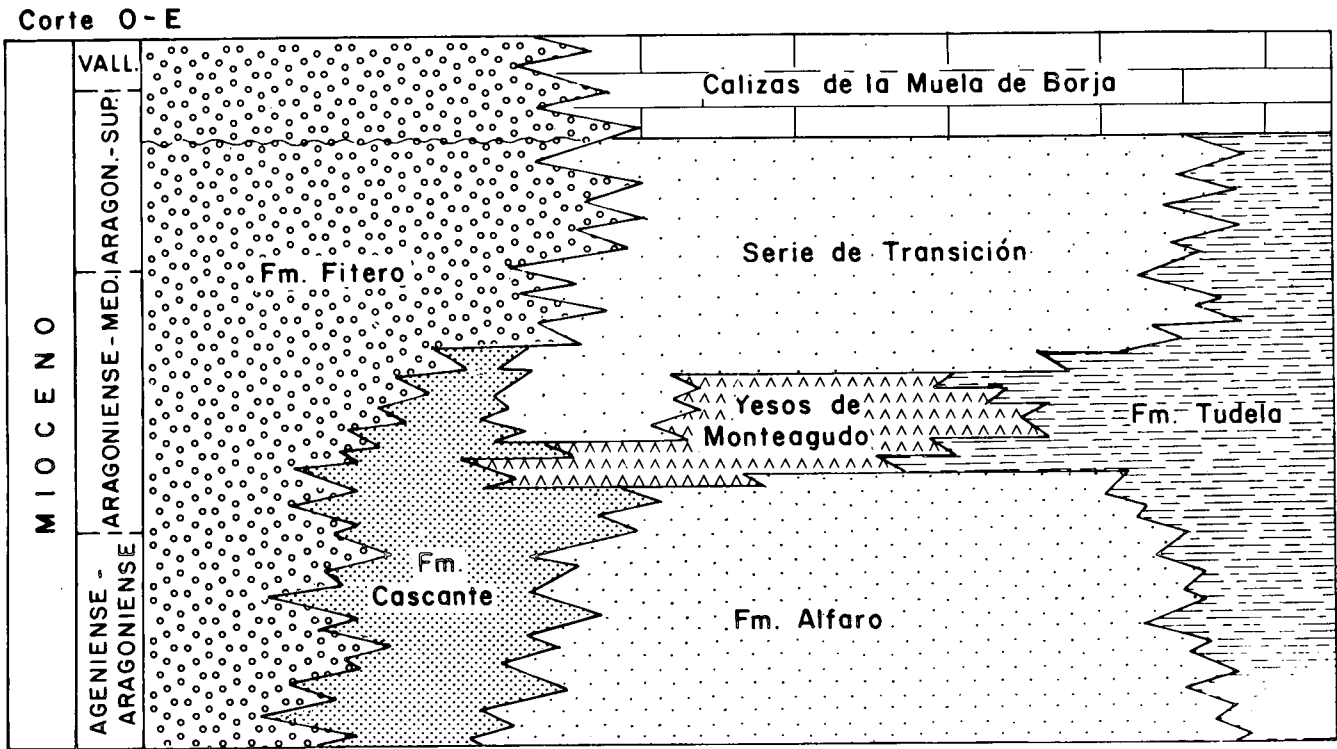


Figura 1. Esquema litoestratigráfico de las formaciones terciarias en el sector de Tarazona-Ablitas-Tudela, a partir de CASTIELLA et al. (1977) con algunas modificaciones.

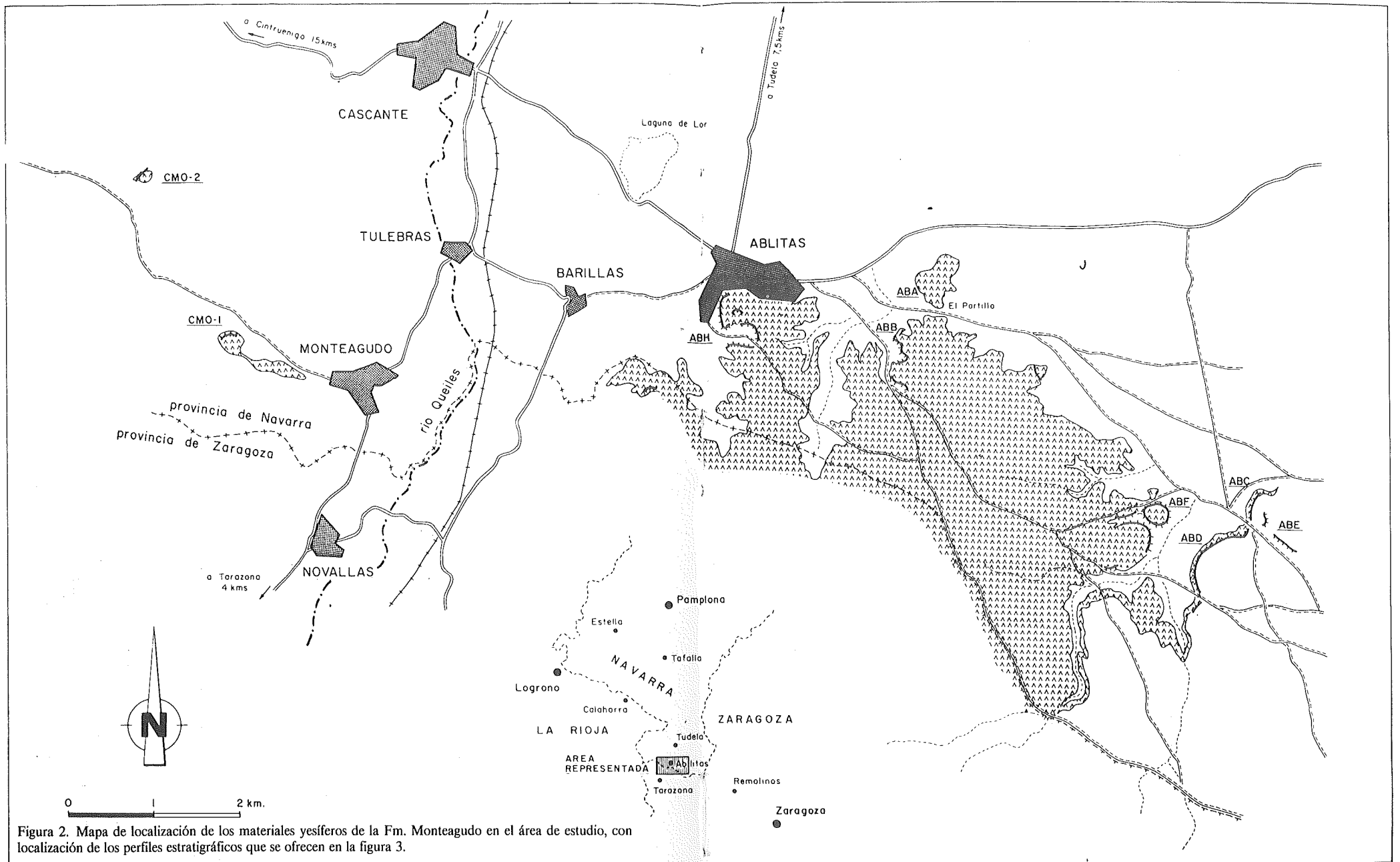


Figura 2. Mapa de localización de los materiales yesíferos de la Fm. Monteagudo en el área de estudio, con localización de los perfiles estratigráficos que se ofrecen en la figura 3.

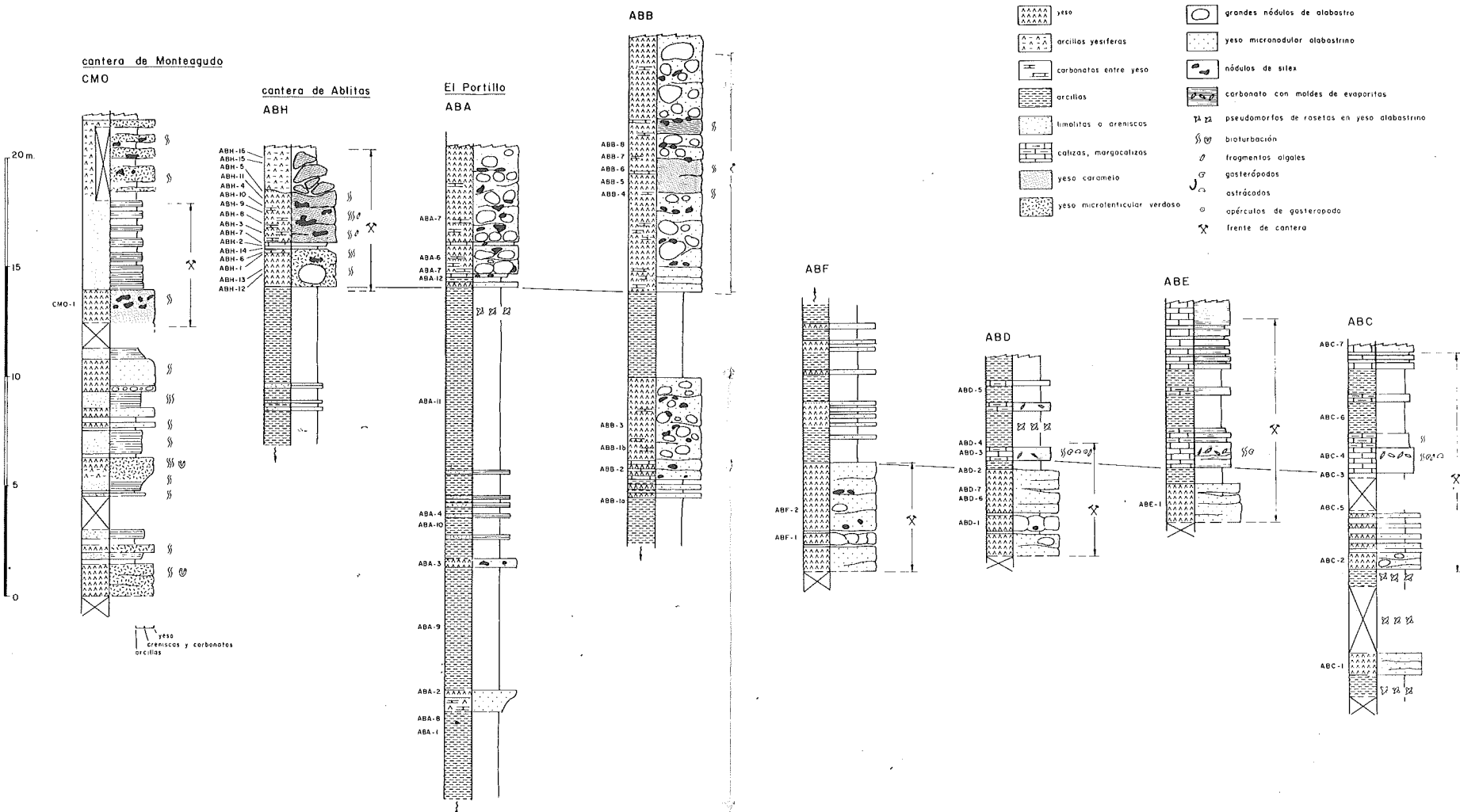


Figura 3. Perfiles estratigráficos realizados sobre los materiales de la Fm. Monteagudo. La localización de los mismos se presenta en la figura 2.

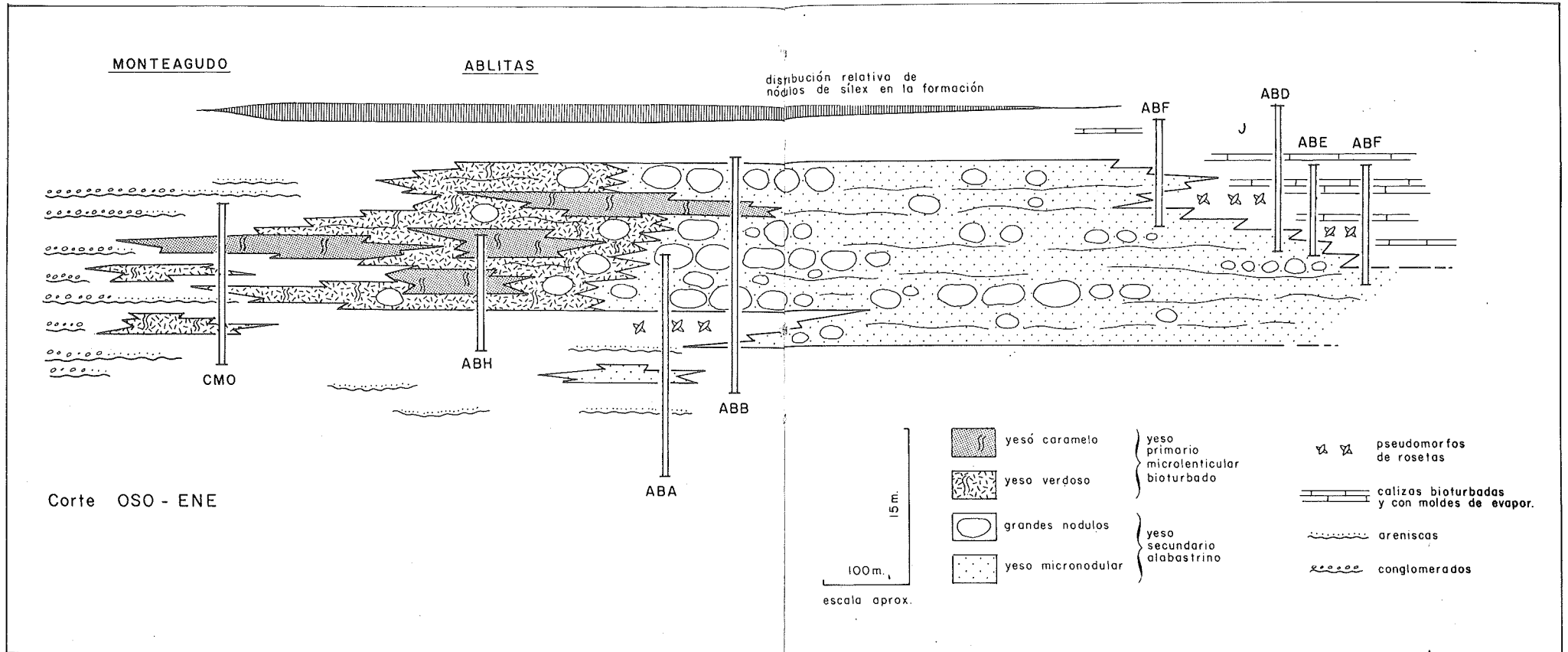


Figura 4. Esquema de distribución de litofacies en la Fm. Monteagudo en un corte ideal OSO-ENE, realizado a partir de los perfiles estratigráficos detallados en la figura 3.



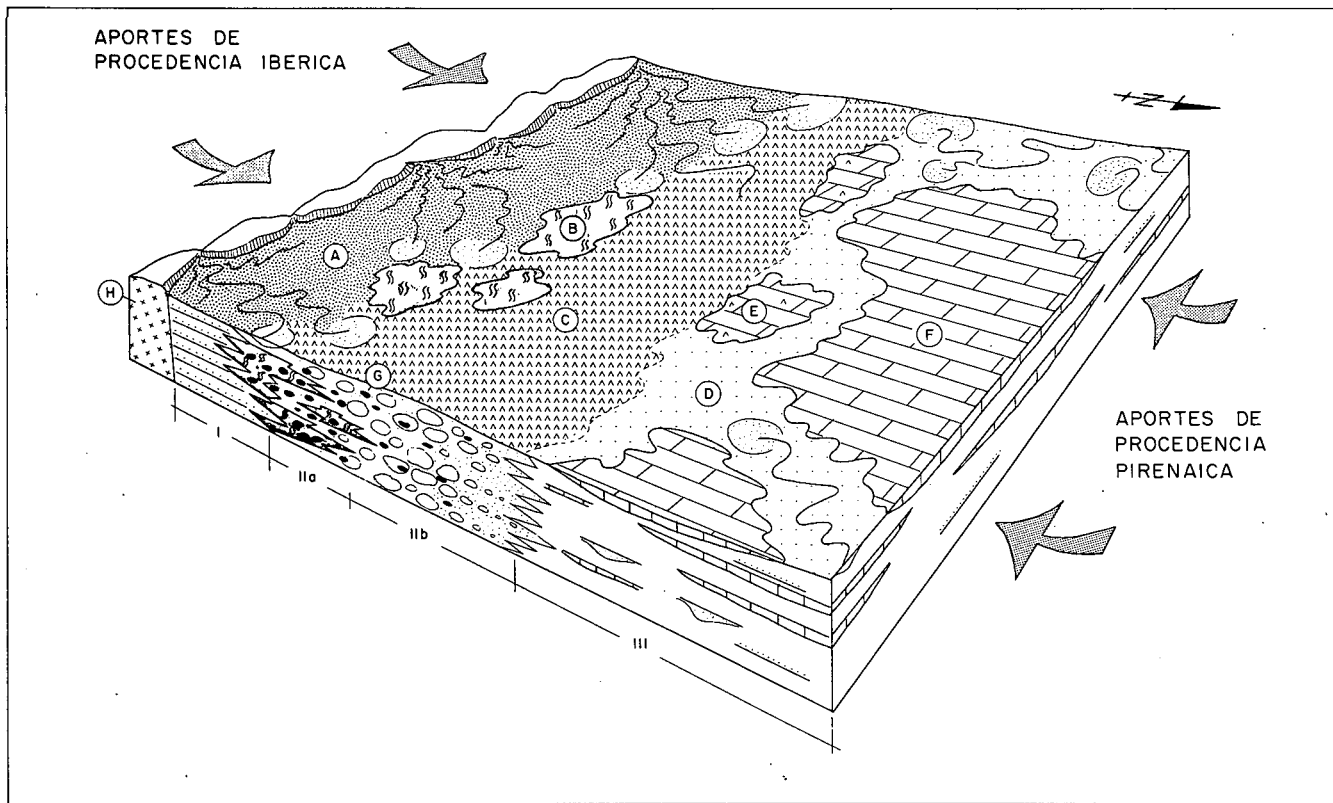


Figura 5. Bloque diagrama esquematizando la distribución de los medios sedimentarios en el área de estudio durante el desarrollo de la Fm. Monteagudo: I) zona de abanicos aluviales (Fms. Fitero y Cascante); II) zona de evaporitas (Fm. Monteagudo); III) zona de llanura lutítica distal con carbonatos (Facies de Tudela); A) conglomerados, areniscas y lutitas; B) yesos primarios bioturbados; C) anhidrita micronodular y meganodular; D) arcillas y areniscas; E) carbonatos con moldes de evaporitas; F) carbonatos; G) nódulos de sílex; H) Paleozoico-Mesozoico de la Cordillera Ibérica.

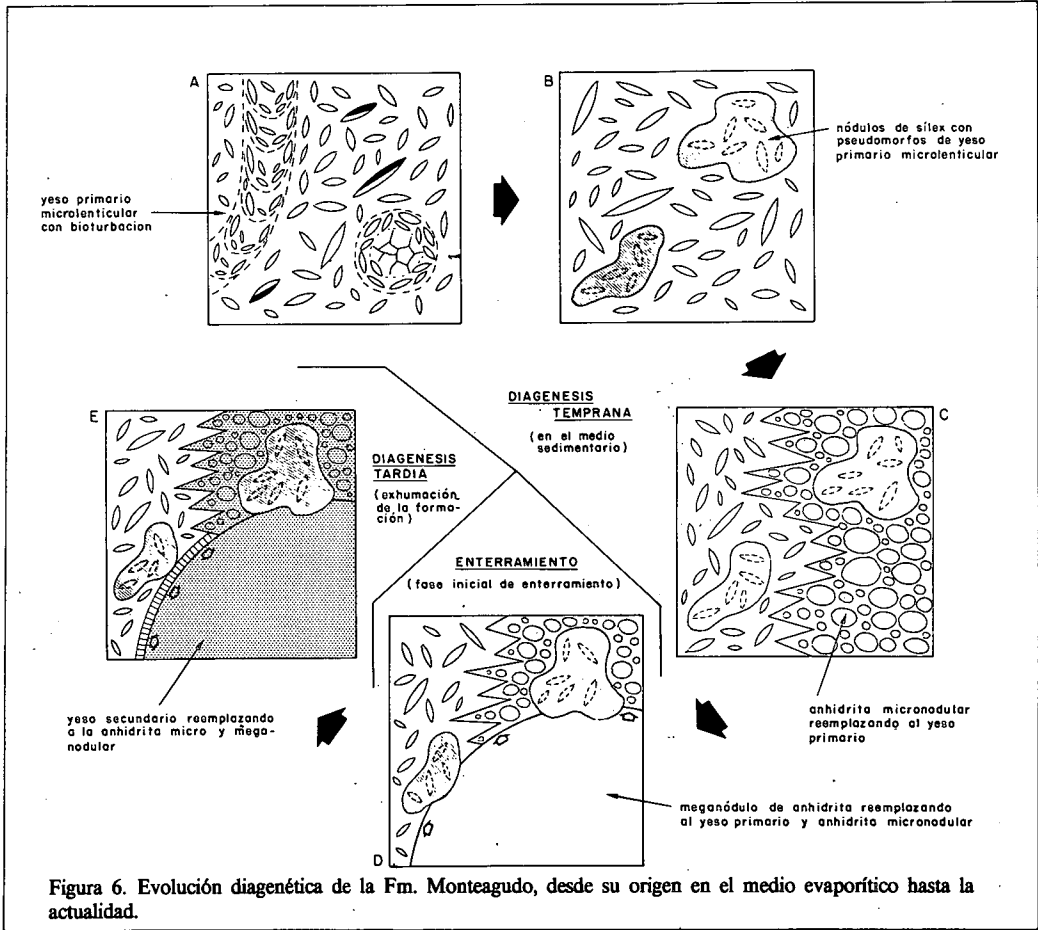


Figura 6. Evolución diagenética de la Fm. Monteagudo, desde su origen en el medio evaporítico hasta la actualidad.



Foto nº 1. Nódulo de sílex emplazado entre yeso primario de facies «caramelo» en la cantera de Ablitas.



Foto nº 2. Meganódulo de yeso secundario emplazado entre yeso primario microlenticular en la cantera de Ablitas. Se observa la envoltura de yeso fibroso alrededor del meganódulo.

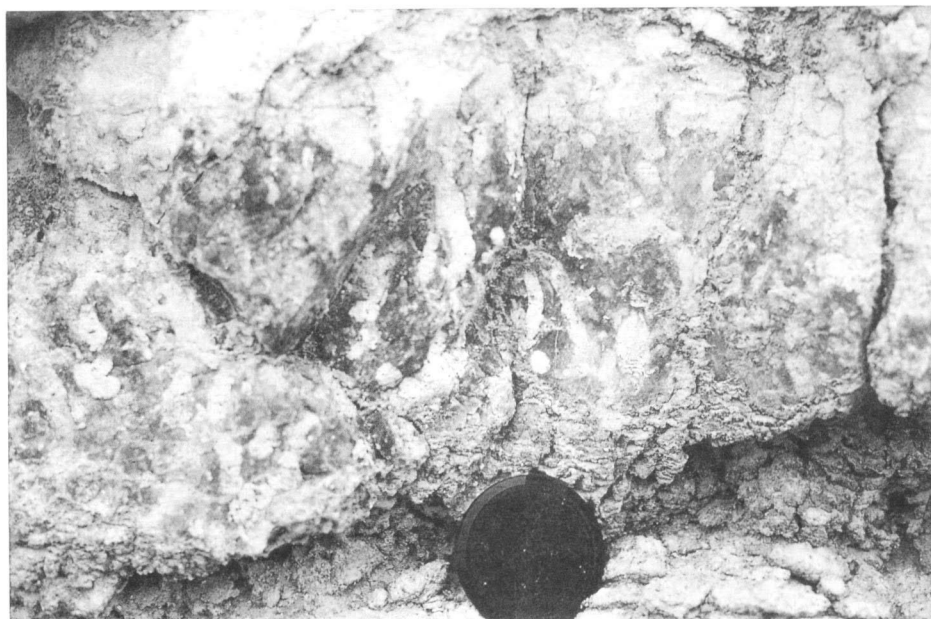


Foto nº 3. Yeso primario de facies «caramelo» con típica estructura de bioturbación, en la cantera de Ablitas.

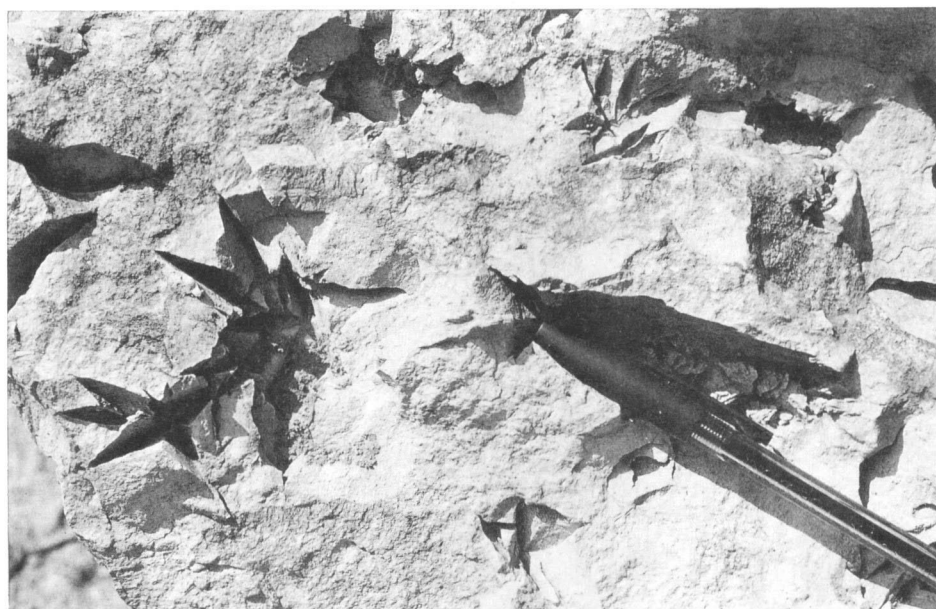


Foto nº 4. Capa de caliza con moldes de cristales lenticulares de yeso en forma de roseta, en la serie ABC del área de Ablitas.

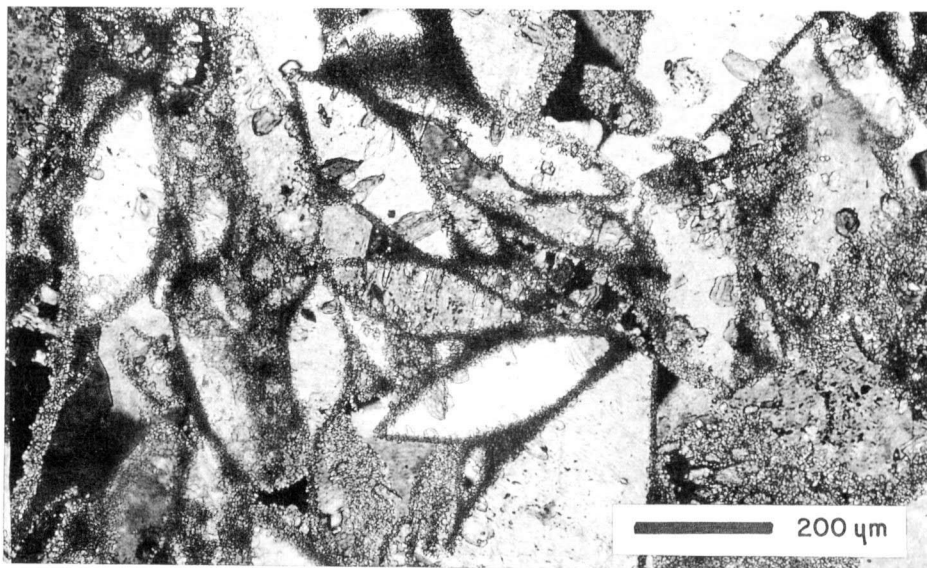


Foto nº 5. Microfotografía de yeso microlenticular primario (muestra ABH-6). Entre los cristales de yeso se presenta una matriz carbonatada (micrita) bien desarrollada. Destacan también algunos cristales de calcita creciendo sobre los bordes de las lenticulas de yeso.



Foto nº 6. Microfotografía de yeso microlenticular primario con bioturbación (muestra ABH-3). El yeso presenta una cantidad importante de matriz carbonatada (micrita). En la mitad izquierda se distingue una traza de bioturbación («burrow») de carácter yesífero más puro con disposición en arcos concéntricos de sus cristales.