

## EL YACIMIENTO DE PALIGORSKITA DE BERCIMUEL (SEGOVIA): GÉNESIS Y PROPIEDADES TECNOLÓGICAS

M. SUÁREZ\*, I. ARMENTEROS\*,  
J. M. MARTÍN POZAS\*, J. NAVARRETE\*

**RESUMEN.**— Se estudia la génesis del yacimiento de paligorskita de Bercimuel (Segovia), que se sitúa a techo del relleno mioceno de una depresión intracratónica, alargada en dirección SO-NE, y se ubica en la parte suroriental de la Cuenca del Duero. Pertenece al Mioceno superior. Además, se hace un estudio complementario de otras secciones y afloramientos localizados en el entorno de este yacimiento.

La paligorskita, que puede alcanzar el 80% de la roca, aparece asociada a cuarzo, illita y caolinita como minerales heredados, y a esmectitas e interestratificados del tipo esmectita-illita como minerales de transformación.

El relleno de dicha depresión se efectúa por dos sistemas de abanicos aluviales procedentes de las rocas preneógenas existentes en los bloques elevados que flanquean la depresión. El depósito de Bercimuel se asienta próximo a la unión de ambos abanicos aluviales, sobre un extenso nivel de caliche, lo que unido a sus características litológicas, estructurales, texturales y mineralógicas permite proponer un origen para la paligorskita a partir: 1) de la alteración de los filosilicatos y del cuarzo presentes en el perfil; y 2) de los solutos disueltos en las aguas de escorrentía procedentes de la alteración de los relieves constituidos por rocas preneógenas (gneises, esquistos, pizarras, dolomías, calizas, etc.).

Considerando los rasgos de hidromorfismo presentes en el perfil se deduce la existencia de un nivel freático fluctuante, condicionado por la existencia del caliche subyacente que ejerció como nivel impermeable. Esta circunstancia pudo ser clave para el desarrollo de la alteración de minerales en el perfil y para lograr las condiciones químicas (concentración de cationes, pH) y físicas (temperatura, clima) requeridas en la génesis de paligorskita. En relación con la presencia de un nivel freático fluctuante, está el hecho de que la alteración disminuye de muro a techo del perfil o lo que es lo mismo se desarrolla mejor en los niveles más permanentemente empapados de la parte inferior de aquél.

Dadas las excelentes propiedades tecnológicas (capacidad de adsorción y decoloración) observadas, el yacimiento presenta interés económico.

\* Dpto. de Geología, F. Ciencias, Univ. Salamanca, 37071 Salamanca.

**ABSTRACT.**— The palygorskite deposit of Bercimuel (Segovia) is studied. It is situated at the top of the Miocene filling of an cratonic SW-NE basin in the southeastern part of the Tertiary Duero Basin. The age of the bed is upper Miocene. A complementary study is also made for other sections and outcrops located in the neighbourhood of the Bercimuel deposit.

The palygorskite can be 80% of the total rock, and it appear with quartz, illite and kaolinite are inherited minerals. The palygorskite is associated with smectites and interstratified of the type smectite-illite, these minerals are minerals of transformation.

The filling of this basin has been made by two alluvial fans from the pre-Neogene rocks in the elevated blocks flanking the depression. The Bercimuel deposit lies approximately over the meeting of the two alluvial fans over an extensive level of caliche, which together with its lithological, structural, textural and mineralogical characteristics allows one to propose an origin for the palygorskite based on the following: 1) alteration of the phyllosolocates and quartz present in the profile; 2) the solutes dissolved in the runoff water originating from the weathering of the reliefs composed of pre-Neogene rocks (gneiss, schist, dolomite, limestone...)

In view of the features of hydromorphosis observed in the profile it may be inferred that there is a fluctuating ground water table that is affected by existence of underground caliche that would have acted as an impermeable layer. This circumstance may have been crucial for the development of the alteration of the minerals in the profile and to achieve the chemical (cation concentrations, pH), and physical (climatic drainage) conditions required for the genesis of the palygorskite. Regarding the fluctuating ground water table, it has been observed that alteration decreases from the base to the top of the profile; in the other words, it is better developed in the more permanently waterlogged levels of the lower part of the profile. By the excelents thecnological properties of the deposit, it present a economic interest.

Palabras clave: Paligorskita, arcilla, aplicación, Neógeno, Cuenca del Duero, alteración, abanico aluvial.

Key words: Palygorskite, clay, application, Neogene, Duero Basin, alteration, alluvial fan.

## INTRODUCCIÓN

La presencia de sepiolita y de paligorskita en cuencas continentales terciarias españolas ha sido descrita frecuentemente por diversos autores, existiendo desde hace años varios yacimientos en explotación: Vallecas (Madrid), Lebrija (Sevilla), Torrejón (Cáceres) y recientemente Mara (Teruel).

GALÁN Y CASTILLO (1984) agrupan los yacimientos españoles de estos minerales en cuatro tipos básicos, en función de su asentamiento geológico y mineralogía: 1) Tipo Cuenca del Tajo, donde la sepiolita se formó en zonas distales de abanicos aluviales o en zonas lacustres perennes por precipitación a partir de una solución rica en Mg y Si con un pH entre 8 y 9, y se asocia a esmectitas magnéticas, paligorskita, carbonatos y chert; 2) Tipo Torrejón, donde la paligorskita se formó en cuencas tectónicas sobre un basamento pizarroso a partir de la clorita disuelta y por precipitación directa en un medio alcalino; 3) Tipo San Martín de Pousa-Benfica, aquí la paligorskita constituye parte del cemento de areniscas

y conglomerados, y se formó por diagénesis dentro de estos sedimentos detríticos en un medio alcalino rico en Mg; 4) Tipo Lebrija, donde las margas con sepiolita y paligorskita se formaron en un medio lacustre salobre perimarino rico en Si y Mg. En todos estos tipos de cuencas la sedimentación de minerales arcillosos autigénicos sucede bajo condiciones climáticas semiáridas durante periodos de calma tectónica.

La Cuenca del Duero, donde se sitúa el yacimiento de paligorskita de Bercimuel objeto de este estudio, es una cuenca terciaria intracratónica rellena en gran parte por depósitos neógenos. Dentro de estos se diferencian generalmente tres grandes conjuntos sedimentarios teniendo en cuenta la asociación de facies: 1) Unidad Inferior (Facies de la Tierra de Campos y unidades detríticas equivalentes), formada por depósitos lutítico-arenosos correspondientes a facies distales de sistemas aluviales; 2) Unidad Media, constituida por margas, arcillas y yesos, que suele estar coronada por un nivel carbonático muy constante en el sector central de la cuenca; 3) Unidad Superior, formada por arcillas, arenas, margas y calizas, cuyos afloramientos actuales se restringen a los márgenes de la cuenca. En los bordes hay un cambio lateral desde las tres unidades anteriormente descritas hacia unidades marginales de diferente extensión, dependiendo de su situación con respecto a los diferentes bordes, originadas por aparatos aluviales de características variables.

En la cuenca del Duero se ha descrito la presencia de sepiolita y paligorskita en distintos asentamientos de su relleno neógeno. GARCÍA DEL CURA Y LÓPEZ AGUAYO (1974) refieren la presencia de paligorskita y sepiolita en relación con depósitos carbonáticos de la Unidad Media y Unidad Superior. MARTÍN POZAS et al. (1983) describen un yacimiento de sepiolita y paligorskita en facies lacustres próximas al borde de la Cuenca. POZO y LEGUEY (1984), en el sector suroccidental de la cuenca y en la parte superior de la Unidad Media detectaron la presencia de paligorskita y sepiolita adscribiéndose la primera a la degradación de arcillas de tipo 2:1, mientras que la segunda se relaciona con los procesos de karstificación de la dolomita que liberan Mg. ARMENTEROS et al. (1986), en su estudio sedimentológico del sector suroriental de la cuenca relacionan la presencia de paligorskita con encostramientos de yeso y carbonato, mientras que la sepiolita, acompañada de ópalo C-T, dolomita, yeso y celestina, está asociada a complejos lacustres confinados en el margen de la cuenca (a techo de la Unidad Inferior). FERNÁNDEZ MACARRO et al. (1988) describen la presencia de paligorskita, sepiolita y esmectitas magnésicas en relación con paleosuelos y medios lacustres confinados en el sector neógeno en que se enclava el yacimiento de Bercimuel aquí estudiado. En las proximidades de éste y a su mismo nivel, reconocen un tramo edafizado de 5 metros de potencia muy rico en paligorskita que se elabora a partir de arcillas detríticas. Dentro de un amplio sector de la cuenca, POZO (1987), destaca la transición en la parte superior de la Unidad Media de la asociación de minerales heredados (illita, caolinita, clorita) a minerales de transformación y neofor-

mados (sepiolita y paligorskita) y adscribe la formación de estos últimos a fases retractivas de los ambientes lacustres imperantes durante la sedimentación de la Unidad Media en la zona central de la cuenca.

## METODOLOGÍA

La metodología de campo ha consistido en la realización del perfil de Bercimuel y de otros dos correspondientes cada uno de ellos a la influencia de áreas fuentes distintas, junto con el estudio de dos afloramientos también relacionados. Se realizó el muestreo del perfil de Bercimuel que se complementó con el efectuado en los niveles de mayor interés de los otros dos perfiles y afloramientos estudiados con el fin de establecer comparaciones. Del perfil de Bercimuel se han realizado varias secciones delgadas mediante impregnación con resinas, y para su estudio micromorfológico se han seguido los criterios propuestos por BREWER (1964) y BULLOCK et al. (1983).

El estudio mineralógico se ha realizado por difracción de RX, estudiándose los difractogramas de roca total y del agregado orientado de la fracción menor de 2  $\mu\text{m}$ , en ambiente normal, previa solvatación con etilen-glicol y con calentamiento a 500° C durante dos horas. La velocidad de exploración ha sido de 2 grados por minuto y de 0.5 grados por minuto en el estudio del grado de cristalinidad de la illita según KUBLER (1968), utilizándose un equipo GEOL con goniómetro DX-60-S'. La semicuantificación de la muestra se ha realizado por el «Método de los poderes reflectantes» (MARTÍN POZAS, 1978). Para ello se han utilizado los siguientes valores: paligorskita, 0.67; sepiolita, 1; illita, 1; caolinita, 2; y esmectita, 4.

Sobre aquellas muestras que presentaban un elevado contenido de arcillas especiales se han realizado pruebas de adsorción de agua y de aceite, y de decoloración, comparándose los datos obtenidos con los de una sepiolita comercial. La adsorción de agua se ha realizado con tamaño de partícula de 1.2 a 2 mm., a  $pF = 0$ ; la adsorción de aceite se ha llevado a cabo con igual tamaño de partícula y por el denominado «Método de Westinghouse». El estudio del poder decolorante de las muestras seleccionadas se ha efectuado a través del método de percolación con un dispositivo de doble columna similar al utilizado por HUERTAS et al. (1979). Se han utilizado 12.5 g. de muestra de 0.1-1 mm de diámetro, previa activación térmica a 175°C durante 2 horas, siendo el agente a decolorar 50cc de disolución 1:50 de petróleo natural en benceno y recogándose extractos sucesivos de 6 ml. cada uno. La temperatura de percolación fue de 56.5°C (ebullición de la acetona). Posteriormente se midió la densidad óptica de cada uno de los extractos obtenidos en un espectrofotómetro utilizando radiación de longitud de onda de 510  $\mu\text{m}$ .

## LOCALIZACIÓN GEOLÓGICA (Fig. 1 y 2)

El depósito de paligorskita de Bercimuel y los perfiles adyacentes se sitúan al sureste de la Cuenca del Duero. Dentro de ésta, se integran en la parte superior del relleno neógeno de una depresión tectónica de dirección SO-NE, encajada entre el horst paleozoico-mesozoico de la Sierra de Honrubia-Pradales, al NO, y el macizo paleozoico del Sistema Central, al SE. Esta depresión tectónica se rellenó durante el Neógeno por dos sistemas de abanicos aluviales procedentes de los dos bloques levantados flanqueantes (ARMENTEROS, 1986). El perfil de Pajarejos (Fig. 4) y el afloramiento de Cedillo (Fig. 2) ocupan, respectivamente, una posición distal y media dentro del sistema aluvial enraizado en Honrubia, mientras que el de Cascajares (Fig. 5) y el de Corral de Ayllón (Fig. 2) se circunscriben a las partes distales de los abanicos procedentes del Sistema Central. El perfil de Bercimuel (Fig. 3) ocupa una posición intermedia entre ambos abanicos, y se dispone sobre una extensa costra carbonatada que está ligada al sistema de aportes de Honrubia. Esta costra cambia hacia el NE (según el sentido de paleodrenaje en la unión de ambos complejos aluviales) a ambientes lacustres-palustres con sedimentación lutítico-carbonatada afectada por el desarrollo de yeso diagenético (crecimiento intersticial), paligorskita, sepiolita, esmectitas magnésicas (?), costras calcáreas y nódulos de chert (MACARRO et al., 1988).

## DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE BERCIMUEL Y DE LOS PERFILES Y AFLORAMIENTOS ADYACENTES

### A) Perfil de Bercimuel

El perfil de Bercimuel (Fig. 2 y 3) presenta una potencia máxima de 8 m siguiéndose lateralmente en un entorno de al menos 400 metros. Está constituido por un perfil de caliche formado por un horizonte nodular inferior que pasa gradualmente a un horizonte *platy/hardpan*, siguiendo la terminología de ESTEBAN and KLAPPA, (1983) que en algunos puntos presenta una estructura tipo *honeycomb*. Sobre el nivel de caliche se dispone un tramo arcilloso de 5 m de espesor, objeto de este estudio, en el que se distinguen tres niveles (Fig. 3 y Foto 1).

El **nivel inferior** presenta una estructura poliédrica, *slickenside* y su color es verde-grisáceo con un moteado pardo-rojizo. Contiene abundante paligorskita que disminuye de forma gradual hacia el techo (Fig. 3). En lámina delgada se reconoce una diferente composición desde la base hasta el techo de este nivel. Así, en la parte inferior los únicos granos presentes son de tamaño arena fina-limo y es-

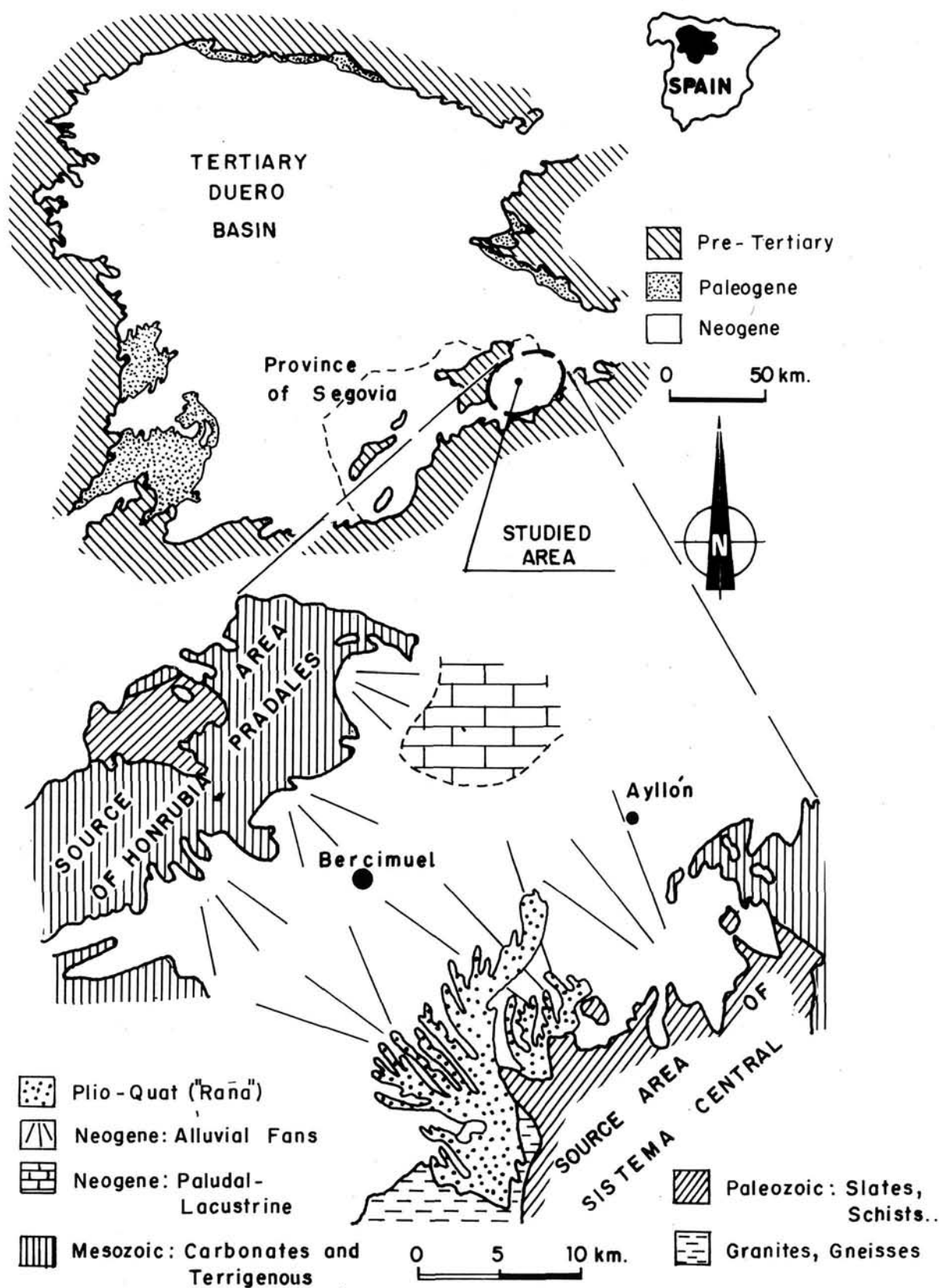


Figura 1. Situación del área estudiada.

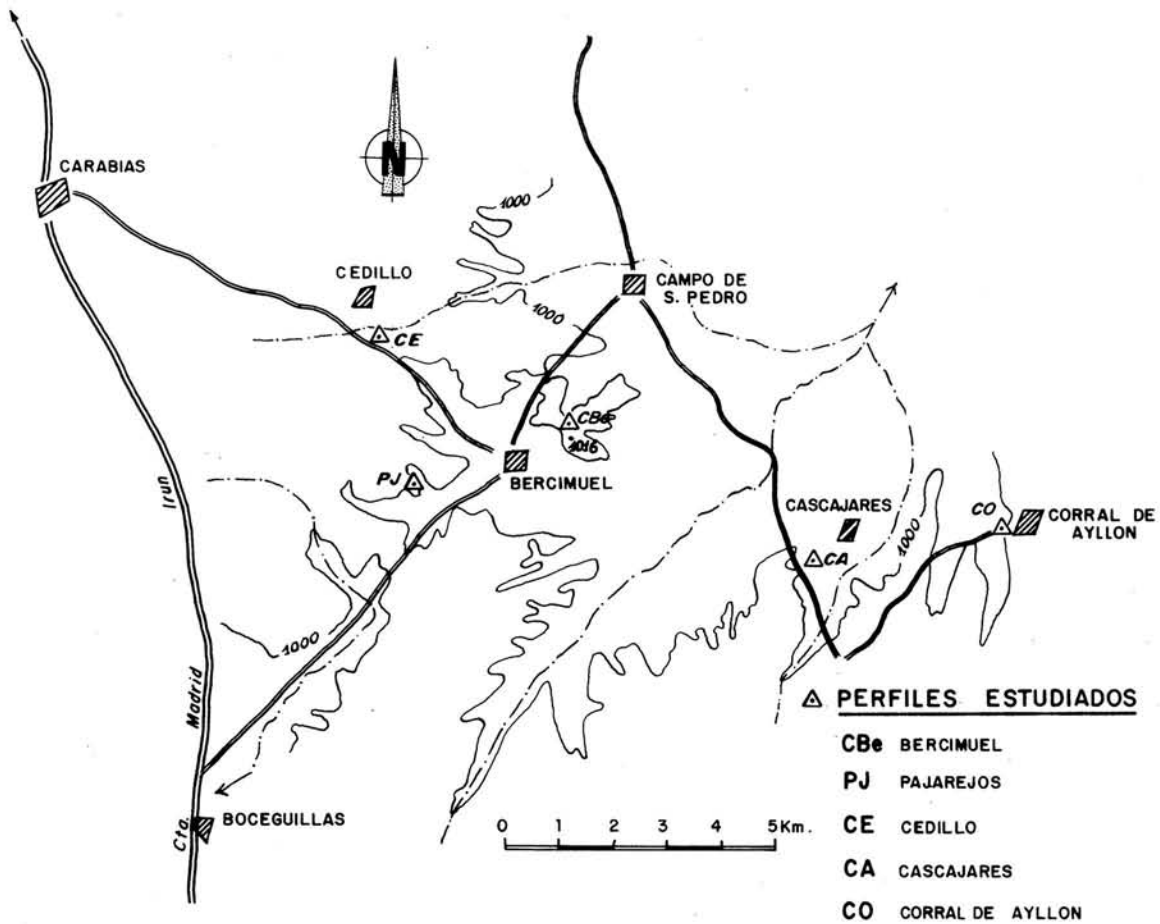


Figura 2. Situación de los perfiles y afloramientos estudiados.



Leyenda para las figuras 3, 4 y 5

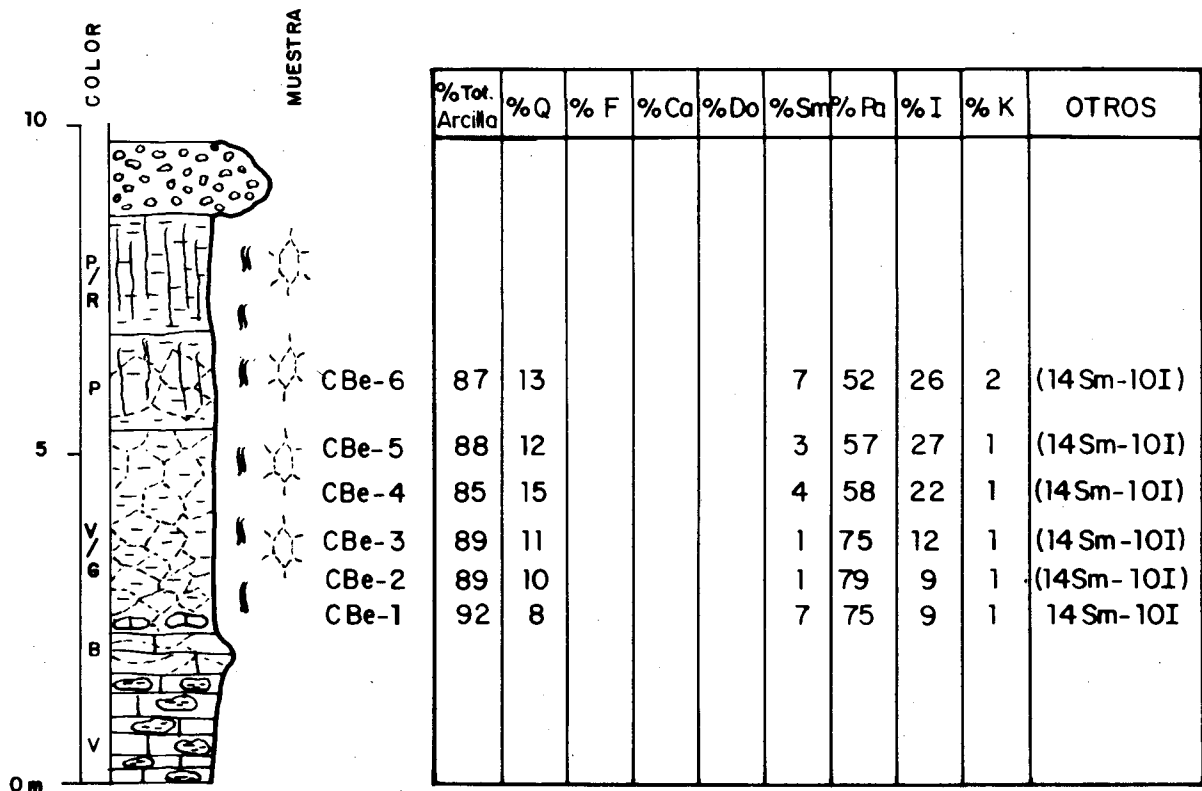


Figura 3. Perfil de Bercimuel. Secuencia litológica y mineralógica.

tán constituidos por cuarzo (3-5%) con escasísimos restos de micas muy alteradas, mientras que hacia el techo del nivel aumenta notablemente la proporción de granos de tamaño arena fina-limo (15-20%), apreciándose cristales de micas (moscovita y biotita) en avanzado estado de alteración (Foto 2). A su vez, dentro de la matriz se distingue una fábrica-b de moteado y localmente granoestriada (según terminología de BULLOCK et al., 1983), observándose dominios claros alternando con otros pardos, probablemente originados por una movilización selectiva del hierro. Hacia el techo predomina la fábrica-b de moteado, localmente aparecen fábricas del tipo granoestriado, poroestriado y estriado reticular, siguiendo la nomenclatura de los mismos autores. Entre los rasgos pedológicos abundan los pedotúbulos (agrotúbulos, isotúbulos y estriotúbulos, según BREWER, 1964) que presentan secciones de 2 mm a 1.5 cm. de diámetro. Son visibles igualmente en muestra de mano. Entre otros rasgos destacan los nódulos de óxidos de hierro y hacia el techo la presencia de argilanes. Además, se aprecia la existencia de material caído de los niveles intermedio y superior que se halla rellenando parcialmente las grietas anastomosadas que recorren la muestra.

El **nivel intermedio** tiene un espesor medio de 0,7 m., y está formado por lutitas arenosas pardas que presentan una estructura prismático-poliédrica poco conspicua. Su contacto con el nivel inferior es interdigitado. La proporción de paligorskita disminuye con respecto a la del nivel inferior. En lámina delgada, la composición de los elementos esqueléticos es parecida a la del techo del nivel inferior, destacando la presencia de pedorrelictos dispersos. La matriz manifiesta una



fábrica-b de moteado y de forma local contiene fábricas del tipo granoestriada, poroestriada y estriada. Entre los rasgos pedológicos destaca la presencia de argilanes, pedotúbulos (isotúbulos y estriotúbulos, Foto 3), nódulos de hierro (Foto 4) e impregnaciones de óxidos de manganeso.

El **superior** son lutitas arenosas de color pardo rojizo y estructura prismática (Foto 1) que borra el cambio textural existente en torno al límite entre dos estratos. Es un horizonte iluvial B correspondiente a un luvisol de origen reciente. Probablemente, algunos rasgos pedológicos del nivel infrayacente sean debidos al desarrollo de este suelo reciente sobre el perfil de Bercimuel.

En resumen, el estudio de campo y los análisis mineralógicos y micromorfológicos revelan diversos cambios a lo largo del perfil. Así, el cambio de color en el paso del nivel inferior al intermedio coincide con una notable disminución de la paligorskita, con un incremento —dentro del nivel intermedio y del superior— de las micas, que presentan diversos grados de alteración, y con el desarrollo de rasgos pedológicos más recientes ligados al suelo sobrepuesto al perfil de Bercimuel, que afectan fundamentalmente a su nivel superior.

## B) Perfiles adyacentes

El perfil de Pajarejos (Figs. 2 y 4) se encuadra en la zona distal de sistema de abanicos aluviales de Honrubia, y está formado por lutitas arenosas de color pardo-rojizo con intercalaciones delgadas (centimétricas) de lentejones arenosos de escasa continuidad lateral. Presenta abundantes caliches calcíticos, sobre todo en la base y hacia la mitad superior, en los que se aprecia una evolución vertical desde facies nodulares a facies de *hardpan* (según terminología de ESTEBAN Y KLAPPA, 1983). El contenido de paligorskita aumenta en los niveles calcificados.

El afloramiento de Cedillo (Fig. 2) pertenece a facies medio-distales del sistema de abanicos de Honrubia. Son lutitas arenosas con caliches dispersos y delgados. La paligorskita, aunque presente, se halla en proporciones menores que las arcillas detríticas y esmectitas (Tabla I).

El perfil de Cascajares (Fig. 2 y 5) se adscribe a las partes distales del sistema de abanicos aluviales enraizado en el Sistema Central, y está constituido por una sucesión de capas de lutitas arenosas pardo rojizas en la que se intercalan lentejones arenosos de espesor decimétrico y de pocos metros de anchura. Presenta numerosos niveles de caliche nodular y, en menor número, de *hardpan*. Los niveles lutíticos no calcificados muestran bioturbación y estructura en bloques. El estudio del contenido arcilloso de los niveles bioturbados señala la presencia de paligorskita.

TABLA I. Mineralogía de los afloramientos estudiados. Cedillo de la Torre (Ce-1 y Ce-2) y Corral de Ayllón (CO).

	% Tot. Arcillas	% Q	% F	% Ca	% Sm	% Pa	% I	% K
CBe-1	70	26	3	1	15	25	24	6
CBe-2	77	20	2	1	22	—	47	8
CO-1	44	48	4	4	1	7	29	7

El afloramiento de Corral de Ayllón (Fig. 2) pertenece a las facies medio distales de los abanicos procedentes del Sistema Central, y está formado por una alternancia —con un espesor de 9 metros— de arenas arcillosas y arcillas arenosas con intercalaciones de caliches nodulares. La paligorskita se encuentra presente en proporciones bajas.

## ANÁLISIS MINERALÓGICO

En lo que al yacimiento de Bercimuel se refiere, (muestras CBE-1 a CBE-6, Fig. 3) se puede observar que el componente mayoritario es la paligorskita, que supone del 52 al 79% y está acompañada por cuarzo, illita, pequeñas cantidades de esmectitas, caolinita y ocasionalmente interestratificados del tipo 14 sm-10 il. Se aprecia una evolución en la mineralogía del perfil: de muro a techo hay una disminución de la paligorskita con el consiguiente aumento, tanto de los otros minerales arcillosos, como del cuarzo. Igualmente de muro a techo hay un aumento en el grado de cristalinidad de la illita, variando el índice de KLUBER entre 8 (CBe-1) y 5.5 (CBe-6).

Los perfiles de Pajarejos (muestras Pa-1 a Pa-4, Fig. 4) y Cascajares (muestras Ca-1 a Ca-4, Fig. 5) son similares en cuanto a su mineralogía, siendo el cuarzo el principal mineral no arcilloso, acompañado de pequeñas cantidades de feldespatos y de carbonatos. La calcita aparece en ambos perfiles, mientras que la dolomita sólo lo hace en el de Cascajares. En cuanto a los minerales arcillosos los componentes mayoritarios son paligorskita e illita, asociados a esmectitas en el caso de Pajarejos y a caolinita en el de Cascajares.

Los afloramientos de Cedillo de la Torre y Corral de Ayllón, muestras Ce-1 y 2 y Co-1 respectivamente, presentan un alto contenido en cuarzo e illita, con

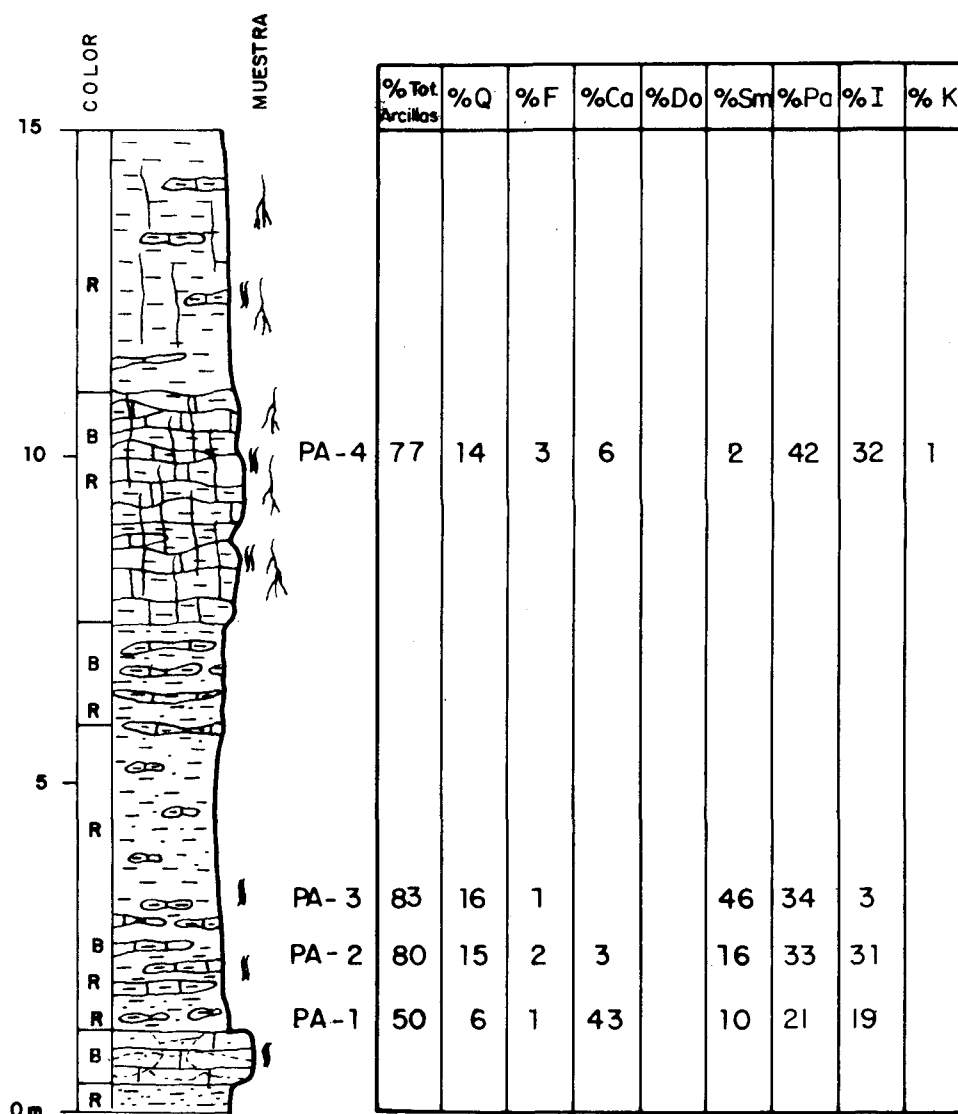


Figura 4. Perfil de Pajarejos. Secuencia litológica (FERNÁNDEZ MACARRO et al, 1988) y mineralógica.

Los afloramientos de Cedillo de la Torre y Corral de Ayllón, muestras Ce-1 y 2 y Co-1 respectivamente, presentan un alto contenido en cuarzo e illita, con clara presencia de feldespatos y de caolinita en ambos casos, y de esmectitas en Cedillo de la Torre, donde la paligorskita sólo se encuentra a muro (Tabla I).

## ADSORCIÓN DE AGUA Y ACEITE

Sobre las muestras del yacimiento en estudio se han realizado pruebas de adsorción de agua y de aceite, comparándose los resultados obtenidos con el porcentaje de minerales adsorbentes (paligorskita + esmectitas) que contiene la muestra total sobre la que se ha realizado la prueba (SUÁREZ BARRIOS, 1987). Se ha

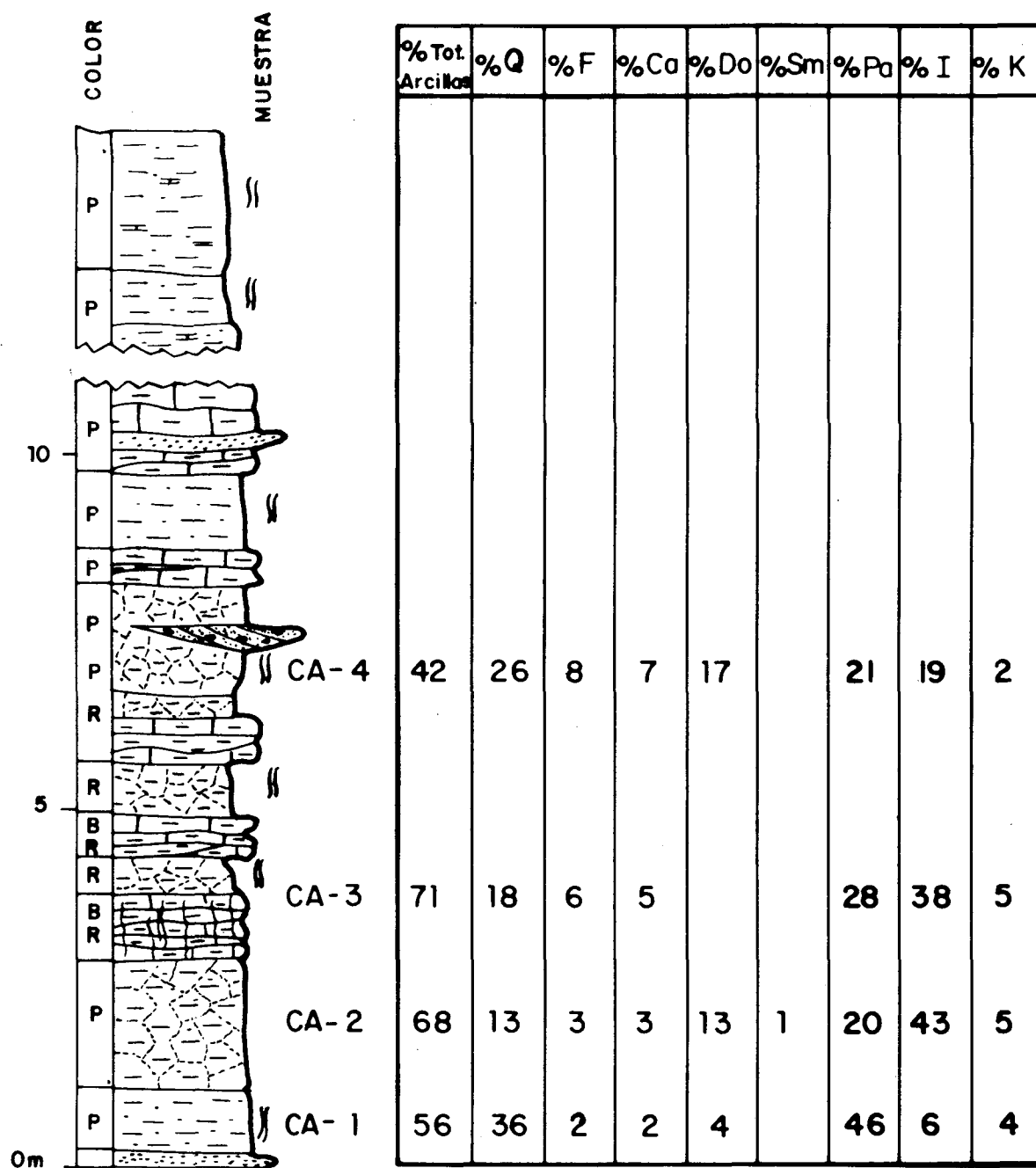


Figura 5. Perfil de Cascajares (ARMENTEROS, 1985, inédito). Secuencia litológica y mineralógica.

observado como en ambos casos al aumentar el porcentaje de minerales adsorbentes aumenta el porcentaje en peso de líquido adsorbido (Tabla II, Fig. 6).

Las cantidades de agua adsorbida son superiores a las de aceite por dos razones: 1) el propio método; 2) las características de los líquidos empleados.

Además de la relación con los minerales adsorbentes que contiene la muestra hay que tener en cuenta la posibilidad de variaciones puntuales en la naturaleza de los mismos y la existencia de óxidos de hierro amorfos que en conjunto alteran el valor teórico de la capacidad de adsorción de una muestra dada.

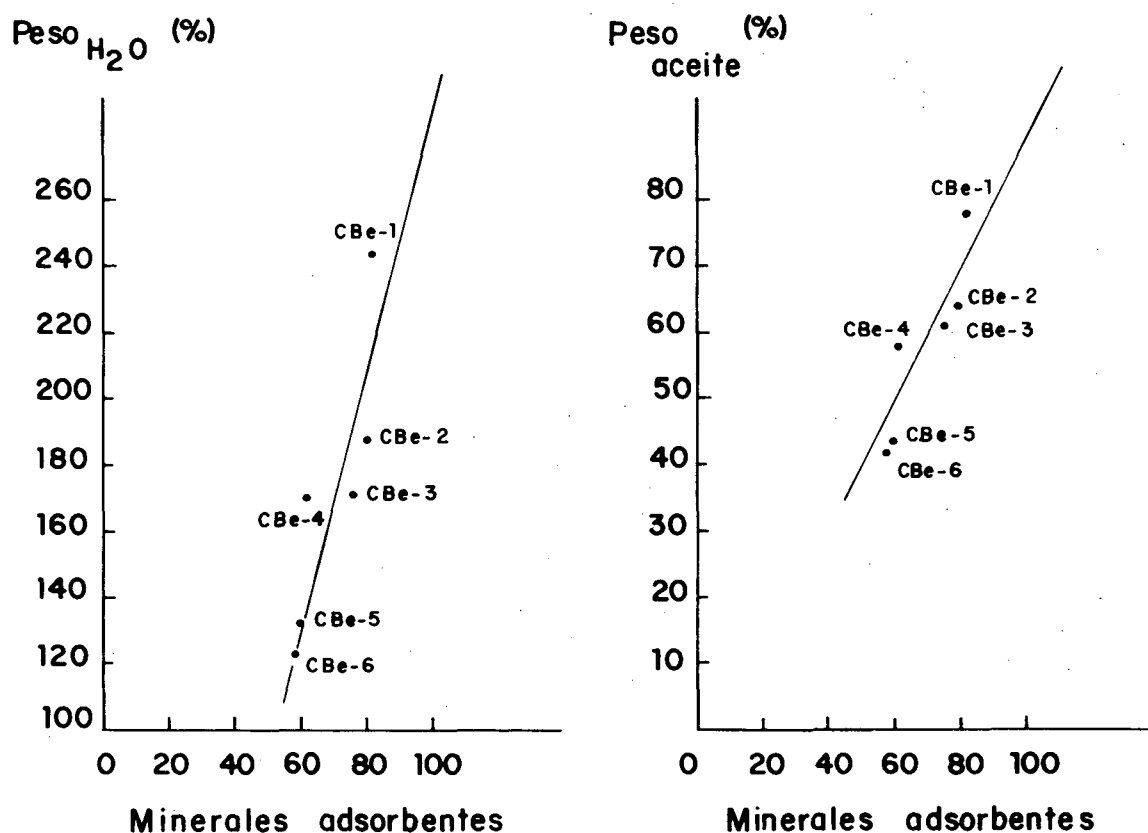


Figura 6. Adsorción de agua y de aceite en relación con el contenido en minerales adsorbentes de la muestra.

MUESTRA	Peso (%) adsor. H O	Peso (%) absor. aceite	Total peso % absor. min.	%Esmectita	% Paligors
CBe-1	244.5	78	82	7	75
CBe-2	188.3	64	80	1	79
CBe-3	171	62	76	1	75
CBe-4	170	58.5	62	4	58
CBe-5	132.5	44	60	3	57
CBe-6	123.5	43	59	7	52

TABLA II. Poder de adsorción de agua y aceite para las muestras del perfil de Bercimuel.

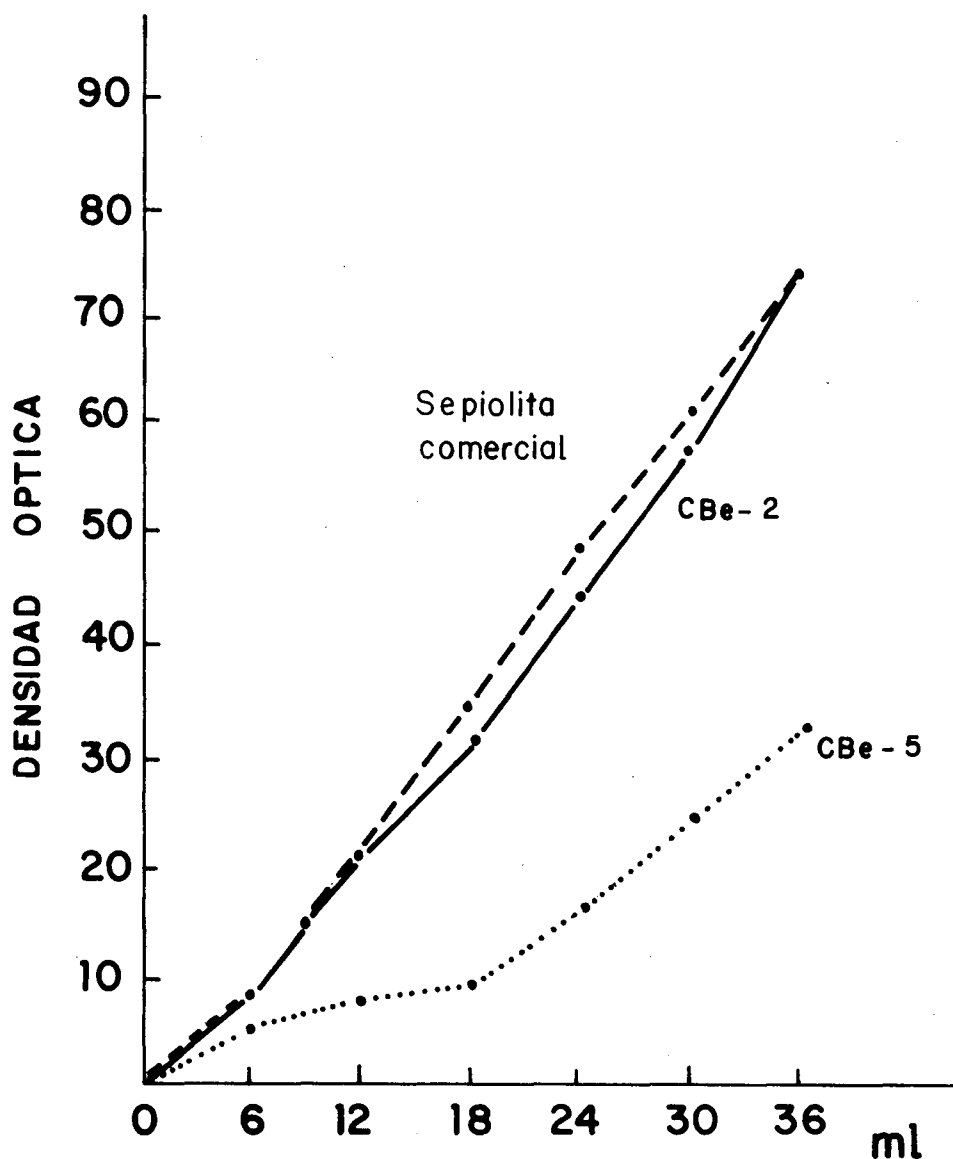


Figura 7. Poder decolorante de las muestras CBe-2 y CBe-5 del yacimiento de Bercimuel comparado con el de una sepiolita comercial.

## PODER DECOLORANTE

Para el estudio del poder decolorante se seleccionaron las muestras CBe-2 y CBe-5, comparando los resultados con los de una sepiolita comercial (Fig. 7).

Como puede observarse, el poder decolorante de las muestras del yacimiento de Bercimuel es superior al de la sepiolita comercial, especialmente en la muestra CBe-5, siendo esto debido probablemente, a que la variación en los porcentajes de los minerales existentes no influye sólo en el poder decolorante, sino en el propio proceso de percolación (SUÁREZ BARRIOS, 1987).

## DISCUSIÓN

Es bien conocida la estrecha asociación de paligorskita con costras calcáreas (SINGER y NORRISH, 1974; WATTS, 1980; SINGER, 1984; PAQUET, 1983; GOU-DIE, 1983; ARMENTEROS y ALONSO GAVILÁN, 1984). Esta circunstancia aparece reflejada en los perfiles de Cascajares y de Pajarejos, donde la paligorskita, sin representar un volumen importante de la roca, constituye una parte significativa del contenido arcilloso. De acuerdo con la asociación observada entre facies dia-genéticas y mineralogía en estos dos perfiles, y teniendo presente la extensa bi-bliografía existente sobre esta asociación, la paligorskita podría ser el resultado de una neoformación a partir de los productos procedentes: 1) de la alteración «in situ» de filosilicatos (di y trioctaédricos) y del cuarzo que liberan sílice, alu-minio y magnesio; 2) de la meteorización de rocas (neis, esquistos, pizarras y do-lomías) en el área madre, donde, entre otros productos, se libera Mg, el cual a través del agua de escorrentía es conducido a zonas más distales. Estos productos tenderían a formar paligorskita en un medio con altas actividades de silicio y mag-nesio, que está controlado además por otros parámetros tales como pH, tempe-ratura y contraste climático estacional (WEABER and BECK, 1977; PAQUET, 1983).

La comprensión de la génesis del potente nivel arcilloso de Bercimuel necesi-ta de otras consideraciones genéticas. La ausencia de carbonato a lo largo del perfil —si excluimos la costra basal— refiere una situación algo diferente de los perfiles anteriores, donde el carbonato se halla incluido en los niveles ricos en paligorski-ta. A la vista de la evolución mineralógica a lo largo del perfil de Bercimuel (Fig. 5), cabe suponer que la disminución relativa del contenido de paligorskita coinci-de con una disminución progresiva de la alteración de las micas y del cuarzo de muro a techo del perfil. Es preciso recordar que esta alteración es anterior a las modificaciones pedológicas que afectan a los niveles intermedio y superior del per-fil. La marcada alteración de micas y la corrosión del cuarzo-observables princi-palmente a techo del nivel inferior y en los niveles intermedio y superior, no así en la parte basal del nivel inferior por lo que aquí es razonable pensar en la total meteorización de aquellos minerales si exceptuamos los restos de cuarzo aún existentes— y la relación inversa paligorskita/micas detríticas —que disminuye a techo— son los criterios principales que llevan a proponer un mecanismo de formación para la paligorskita consistente en la alteración «in situ» de minerales precursores (micas, illita...). La paligorskita se formaría bien de forma directa o bien a través de un paso intermedio vía interestratificado illita-esmectita, lo cual está apoyado por esta el aumento del grado de cristalinidad de la illita hacia el techo, donde los interestratificados son más escasos.

La abundancia de rasgos hidromórficos fósiles en el nivel inferior permite relacionar la alteración con un nivel freático oscilante. Este asentamiento hidro-lógico está en concordancia con la localización paleogeográfica en la confluencia

de los dos sistemas de abanicos aluviales (FERNÁNDEZ MACARRO et al., 1988) donde la existencia de un nivel de caliche subyacente pudo ejercer de nivel impermeable.

La fuente principal del magnesio podría estar en la meteorización de minerales magnesianos (e.g. biotita) en las rocas (pizarras, esquistos, dolomías...) del área madre y en el propio perfil. La fuente de Si se atribuiría a la alteración de las micas, del cuarzo y de minerales arcillosos (illita, caolinita y esmectitas) que forman parte del perfil, además de la que llega disuelta en las aguas de escorrentía. En resumen, se propone que el origen de la paligorskita del yacimiento de Bercimuel está relacionado con la alteración de lutitas arenosas, correspondientes a la sedimentación distal del sistema de abanicos aluviales procedente de la Sierra de Honrubia-Pradales. Esta zona distal está próxima a la zona distal de otro sistema de abanicos procedente del Sistema Central. En la unión de ambos sistemas se desarrollaría un ambiente confinado a lo largo de una faja alargada en la dirección SO-NE, teniendo lugar en consecuencia la aparición de encharcamientos, temporales e hidromorfismo. La extensa costra calcárea basal pudo servir de nivel impermeable, dificultando el movimiento vertical del agua subterránea. Esta circunstancia, unida a los cambios periódicos del nivel freático, promovería una alteración de los componentes más lábiles del perfil, y cuando las condiciones físico-químicas de la solución fuesen adecuadas (WEABER y BECK, 1977), se produciría la precipitación de paligorskita.

En vista de que la paligorskita se concentra en el nivel inferior del perfil, donde apenas se registran vestigios de micas, y, dado que a partir del nivel intermedio hay micas en vías de alteración, se sugiere que la alteración evoluciona de abajo a arriba. Además, teniendo en cuenta la abundancia de rasgos viejos de hidromorfismo en la parte inferior del perfil, se puede establecer una relación entre la formación de paligorskita y los cambios del nivel freático, tanto más efectivos cuanto más en la base del perfil, lo que explica la supervivencia de micas en los dos superiores. Este medio de formación de paligorskita ligado a ascensos en el nivel del agua ha sido considerado por SINGER (1984).

De los resultados mineralógicos, propiedades adsorbentes y decolorantes, y volumen y condiciones de afloramiento del yacimiento de Bercimuel, se desprende el interés económico que éste ha despertado.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Junta de Castilla y León la financiación de este trabajo a través del Proyecto 27/85.



## BIBLIOGRAFÍA

- ARMENTEROS, I. (1986). *Estratigrafía y Sedimentología del Neógeno del sector suroriental de la Depresión del Duero*. Edic. Diputación de Salamanca, Serie Castilla y León, Nº 1, Salamanca. 471 p.
- ARMENTEROS, I., y ALONSO GAVILÁN, I. (1984). Génesis y evolución de los caliches miocenos de sureste de la Depresión del Duero. *Est. Geol.* **40**, p. 153-163.
- ARMENTEROS, I., FERNÁNDEZ MACARRO, B., y BLANCO, J.A. (1986). Análisis sedimentológico y paleogeografía en el Mioceno del sector Sacramenia (Segovia)-Peñafile (Valladolid). *Studia Geol. Salmant.*, **XXII**, p. 250-263.
- BREWER, R. (1964). *Fabric and Mineral Analysis of Soils*. John Wiley & Sons, New York, London, 470 p.
- BULLOCK, P., FEDOROFF, N., JONGERIUS, A., STOOPS, G. y TURSINA, T. (1985). *Handbook for Soil Thin-Section Description*. Waine Research Publications, Mount Pleasant, England WV7 3JJ, 152 p.
- ESTEBAN, M. y KLAPPA, C. (1983). Subaerial Exposure Environment. In Carbonate Depositional Environments (ed. by P.A. Scholle, Don G. Bebout, C.H. Moore), *A.A.P.G. Mem.* **33** 1-54.
- FERNÁNDEZ MACARRO, B., ARMENTEROS, I., y BLANCO, J.A. (1988). Procesos de alteración y paleosuelos ligados a la sedimentación miocena del noreste de Segovia, Depresión del Duero. *Acta Geol. Hispanica*, **23**, 4: 269-281.
- GALÁN, E., y CASTILLO, A. (1984). Sepiolite-paligorskite in Spanish Tertiary Basins: genetical patterns in continental environments. In: *Palygorskite-sepiolite, occurrences, genesis and uses*. Ed. Elsevier, 1984, 87-124.
- GARCÍA DEL CURA, M.A. y LÓPEZ AGUAYO, F. (1974). Estudio mineralógico de las facies detrítico-calcáreas del Terciario de la zona centro-E de la Cuenca del Duero (Aranda de Duero). *Est. Geol.*, **30**: 503-513.
- GOUDIE, A.S. (1983). Calcrete. In: A.S. GOUDIE y K. PYE (Eds.) *Chemical Sediments and Geomorphology: Precipitates and Residua in the Near-Surface Environment*, Academic Press, London: 93-131.
- HUERTAS GARCÍA, F., LINARES, J., y POZZUOLI, A. (1979). Studio del potere decolorante della sepiolite con un semplice apparato de percolatione. *Soc. Naz. Sci. Napoles (IV)* **XLVI**: 118-129.
- KUBLER, D. (1968). Evaluation quantitative du Metamorphisme par la cristallinite de l'illite. Etat des progres réalisés ces derniers annés. *Bull. Centre Rech. Pau. SNPA*, **2**: 385-397.
- MARTÍN POZAS, J.M. (1978). Análisis cuantitativo de fases cristalinas por DRX. In J.A. de SAJA (Ed.), *I.C.E. Univ. de Valladolid*: 124-148.
- MARTÍN POZAS, J.M., MARTÍN VIVALDI, J., y SÁNCHEZ CAMAZANO (1983). Yacimiento de sepiolita y paligorskita de Sacramenia (Segovia). *Bol. Geol. Min.* **94(2)**: 113-120.

- PAQUET, H. (1983). Stability instability and significance of attapulgite in calcretes of mediterranean and tropical areas with marked dry season. *Sci. Géol. Mém.*, **72**: 131-140.
- POZO, M., y LEGUEY, S. (1984). Estudio mineralógico y geoquímico de las facies Cuestas en el sector suroccidental de la Cuenca del Duero. *Congreso Español de Geología*, **II**: 267-283.
- POZO, M. (1987). *Mineralogía y sedimentología de las Facies de las Cuestas en la zona Central de la Cuenca del Duero: Génesis de sepiolita y palygorskita*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, Univ. Autónoma. Madrid, 557 p.
- SINGER, A. (1984). Pedogenic palygorskite in the arid environment. In: A. SINGER y E. GALÁN (Eds.) *Palygorskite-Sepiolite, Occurrences, Genesis and Uses Developments in Sedimentology*, **37** Elsevier, Amsterdam: 169-177.
- SINGER, A., y NORRISH, K. (1974). Pedogenic palygorskite occurrences in Australia. *Am. Mineral*, **59**: 508-517.
- SUÁREZ BARRIOS, M. (1987). *Estudio mineralógico de arcillas especiales en el sector oriental de la Cuenca del Duero*. Tesis de Licenciatura. Univ. de Salamanca (inéd.): 149 p.
- WATTS, N.L. (1980). Quaternary pedogenic calcretes from Kalahari (South Africa): mineralogy, genesis and diagenesis. *Sedimentology*, **27**: 661-686.
- WEAVER, C.E., y BECK, K.C. (1977). *Miocene of the S.E. United States: a model for chemical sedimentation in a peri-marine environment*. Developments in Sedimentology, **22**. Elsevier, Amsterdam, 234 p.

*Recibido el 18-Septiembre-1989*

*Aceptado el 12-Febrero-1990*

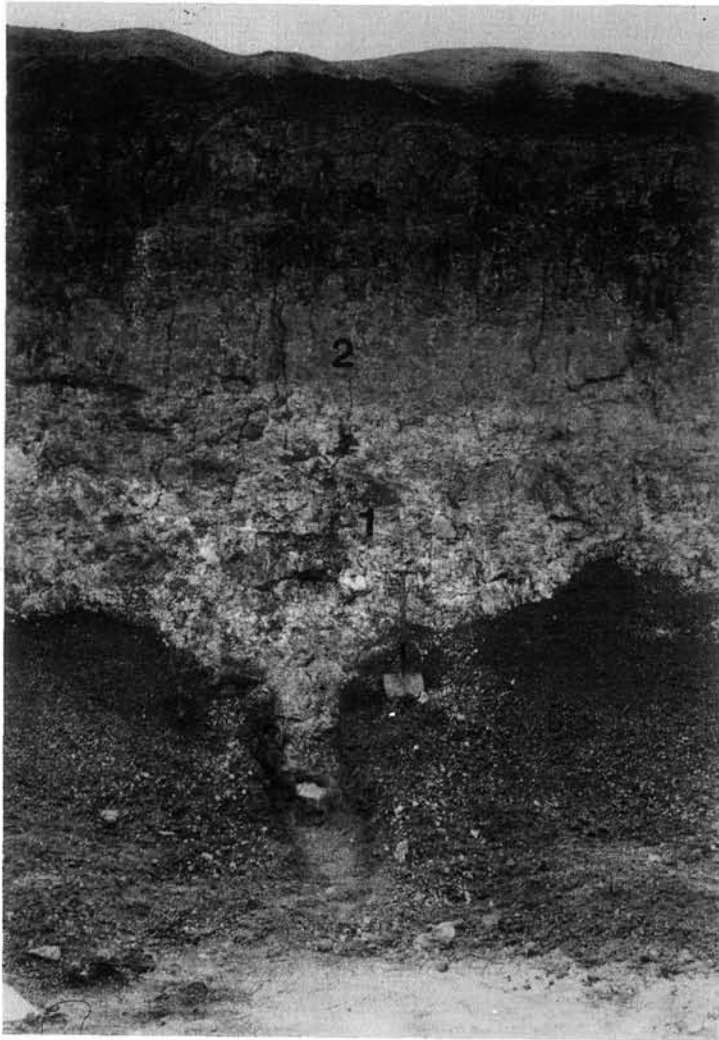


Foto 1. Vista general del perfil de Bercimuel, donde pueden ser observados los tres niveles (1, 2 y 3) descritos en el texto.

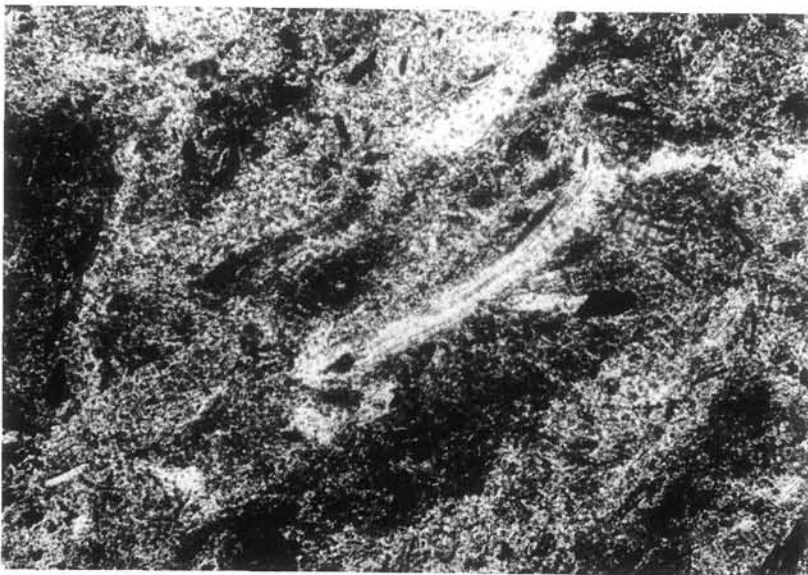


Foto 2. Detalle de la alteración de las micas: bordes corroídos en la gran mica del centro de la foto. Otras más pequeñas se encuentran totalmente alteradas (A). Nivel intermedio. Anchura de la foto: 200 mm.

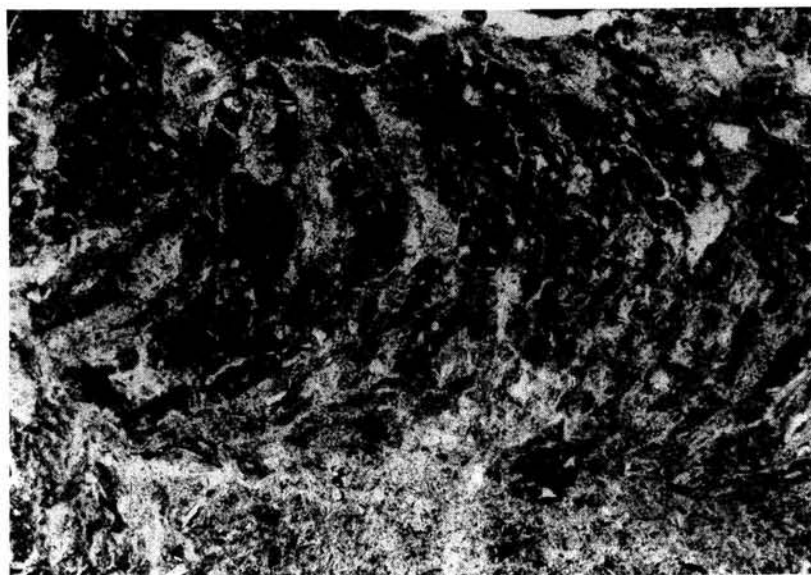


Foto 3. Pedorrasgo correspondiente al relleno en forma de menisco de un pedotúbulo. Nivel intermedio. Anchura de la foto 2.5 mm.

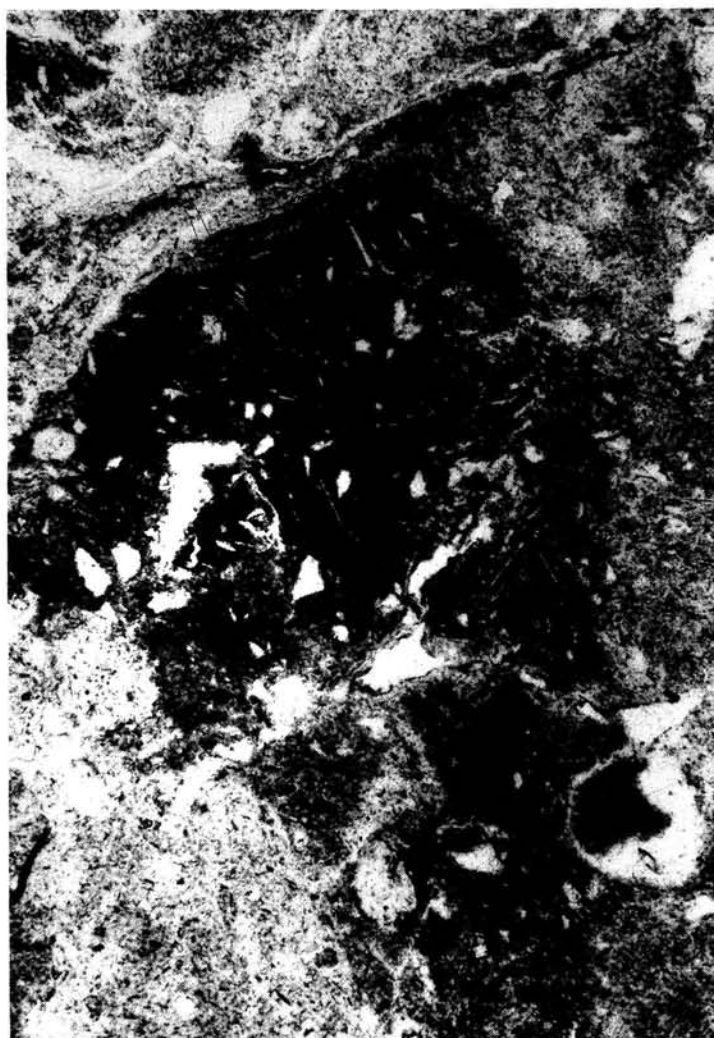


Foto 4. Nódulo de óxidos de hierro correspondiente al nivel intermedio. Anchura de la foto 2.5 mm.