

FORMACION DE SEPIOLITA-PALIGORSKITA EN LITOFACIES LUTITICO-CARBONATICAS EN EL SECTOR DE BOROX-ESQUIVIAS (CUENCA DE MADRID)

J. L. Martín de Vidales*, M. Pozo*, J. A. Medina* y S. Leguey*

RESUMEN

En el área estudiada, desde un punto de vista litológico se han diferenciado tres tramos:

- Lutítico. Lutitas verdes y rosáceas con intercalaciones samíticas e incipiente desarrollo de calcretas. La asociación de minerales de la arcilla es: esmectita-interestratificados (kerolita-estevensita)-sepiolita-illita-caolinita.
- Lutítico-calcareo. Lutitas verdes y calcretas con un nivel samítico en la base del tramo. La asociación de minerales de la arcilla es: esmectita-illita-paligorskita-sepiolita-caolinita.
- Lutítico-dolomítico. Lutitas verdes y dolomicritas. La asociación de minerales de la arcilla es: esmectita-illita-paligorskita-sepiolita.

Los resultados permiten establecer una génesis de sepiolita y paligorskita en relación con ambientes lacustres-palustres, donde los procesos edafodiagenéticos (carbonatación, dolomitización, silicificación, vertisolización) provocan la desestabilización de fases esmectíticas precursoras. De acuerdo con el carácter di o trioctaédrico de la esmectita se propicia la formación de paligorskita o sepiolita, respectivamente.

Palabras clave: Cuenca de Madrid. Paleosuelos. Esmectitas. Kerolita-estevensita. Sepiolita. Paligorskita. Microfábrica.

ABSTRACT

According to lithological composition three units were established in the area studied:

- Clayey unit. Green and pinkish clays with sandy beds and early formation of calcretes. Clay minerals association: smectite-mixed-layers (kerolite-stevensite)-sepiolite-illite-kaolinite.
- Clayey calcareous unit. Green clays with calcretes and a sandy level at bottom of the unit. Clay minerals association: smectite-illite-palygorskite-sepiolite-kaolinite.
- Clayey-dolomitic unit. Green clays with dolomicrites. Clay minerals association: smectite-illite-palygorskite-sepiolite.

Results let us to establish a sepiolite and palygorskite genesis related to lacustrine-paludine environments where pedodiagenetic processes (v.s. carbonation, dolomitization, silicification, vertic features) were responsible of smectite instability, with development of palygorskite or sepiolite, according to their respectively di or trioctahedral character.

Key words: Madrid basin. Paleosoils. Smectite. Kerolite-stevensite. Sepiolite. Palygorskite. Microfabric.

Introducción

El principal objetivo de este trabajo es el estudio de los procesos de inestabilización de esmectitas di y trioctaédricas y su relación con la génesis de sepiolita y paligorskita en litofacies lutítico-carbonáticas de la «Unidad Intermedia del Mioceno» de la cuenca de Madrid.

La complejidad sedimentológica de los materiales

correspondientes a las litofacies de la unidad miocena mencionada, ha sido recientemente puesta de manifiesto por Lomoschtiz *et al.*, (1985) y Alonso *et al.* (1986). Mineralógicamente, Doval *et al.* (1985) y Brell *et al.*, (1985) indican en estos materiales la presencia de minerales magnésicos en relación con un medio de llanura fangosa, proponiendo como área fuente las rocas ígneas y metamórficas del Sistema Central.

Por otra parte, Calvo *et al.* (1986) relacionan la

* Departamento de Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. Cantoblanco, 28049-Madrid.

presencia de sepiolita en estos sedimentos neógenos con paleoambientes de orla distal de abanicos aluviales. En relación con los procesos generadores de la sepiolita destaca por lo novedoso el trabajo de Leguey *et al.* (1985), donde se pone de manifiesto el desarrollo de sepiolita por alteración de esmectitas trioctaédricas en lutitas de esta unidad, con rasgos paleoedáficos de carácter vértico. Recientemente, Pozo *et al.*, (1987) estudiaron la evolución mineralógica y geoquímica de materiales correspondientes a la «Unidad Intermedia del Mioceno», observando la génesis de paleoverdizos como consecuencia de la neofonnación de esmectitas trioctaédricas, ligadas a un ambiente fluvio-lacustre.

Un aspecto poco claro es la formación de sepiolita y paligorskita en estos ambientes, y especialmente el de sus minerales precursores. De esta forma, se aborda en este trabajo esta problemática, mediante la utilización de técnicas de D.R.X., microscopía electrónica y óptica con objeto de aclarar los procesos responsables de la formación de estos minerales.

Materiales y métodos

Localización y litología de los materiales

El presente estudio se ha llevado a cabo en afloramientos de la «Unidad Intermedia del Mioceno», situados entre las poblaciones de Esquivias y Borox (provincia de Toledo). En la figura 1, se recoge la situación de la serie litológica muestreada, constituida por dos columnas: C-31 que corresponde a los niveles inferiores de la serie y, C-30 en la que se incluyen los niveles superiores.

Mediante criterios litológicos, se han diferenciado tres tramos, que de base a techo son:

Tramo lutítico (fig. 2a, 31-2 a 31-10).—Con una potencia de 4,25 metros, se caracteriza por la alternancia de lutitas verdes y rosáceas con intercalaciones samíticas y desarrollo variable de calcretas. Las lutitas rosáceas muestran aspecto grumelar con frecuentes rasgos de desecación y bioturbación. Los niveles de lutitas verdes, con contenidos variables de terrígenos, presentan estructuras laminadas, con bioturbación y, ocasionalmente «slickensides» con tinciones de óxidos de hierro y manganeso. A techo del tramo,

destaca la presencia de un nivel samítico verdoso constituido por cuarzo, feldspatos y biotita.

Tramo lutítico calcáreo (fig. 3a, 30-0 a 3-11).—Con una potencia de 2,40 metros se caracteriza por la alternancia de niveles lutíticos verdosos y calcretas con grados de compacidad variables. El nivel basal de este tramo es de carácter samítico evolucionando a techo a niveles lutíticos con disyunciones columnares y «slickensides» con tinciones de óxidos de hierro y manganeso. Los niveles de calcretas son de escasa potencia (5 a 25 cm.), presentando claros rasgos de desecación y, esporádicamente, laminación.

Tramo lutítico-dolomítico (fig. 3a, 30-12 a 30-22).—Con una potencia de 1,65 metros está formado por niveles de lutitas predominantemente verdosas con intercalaciones de bancos dolomíticos blancos. Estos niveles dolomíticos presentan compacidad variable y frecuentes rasgos de desecación, ocasionalmente laminación e inclusiones de lutitas verdes. A techo del tramo, nivel lutítico verde oscuro conteniendo impresiones vegetales.

Metodología experimental

El estudio mineralógico de las muestras se ha realizado mediante difracción de rayos X, tanto para la muestra total pulverizada y homogeneizada a tamaños inferiores a 40 μm , como para la fracción inferior a 2 μm obtenida por dispersión y sedimentación. Esta última se ha estudiado en agregados orientados homoionizados con magnesio y solvatados en atmósfera saturada en etilenglicol a 40°C, durante 48 horas.

Los difractogramas se han obtenido con un difractor Philips 1040, utilizando radiación $K\alpha$ del Cu y filtro de Ni; las condiciones de trabajo fueron de 20 mA y 40 Kv. Por otra parte, la zona comprendida entre 55 y 65° (2 θ) se estudió en las condiciones propuestas por Despraires (1983), con el fin de precisar con exactitud la medida de la reflexión d_{060} , utilizando una velocidad de barrido de 0,5 grados/minuto y una constante de tiempo de 8 segundos.

La semicuantificación de los minerales presentes, se ha efectuado utilizando los poderes reflectantes recopilados por Schultz (1964). En los agregados orientados, los poderes reflectantes utilizados fueron: caolinita 2 (a 7 Å), illita 1 (a 10 Å) y esmectita 4 (a 17 Å) propuestos por Barahona (1974). Para la sepiolita 1 (a 12 Å) y paligorskita 0,7 (a 10,5 Å), valores propuestos por Van der Marel (1966).

El estudio textural se ha llevado a cabo en lámina delgada, mediante embutido en plástico, previa desecación con nitrógeno líquido y desbaste con petróleo. Dado el carácter carbonático de alguna de las muestras, se procedió a la tinción diferencial de calcita y dolomita con rojo de Alizarina-S, según el método de Warne (1962).

El estudio de la microfábrica se realizó por microscopía electrónica de barrido a partir de muestras no disturbadas, con un equipo Philips SEM 500 con sistema de análisis puntual EDAX incorporado.

Resultados

Mineralogía

En las columnas b y c de las figuras 2 y 3 se representan los porcentajes semicuantitativos de la mineralogía correspondiente a la muestra global y a la fracción inferior a 2 μm , respectivamente. En las figuras 4 y 5 se recogen los diagramas de difracción de rayos X de la fracción inferior a 2 μm correspon-

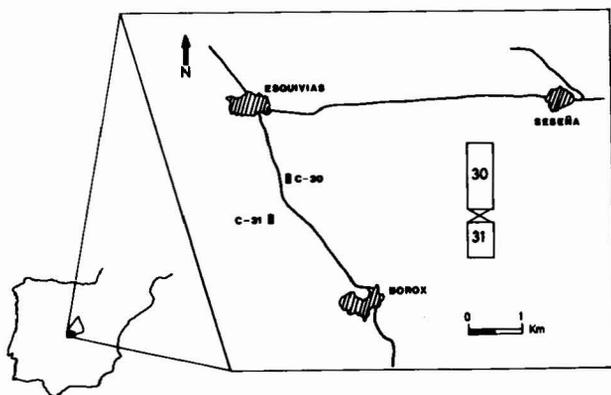


Fig. 1.—Mapa de localización de las columnas litológicas estudiadas.

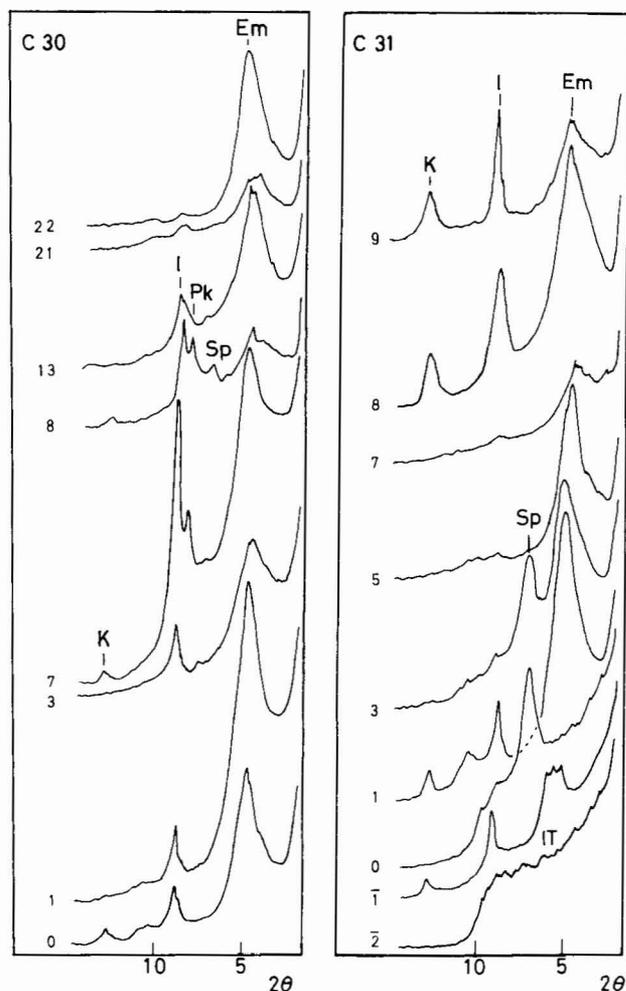


Fig. 4.—Diagramas de difracción de rayos X. Muestras orientadas, homoionizadas en Mg^{2+} y solvatadas con etilenglicol de la fracción inferior a $2 \mu\text{m}$ (I. illita; Em. esmectita; K. caolinita; Pk. paligorskita; Sp. sepiolita; IT. kerolita-estevensita).

calados entre las lutitas donde la calcita puede alcanzar el 95 por 100. La asociación mineralógica predominante en la fracción inferior a $2 \mu\text{m}$ está constituida por esmectita e illita, con escaso contenido de caolinita en su base, destacando un considerable incremento de paligorskita (hasta el 45 por 100) a techo (fig. 4, 30-7 y 30-8).

El tramo lutítico-dolomítico muestra en líneas generales un predominio de los filosilicatos con porcentajes variables de dolomita, que en algunos niveles carbonáticos puede alcanzar el 100%. Los terrígenos presentan bajos contenidos incrementándose a techo de este tramo. La asociación mineralógica en la fracción inferior a $2 \mu\text{m}$ es similar a la del tramo anterior, destacando un notable incremento en esmectita a techo del tramo (fig. 4, 30-22).

En la fig. 6 se recogen los difractogramas corres-

pondientes a las líneas de difracción d_{060} del polvo desorientado de la fracción inferior a $2 \mu\text{m}$ de aquellos niveles que presentan un mayor contenido en esmectita. Los valores medios del parámetro b de las esmectitas, determinados según el método de Despraires (1983), varían entre 9,3 y 9,15 Å que, según este autor corresponden a contenidos en Fe^{II} y Mg en capa octaédrica de 0,85 y 2,50 por media celda estructural (base $\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), manifestándose en el primer caso un carácter claramente dioctaédrico y en el segundo trioctaédrico. En este sentido, es altamente significativa la relación entre el carácter trioctaédrico ($d_{060}=1,522$) de las lutitas rosáceas y el dioctaédrico ($d_{060}=1,501$) en las verdes, si bien en estas últimas se ha constatado coexistencia de ambos tipos de esmectitas, especialmente en el corte 30 (fig. 6).

Textura y microfábrica

Tramo lutítico

Las lutitas verdes se caracterizan por presentar texturas intraclásticas con cementos arcillosos de tipo «pore-lining» y porosidad secundaria debida a bioturbación. La proporción de terrígenos con tamaños aleurita-samita es variable, estando constituidos por cuarzo, feldespatos (microclina, plagioclasa) y micas (biotita, moscovita), observándose fenómenos de corrosión en el primero y diverso grado de alteración en los restantes. De forma esporádica, destaca la presencia de calcita con morfologías que guardan similitud con las descritas por Freydet y Plaziat (1982) para «Microcodium» (L-I-1). En otras ocasiones la calcita se asocia a calcretas intercaladas en las lutitas mencionadas, mostrando texturas de recristalización agradativa de microesparita-seudoesparita y agregados fibrosos (microespeleotemas).

Las lutitas rosáceas presentan texturas grumelares con desarrollo de morfologías subredondeadas, alrededor de las cuales se disponen cementos arcillosos de tipo «pore-lining» (L-I-2), observándose además tinciones de óxidos (hierro y manganeso) y cementos silíceos puntuales. El estudio de la microfábrica de estas lutitas pone de manifiesto la existencia de dos tipos, según el componente mineralógico mayoritario. Así en lutitas sepiolíticas, la microfábrica es de tipo matriz, sin orientación definida, caracterizada por su elevado grado de compacidad, estando constituida por morfologías grumelares de sepiolita apelmazada que muestra su hábito fibroso exclusivamente en los bordes (L-II-a). En lutitas donde el constituyente principal es esmectita trioctaédrica, la microfábrica es de tipo glomerular, mostrando los glomérulos diámetros variables y elevada porosidad entre los mismos, siendo significativa la disposición de agregados fibrosos de sepiolita en los bordes laminares de esmectitas trioc-

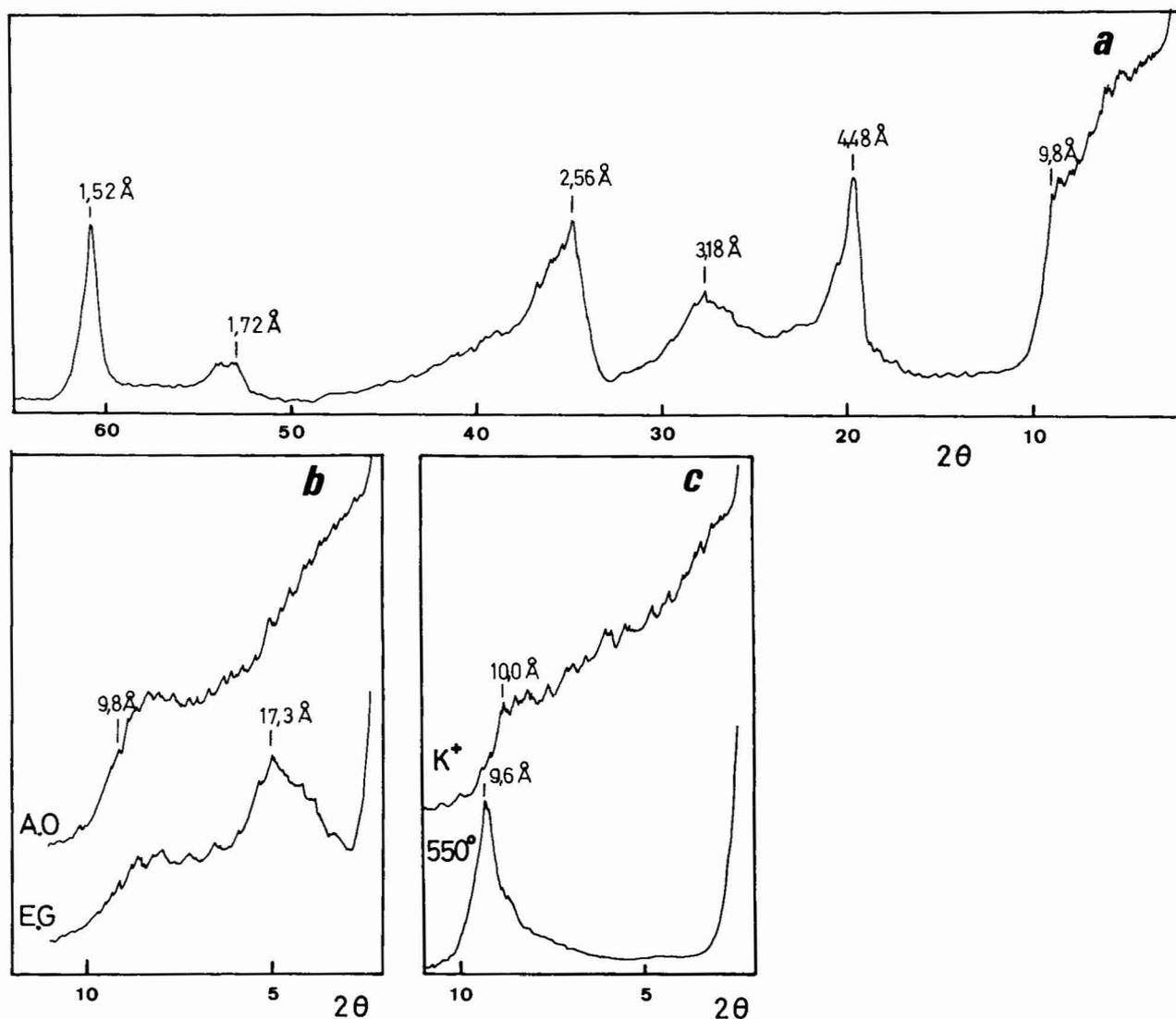


Fig. 5.—Diagramas de difracción de rayos X característicos de las lutitas rosáceas: a) Polvo desorientado. b) Agregado orientado homoionizado en magnesio (A.O.) y solvatado con etilenglicol (E.G.). c) Agregado orientado homoionizado en potasio (K^+) y calcinado a $550^\circ C$.

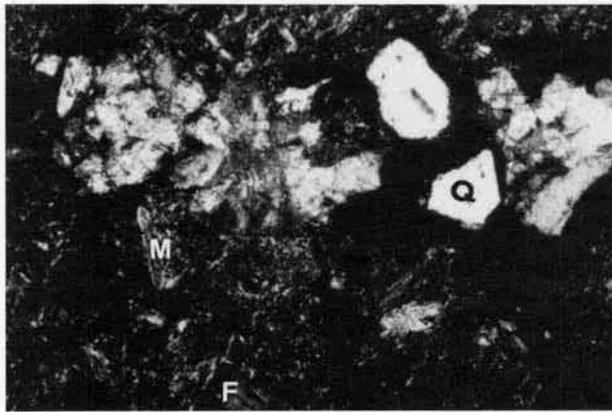
taédricas (L-II-b), o cementando la porosidad interglomerular (L-II-c y d). Las morfologías mencionadas y en concreto la recogida en la foto e (lámina II), son similares a las descritas por Eberl *et al.* (pág. 324, 1982) en el desierto de Amargosa (U.S.A.) para un interestratificado kerolita-estevensita.

Tramo lutítico-calcáreo

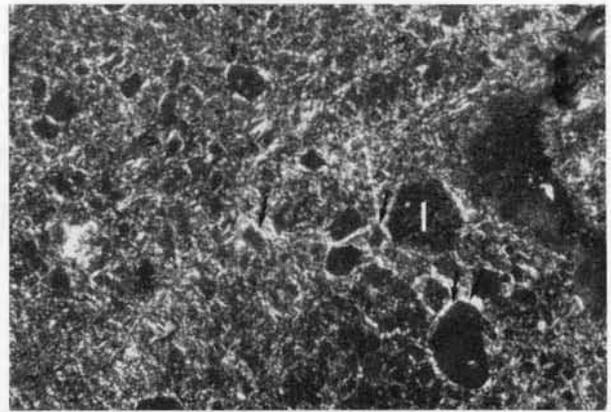
Los niveles de lutitas verdes de este tramo son petrográficamente similares a los del anterior, exceptuando su mayor contenido en calcita, que con morfologías lenticulares afecta en diverso grado a las lutitas, de manera que es frecuente el desarrollo de

calcretas, donde los cristales de carbonato tienden a disponerse en dos direcciones normales entre sí (L-I-3), ocasionalmente afectados por procesos de recristalización.

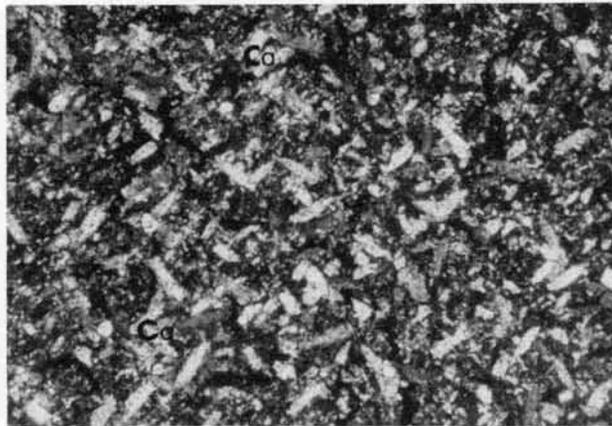
La microfábrica de las lutitas es de tipo laminar, destacando el predominio de esmectitas dioctaédricas (aluminicas y/o alumino-magnesianas), en cuyos bordes se ha observado la presencia de fibras incipientes de paligorskita con tamaños inferiores a $2 \mu m$, especialmente en relación con calcretas (L-II-f y g). En niveles lutíticos con esmectitas trioctaédricas, éstas muestran morfologías laminares curvadas en cuyos bordes se observan agregados de fibras cortas de sepiolita (L-II-h).



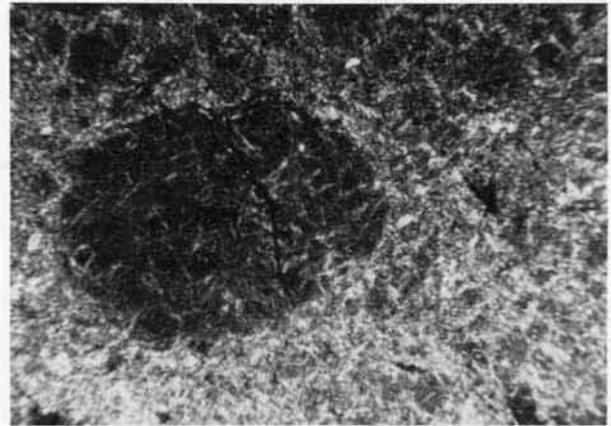
1



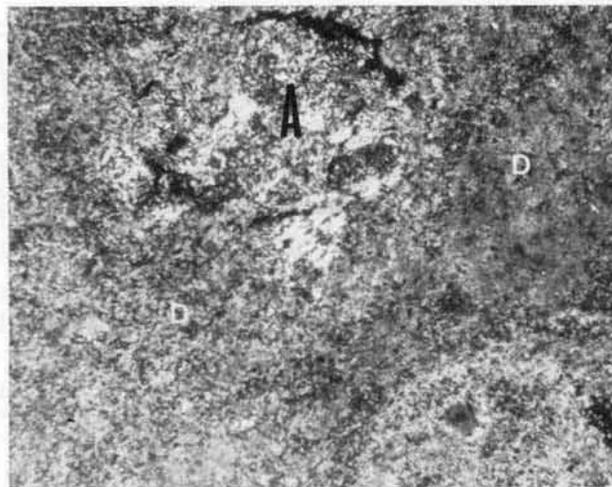
2



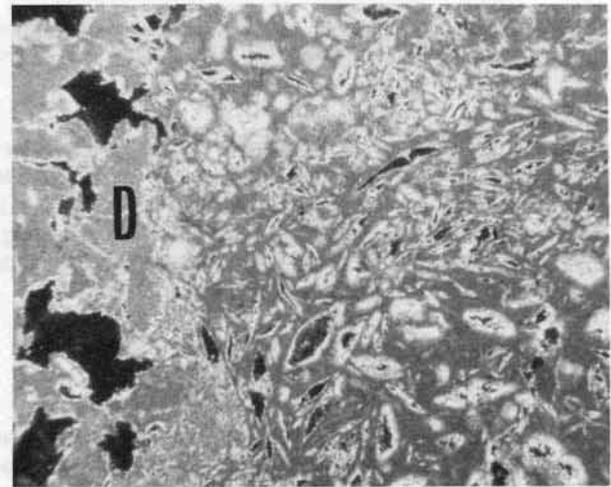
3



4



5



6

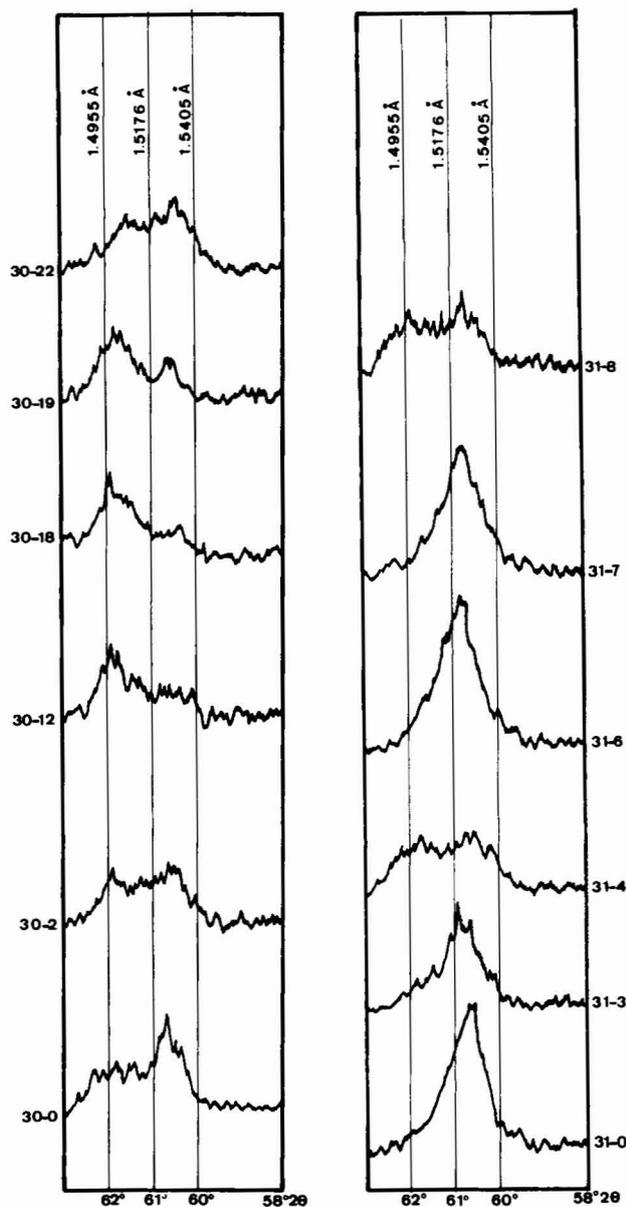


Fig. 6.—Diagramas parciales de polvo desorientado de la fracción inferior a $2 \mu\text{m}$, de aquellas muestras que presentan mayor contenido en esmectita.

Tramo lutítico-dolomítico

Las lutitas de este tramo muestran texturas que van de laminadas con inclusiones carbonosas a intraclásticas con desarrollo de cementos «pore-lining» (L-I-4).

Los niveles dolomíticos muestran texturas dolomíticas, pudiendo contener incluidos agregados arcillosos (L-I-5). Destacando en las dolomicritas más puras el desarrollo de morfologías intraclásticas conteniendo moldes lenticulares (yesos disueltos) en disposición fluidal y parcialmente rellenos de carbonato (L-I-6).

El componente arcilloso de los niveles de este tramo muestra microfábricas laminares a glomerulares, en las que el material cementante son cristales de dolomita. En asociación con la dolomita se observan glomérulos de esmectitas trioctaédricas en cuyos bordes se disponen ocasionalmente fibras de sepiolita y de forma puntual láminas de biotita (L-II-i). En niveles lutíticos verdosos la microfábrica es laminar con abundantes grietas de retracción (L-II-k), lo que indica la existencia de rasgos paleovérticos.

En las dolomicritas, es característica la presencia de morfologías subredondeadas de dolomita intraclástica en agregados que alcanzan las $80 \mu\text{m}$ de diámetro, englobadas en dolomicrita donde los cristales son inferiores a $2 \mu\text{m}$. (L-II-j).

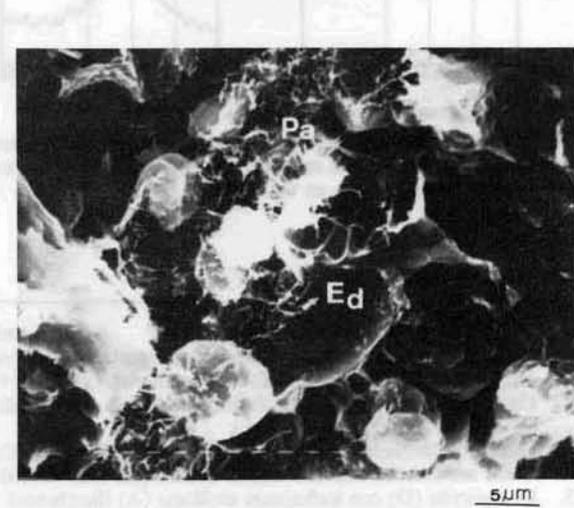
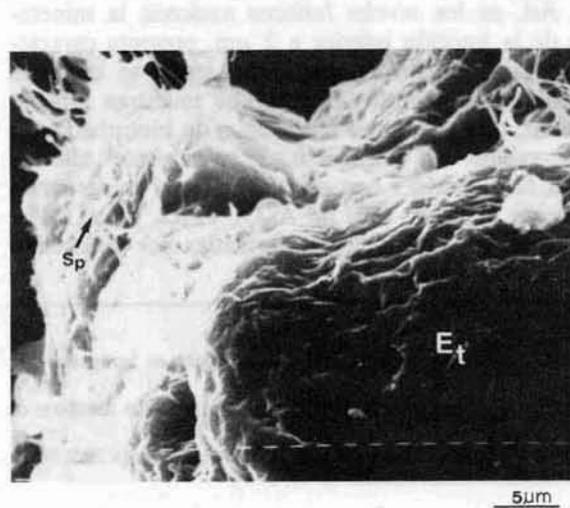
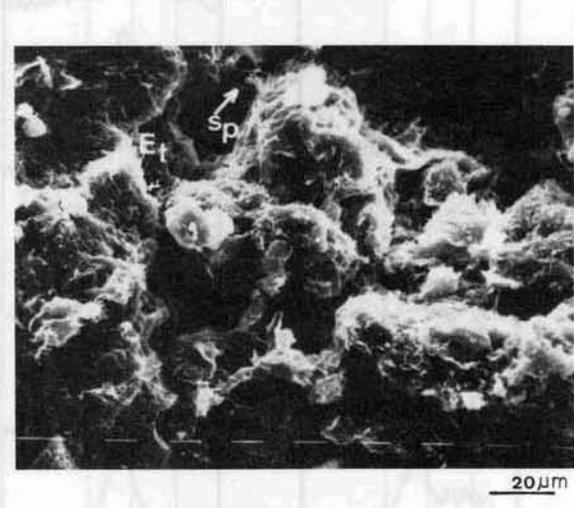
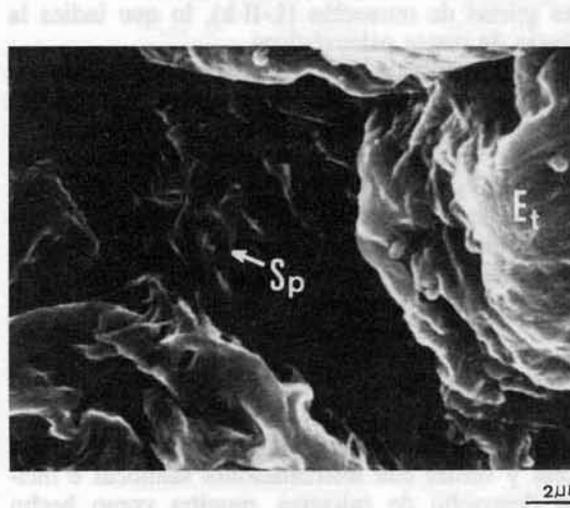
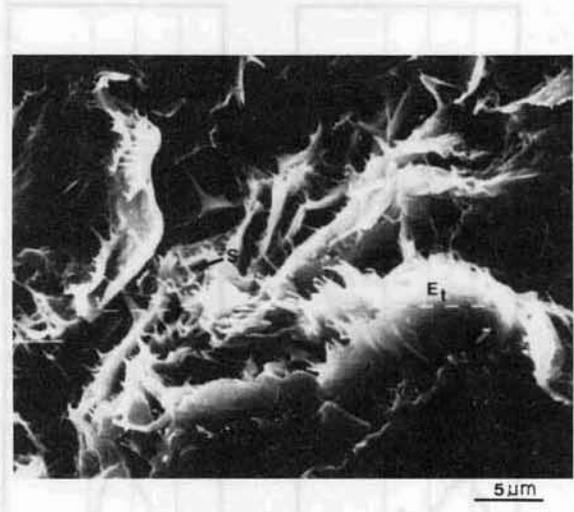
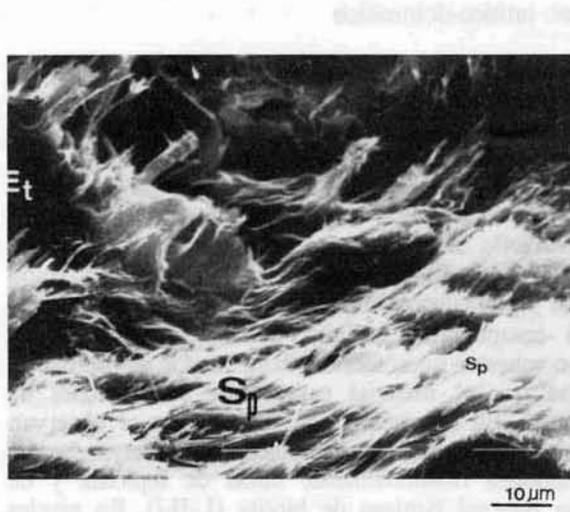
Finalmente, en los fangos dolomíticos de este tramo es destacable la existencia de esmectitas dioctaédricas con microfábrica glomerular en cuyos bordes se observan agregados fibrosos de paligorskita (L-II-l).

Discusión y conclusiones

El tramo inferior caracterizado por niveles de lutitas rosáceas y verdes con intercalaciones samíticas e incipiente desarrollo de calcretas, muestra como hecho más significativo su extraordinaria variedad mineralógica. Así, en los *niveles lutíticos rosáceos*, la mineralogía de la fracción inferior a $2 \mu\text{m}$ presenta características difractivas peculiares, según se comentó anteriormente. En estos niveles, que muestran aspecto grumelar, con frecuentes fenómenos de bioturbación y claros rasgos de desecación, prácticamente sólo se detecta SiO_2 y MgO con porcentajes muy minoritarios (inferiores al 1 por 100) de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , y CaO . Por otra parte, estas morfologías formadas por asociación

Lámina I.—Texturas.

1. Lutita samítica con esqueleto compuesto de cuarzo (Q), feldspatos (F) y micas (M). Destaca la presencia de calcita en agregados con morfologías que se asemejan a «Microcodium». (x 225, N+).
2. Lutita con desarrollo de morfologías intraclásticas conteniendo material geliforme (I) con desarrollo de «pore lining» arcillosos alrededor de los mismos (flechas) (x 225, N+).
3. Lutita con fenómenos de carbonatación, donde la calcita (Ca) se dispone en morfologías lenticulares con cierta orientación (x 225, N+).
4. Lutita intraclástica con abundantes morfologías redondeadas que indican desecación-removilización (x 90, N+).
5. Dolomicrita (D) con inclusiones arcillosas (A) (litoclastos). (x 225, N+).
6. Dolomicrita (D) con morfologías intraclásticas subredondeadas y abundantes moldes lenticulares de yeso disuelto, parcialmente rellenos por dolomita (x 90, N+).



de láminas continuas presentan, en ocasiones, agregados fibrosos en sus bordes, similares a los descritos por Eberl *et al.* (pág. 324, 1982) para un interestratificado kerolita-estevensita irregular. No se detecta difracción de sepiolita, al contrario de lo que sucede en el nivel lutítico basal, y por otra parte, aparece un pico a 1.522 Å que se puede atribuir a la reflexión d_{060} de esmectita. Según Depraires (pág. 170, 1983), y suponiendo la ausencia de hierro octaédricamente coordinado, la ocupación octaédrica para tal esmectita sería del orden de 2,50 Mg^{IV} , es decir, una carga octaédrica por media celda unidad del orden de -1,00, valor extraordinariamente elevado para un mineral esmectítico. Este resultado anómalo puede ser debido a dos causas:

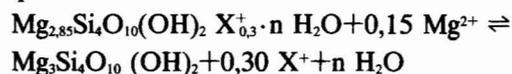
- Ubicación de otros cationes (v.s. Fe, Al, Li).
- Interestratificación del mineral esmectítico con otros filosilicatos magnésicos.

La primera posibilidad, como ya se ha comentado no debe ser responsable de las anomalías encontradas dada la casi total ausencia de estos cationes (análisis puntual EDAX). La segunda hipótesis, posiblemente responda a esta cuestión. Por una parte, las esmectitas presentan una carga por media celda unidad variable entre -0,3 y -0,60 (Brindley y Brown, pág. 166, 1980), por lo que en la hipótesis interestratificación, las láminas asociadas a la estevensita no deben presentar carga o, si la presentan, ésta debe ser muy baja. Además, dado el carácter trioctaédrico del mineral, y la imposibilidad genética de filosilicatos 1:1 (serpentinatas), propios de ambientes hidrotermales y metamórficos, se puede suponer que la esmectita trioctaédrica está interestratificada con otro filosilicato magnésico 2:1, tipo talco o kerolita. Como el talco es un mineral de alteración hidrotermal o de bajo grado de metamorfismo, es presumible que se trate de kerolita, mineral que se encuentra en horizontes de alteración formado a expensas de estados iniciales geliformes a bajas temperaturas (Brindley *et al.*, 1977). Además, la estevensita tiene una reflexión d_{060} a 1,520 Å (Brindley y Brown, pág. 172, 1980) y la kerolita un parámetro b de 9,14 Å ($d_{060}=1,523$) (Brindley *et al.*, op. cit., pág. 445), por lo que el mineral magnésico que constituye estos niveles lutíticos podría tratarse de un interestratificado irregular kerolita-estevensita.

En este mismo nivel rosáceo basal, y en asociación

con el supuesto interestratificado kerolita-estevensita, se detecta sepiolita por DRX y MEB, que se dispone en agregados de fibras muy compactas que pueden afectar a morfologías glomerulares. De ello, se puede pensar que en determinados ambientes sedimentoquímicos el interestratificado kerolita-estevensita de estos niveles, se inestabilice, dando lugar a la formación de sepiolita, posiblemente mediante procesos de disolución-precipitación.

Según Eberl *et al.* (pág. 325, 1982), la reacción de conversión de una lámina ideal de estevensita en talco puede escribirse:



Esta reacción indica que el grado de expandibilidad está condicionado por la relación Mg^{2+}/X^{+} (X^{+} =cationes alcalinos de cambio) de la solución a partir de la cual el mineral precipita, y/o de la actividad del agua.

Por otra parte, Khoury *et al.* (pág. 327, 1983), indican que los depósitos de sepiolita, esmectita trioctaédrica (interestratificado kerolita-estevensita), calcita y dolomita del desierto de Amargosa (USA), se formaron por precipitaciones a partir de soluciones no salinas, pero matizan que la precipitación del interestratificado kerolita-estevensita, precisa de un medio ligeramente más salino, lo que estaría de acuerdo con la hipótesis de Eberl *et al.* (op. cit.). Además, Khoury *et al.* (1983) muestran la relación entre estas dos fases mediante una reacción, que puede generalizarse como:

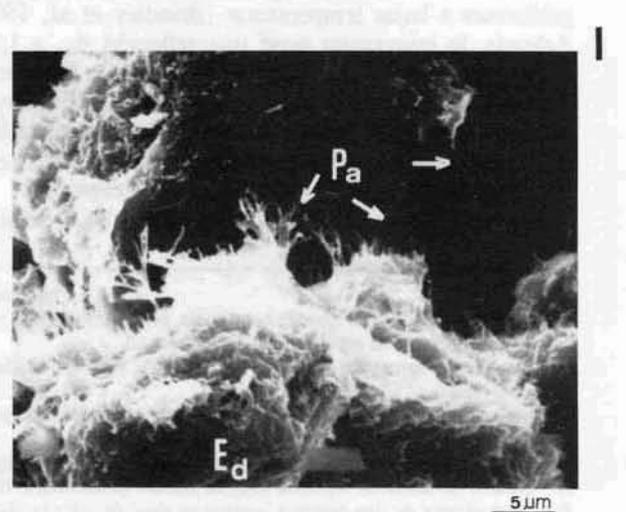
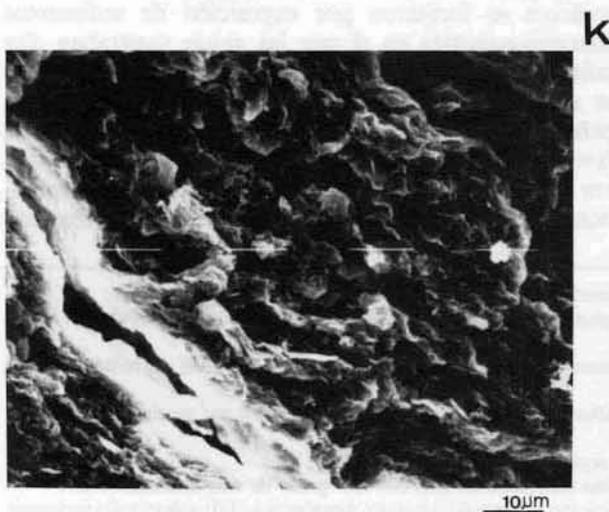
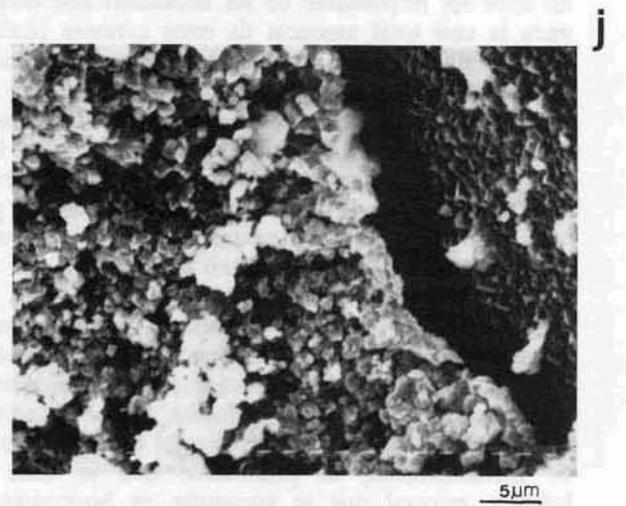
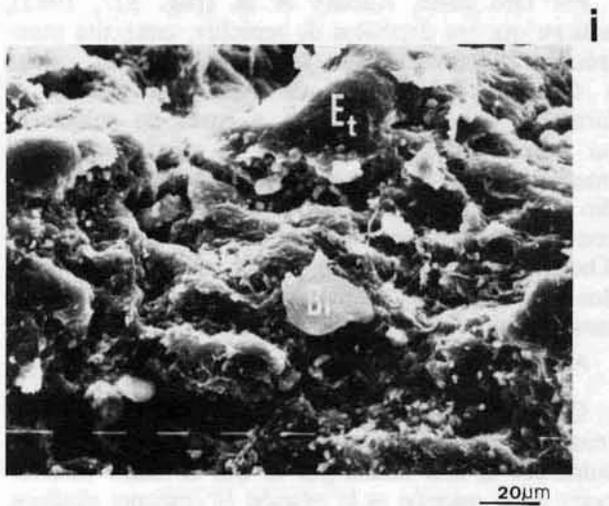
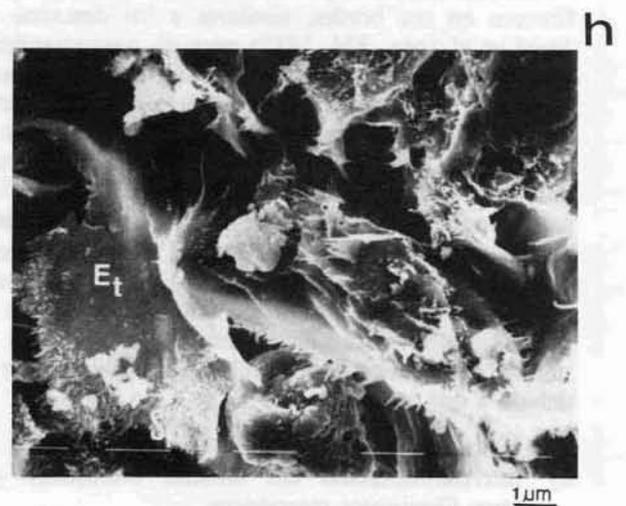
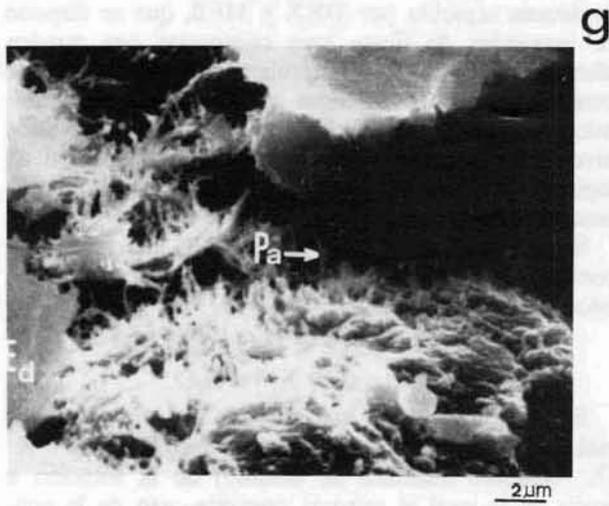


Como la relación Si/Mg es similar en los dos minerales, ambos elementos deben encontrarse controlados por la fase sólida, por lo que el factor determinante de la reacción es la relación $H^{+}/\text{cationes alcalinos}$.

De esta forma, considerando que los niveles lutíticos rosáceos se formaron por exposición de sedimentos lacustres-palustres en el que las aguas mostraban alta salinidad, en condiciones paleoclimáticas áridas (Alonso *et al.*, 1986), el incremento de la evaporación acompañado por un aumento de la actividad salina y pH, favorecería la formación del interestratificado. Una vez formados estos niveles, la acción de aguas meteoricas, darían lugar a la dilución del sistema sedimento/

Lámina II.—Microfábrica.

- Microfábrica de tipo matriz, constituida por sepiolita (Sp) muy compacta, con empaquetamiento muy denso de los agregados de fibras, correspondiente al nivel lutítico basal rosáceo.
- Detalle de agregados de fibras de sepiolita (Sp) en bordes de láminas de esmectitas trioctaédricas (Et) en nivel de lutitas rosáceas carbonatadas.
- Microfábrica glomerular totalmente desordenada, formada por agregados de esmectita trioctaédrica (Et) unidos por asociaciones de fibras muy compactas de sepiolita (Sp).
- Glomérulos de esmectitas trioctaédricas, que muestran agregados de sepiolita en sus bordes.
- Detalle de fibras de sepiolita (Sp) en bordes glomerulares de esmectitas trioctaédricas (Et) con alto grado de empaquetamiento.
- Microfábrica de tipo matriz a laminar en nivel de calcreta, donde se observan láminas de esmectita dioctaédrica (Ed) y desarrollo incipiente de paligorskita.



fase acuosa, con la consiguiente disminución del pH. En estas circunstancias, se favorecería la formación de sepiolita a expensas del interestratificado kerolita-estevensita y posterior episodio de desecación. Este hecho, ha quedado constatado en el estudio textural y de la microfábrica del nivel lutítico basal. Por otra parte, los rasgos de desecación, «slickensides» y argilanes rodeando las morfologías grumelares, corroboran que la sepiolita debió formarse por exposición subaérea de estos niveles de paleosuelos de carácter vértico (Pozo *et al.*, 1987).

El tramo medio, caracterizado por la alternancia de niveles lutíticos verdosos y calcretas, indica un cambio importante en las condiciones sedimentoquímicas debido a la entrada de aportes al medio. Así, de la composición mineralógica de las lutitas verdes se deduce su carácter fundamentalmente detrítico. La microfábrica de estos niveles, de tipo laminar, muestra incipientes fibras de paligorskita en bordes de esmectitas dioctaédricas; este hecho se acentúa en aquellos niveles en los que la calcita presenta elevados porcentajes (50 por 100).

En los niveles calcáreos donde los rasgos de desecación son muy patentes, destaca el aumento de agregados fibrosos de paligorskita en los bordes de esmectitas dioctaédricas, llegándose incluso a perder las morfologías laminares de éstas. Estos caracteres, como consecuencia del proceso de carbonatación, han sido indicados por diversos autores en formaciones edáficas recientes, paleosuelos con transiciones texturales abruptas y en calcretas paleoedáficas (Singer, 1984).

El origen de paligorskita en relación con la inestabilización de esmectitas dioctaédricas es conflictivo. Así Yaalón y Wieder (1976) y El Prince *et al.* (1979), lo consideran autigénico, formada por alteración de montmorillonita, mientras que Millot *et al.* (1969) y Singer y Norrish (1974) proponen un proceso de neoformación (s.s.). Un hecho contrastado termoquímicamente es la imposibilidad de la transformación esmectita dioctaédrica-paligorskita al estado sólido (Singer, 1984). En nuestro caso, queda patente la formación de paligorskita a expensas de la esmectita dioctaédrica, proceso que parece encontrarse favorecido por el incremento de la carbonatación. Este resultado, está

de acuerdo con los reseñados por Watts (1980) en calcretas paleoedáficas del desierto de Kalahari. Este autor, al igual que Yaalón y Wieder (1976), suponen un proceso en el que la calcita por reacción con Mg^{2+} da lugar a la formación de calcita de alto contenido en magnesio que, dada su inestabilidad, libera con facilidad al Mg^{2+} en solución durante episodios de karstificación con el consiguiente desarrollo de calcita neomórfica estable. La repetición sistemática de este proceso propicia un paulatino incremento de magnesio en solución en los niveles subyacentes, provocando la inestabilidad de las esmectitas dioctaédricas. Este proceso da lugar por disolución-precipitación a la formación de paligorskita. Según este modelo, se explica además, la formación de calcretas paleoedáficas bajo los niveles lutíticos verdes.

En el tramo superior, la alternancia de niveles dolomíticos entre los que se intercalan lutitas verdosas, ambos con claros rasgos de desecación, se puede explicar por una más acusada influencia de aguas magnésicas, que en el caso de las lutitas inestabilizan parcial o totalmente las esmectitas dioctaédricas a paligorskita, mientras que en los niveles lutíticos verdosos, predominantemente esmectíticos, destacan abundantes «slickensides» entre los que se disponen arcillas orientadas (argilanes), caracteres indicativos de ambientes de exposición con formación de paleosuelos de carácter vértico.

Los resultados obtenidos, permiten establecer una génesis de sepiolita y paligorskita en relación con ambientes lacustres-palustres someros en condiciones paleoclimáticas áridas, donde los procesos edafodiagénicos (carbonatación, silicificación y vertisolización) provocan la desestabilización de minerales esmectíticos precursores por disolución-precipitación de sepiolita-paligorskita.

La desestabilización de los posibles interestratificados kerolita-estevensita a sepiolita, tendría lugar por exposición subaérea en niveles lutíticos rosáceos, como consecuencia de la acción de aguas meteóricas. Finalmente la formación de paligorskita a expensas de esmectita dioctaédrica es consecuencia de procesos de carbonatación en relación con la formación de calcretas, así como con procesos diagenéticos de dolomitización.

Lámina II.—Continuación.

- g) Detalle de la formación de incipientes fibras de paligorskita (Pa) de pequeño tamaño ($< 2 \mu m$), en nivel de calcreta.
- h) Microfábrica de tipo matriz a laminar en nivel de calcreta donde se observan láminas de esmectita trioctaédrica (Et) con desarrollo de minerales fibrosos (sepiolita) (Sp).
- i) Microfábrica laminar muy compacta en fango dolomítico donde se observan esmectitas trioctaédricas (Et) cementadas por material dolomítico con incipiente formación de fibras de sepiolita. Indicios de biotitas dispersas (Bi).
- j) Detalle de contacto entre intraclasto dolomítico redondeado con material dolomítico cementante.
- k) Aspecto general de la microfábrica en lutitas verdes constituidas por esmectitas dioctaédricas, con laminación subparalela. Destaca la presencia de grietas de retracción características de procesos paleovérticos (exposición).
- l) Microfábrica glomerular en fango dolomítico. Esporádicamente las esmectitas dioctaédricas (Ed) muestran en sus bordes agregados de paligorskita (Pa).

AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo desean expresar su agradecimiento al «referee» anónimo por las sugerencias recibidas, así como por el interés puesto en la corrección del manuscrito original. Este trabajo forma parte del proyecto de investigación «Sedimento-química de materiales arcillosos en la Cuenca de Madrid», subvencionado por la CAICYT (Referencia nº 427/84).

Referencias

- Alonso, A. M.; Calvo, J. P. y García del Cura, M. A. (1985). Sedimentología y petrología de los abanicos aluviales y facies adyacentes en el Neógeno de Paracuellos del Jarama (Madrid). *Estudios Geol.*, 42, 79-101.
- Barahona, E. (1974). *Arcillas de ladrillería de la provincia de Granada: evaluación de algunos ensayos de materias primas*. Tesis Doctoral. Univ. de Granada. Secretaría de Publicaciones. 309 p.
- Brell, J. M.; Doval, M. and Carames, M. (1985). Clay minerals distribution in the evaporitic Miocene sediments of the Tajo Basin. *Miner. Petrol. Acta*, 29-A, 267-276.
- Brindley, G. W.; Bish, D. L. and Wan, H. M. (1977). The nature of kerolite, its relation to talc and stevensite. *Miner. Mag.*, 41, 443-452.
- Brindley, G. W. and Brown, G. (1980). *Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification*. Mineralogical Society, London, 495 p.
- Calvo, J. P.; Alonso, A. M. and García del Cura, M. A. (1986). Depositional sedimentary controls on sepiolite occurrence in Paracuellos de Jarama, Madrid basin. *Geogaceta*, 1, 25-28.
- Despraires, A. (1983). Relation entre le parametre b des smectites et leur contenu en fer et magnesium. Application as l'étude des sediments. *Clay Minerals*, 18, 165-175.
- Doval, M.; Domínguez, M. C.; Brell, J. M. y Romero, E. (1985). Mineralogía y sedimentología de las facies distales del borde Norte de la cuenca del Tajo. *Bol. Soc. Esp. Min.*, 41, 257-269.
- Eberl, D. D.; Jones, J. B. and Khoury, H. N. (1982). Mixed-layer kerolite/stevensite from the Amargosa desert, Nevada. *Clays and Clay Miner.*, 30, 321-326.
- El-Prince, A. M.; Mashhady, A. S. and Aba-Husayn, M. H. (1979). The occurrence of pedogenic palygorskite (attapulgitite) in Saudi Arabia. *J. Soil. Sci.*, 128, 211-218.
- Freytet, P. and Plaziat, J. C. (1982). Continental carbonate sedimentation and pedogenesis of Late Cretaceous and Early Tertiary of southern France. *Contrib. Sedimentology*, 12, 213 p.
- Khoury, H. N.; Eberl, D. D. and Jones, J. B. (1982). Origin of magnesium clays the Amargosa desert, Nevada. *Clays Clay Miner.*, 30, 327-336.
- Leguey, S.; Pozo, M. y Medina, J. A. (1985). Polygenesis of sepiolite and palygorskite in a fluvial-lacustrine environment in the Neogene Basin of Madrid. *Miner. et Petrol. Acta*, 29-A, 287-301.
- Lomoschitz, A.; Calvo, J. P. y Ordóñez, S. (1985). Sedimentología de las facies detríticas de la Unidad Intermedia del Mioceno al Sur y Este de Madrid. *Estudios Geol.*, 41, 343-358.
- Millot, G.; Paquet, H. et Ruellan, A. (1969). Néofonnation de l'attapulgitite dans les sols à caparaces calcaires de la vasse Mouloya (Maroc Oriental). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 268, 2771-2774.
- Pozo, M.; Martín de Vidales, J. L.; Vigil, R.; Medina, J. A. y Leguey, S. (1987). Neofonnación de esmectitas magnésicas relacionadas con procesos de paleoverisolización en sedimentos fluvio-lacustres de la «Unidad Intermedia del Mioceno» en la cuenca de Madrid. *Acta Geol. Hispánica* (en prensa).
- Schultz, L. G. (1964). Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre shale. *U. S. Geological Survey Prof. Paper*, 391-C, 31 p.
- Singer, A. and Norrish, K. (1974). Pedogenic palygorskite occurrences in Australia. *Amer. Miner.*, 59, 508-517.
- Van der Marel, H.W. (1966). Quantitative analysis of clay minerals and their admixtures. *Contrib. Min. Petrol.*, 12, 96-138.
- Warner, S. (1962). A quick field or laboratory staining scheme for the differentiation of the major carbonate minerals. *J. Sed. Petrol.*, 32, 29-38.
- Watts, N. L. (1980). Quaternary pedogenic calcretes from the Kalahari (Southern Africa): Mineralogy, genesis and diagenesis. *Sedimentology*, 27, 661-686.
- Yaalon, D. H. and Wieder, M. (1976). Pedogenic palygorskite in some arid brown (calciorthid) soils in Israel. *Clay Minerals*, 11, 73-80.

Recibido el 7 de octubre de 1987
Aceptado el 14 de marzo de 1988