

Caracterización mineralógica y estratigráfica de las formaciones neógenas del borde sur de la cuenca del Tajo (Comarca de la Sagra). (1)

Por E. GARCIA (*), J. M. BRELL (**), M. DOVAL (*) y J. V. NAVARRO (***)

RESUMEN

El estudio mineralógico y químico de los materiales neógenos del borde sur de la cuenca del Tajo ha permitido establecer cinco unidades litoestratigráficas, a las que se ha atribuido el rango de formación. Estas unidades se han formado bajo la acción de diferentes procesos genéticos.

Las formaciones con carácter más terrígeno («Formación de Arenas Gruesas Rojas», «Formación de Arenas Gruesas Pardas» y «Formación de Arenas Finas con Sepiolita, Sílex y Carbonatos») presentan una composición mineralógica resultado de los procesos de herencia de los productos de alteración del área fuente, a excepción de los niveles de sepiolita y ópalo que aparecen en la «Formación de Arenas Finas con Sepiolita, Sílex y Carbonatos», los cuales han de ser considerados como depósitos autigénicos.

Las formaciones detríticas más finas («Formación de Arcillas Rojas de la Sagra» y «Formación de Arcillas Verdes») presentan una composición debida a fenómenos de transformación y neoformación.

Palabras clave: Filosilicatos, Neógeno, Cuenca del Tajo.

RESUME

L'étude minéralogique et chimique des sédiments néogènes de la bordure sud du bassin du Tajo a permis distinguer cinq unités lithostratigraphiques, considérées comme des formations. Les unités se sont formées sous l'action de différents phénomènes sédimentaires.

Les formations les plus détritiques («Formación de Arenas Gruesas Rojas», «Formación de Arenas Gruesas Pardas» et «Formación de Arenas Finas con Sepiolita, Sílex y Carbonatos») ont une composition minéralogique essentiellement issue de l'héritage de produits d'altération de la roche mère, mais l'on y trouve aussi des niveaux à sépiolite et opale, considérées comme authigéniques.

Les formations les plus argileuses («Formación de Arcillas Rojas de la Sagra» et «Formación de Arcillas Verdes») présentent une composition minéralogique résultant surtout de processus de transformation et néoformation des sédiments dans le bassin.

Mots clef: Philosilicates, Néogène, Bassin du Tajo.

(1) Este trabajo forma parte del Proyecto de Investigación PBO264, subvencionado por la Dirección General de Investigación Científica y Técnica.

* Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de C.C. Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.

** Departamento de Estratigrafía. Facultad de C.C. Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.

*** Aplicaciones Geológicas, S. A. (AGESA).

INTRODUCCION

En el borde sur de la cuenca del Tajo los sedimentos neógenos se presentan con facies de características muy heterogéneas, que evolucionan rápidamente tanto en el espacio como a lo largo del tiempo.

En estudios anteriores (GARCIA ROMERO et al., 1988a y 1988b) ya se indicaba la gran complejidad que presentan las facies de esta zona. A grandes rasgos, y como en el resto de la Cuenca del Tajo, los sedimentos se presentan desde los bordes hacia el interior con unas facies terrígenas, de origen principalmente heredado, a unas facies lutíticas en las que las transformaciones y neoformaciones minerales imprimen un carácter muy específico en cada una de ellas.

Con el fin de poder caracterizar las distintas unidades que forman el Neógeno de esta región, se ha llevado a cabo un estudio detallado, dentro del cual se ha realizado una cartografía (fig. 1) a escala 1:50.000 de un área de unos 600 kilómetros cuadrados correspondiente a parte de las Hojas del M. T. N. números 629 (Toledo), 630 (Yepes), 604 (Villaluenga) y 605 (Aranjuez), seguido de un levantamiento de columnas estratigráficas y de un estudio mineralógico de los distintos niveles.

Debido a la naturaleza fundamentalmente arcillosa de los materiales que nos ocupan, la definición de unidades estratigráficas y la correlación de las mismas se ha realizado en base a la mineralogía de arcillas.

Dada la topografía llana de la región y la ausencia de buenos cortes naturales, así como, también, a la presencia de muchas zonas de cultivo, se ha recurrido, preferentemente, para el levantamiento de columnas estratigráficas, a los cortes efectuados por las industrias que explotan intensivamente las arcillas de esta zona (sepiolita, bentonitas, arcillas cerámicas).

El total de muestras estudiadas ha sido superior a las 250, distribuidas en 13 columnas que representan 205 metros de sucesión, y dos sondeos con testigo continuo, cedidos por ENUSA, con una potencia total de 675 metros.

DESCRIPCION DE LAS FORMACIONES

Las observaciones de campo, junto a los resultados de los análisis mineralógicos y químicos de las diferentes series estudiadas, nos han permitido diferenciar cinco unidades litoestratigráficas a las que se ha atribuido, provisionalmente, el rango de formación. En la figura 1 se indica la situación de las series estudiadas y la distribución cartográfica de las unidades definidas.

Un esquema de la disposición de estas unidades se indica en la figura 2. A continuación se describen las principales características de las mismas.

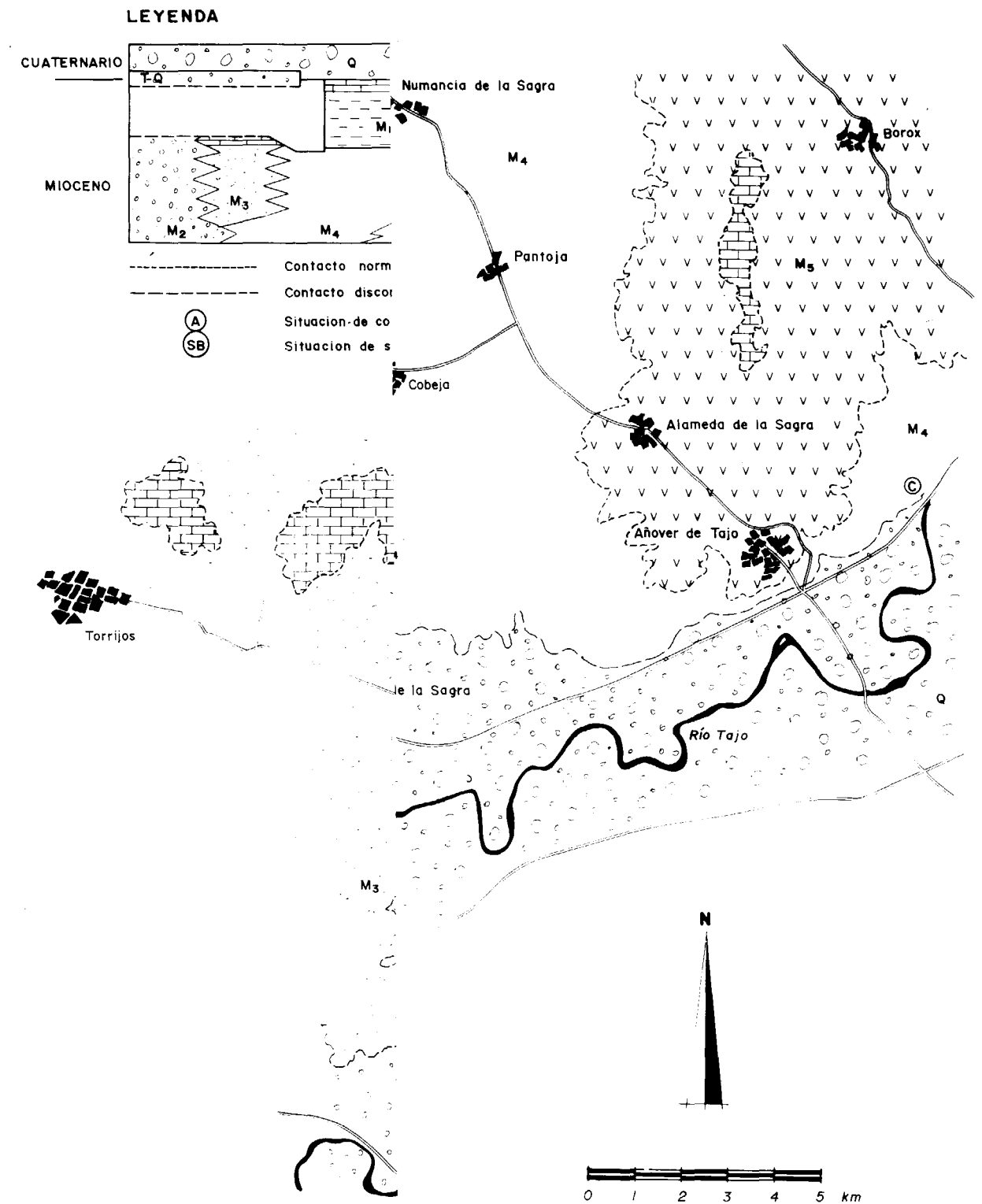
«Formación de Arenas Gruesas Rojas de La Sagra»

Es la unidad más meridional de las estudiadas. Aflora en las proximidades del borde sur de la cuenca, cerca de la ciudad de Toledo, siguiéndose en una franja de varios kilómetros, paralela a la margen izquierda del río Guadarrama, desde el paralelo de Bargas hasta su desembocadura en el río Tajo, y desde este punto, siguiendo la margen derecha del río Tajo, hasta la localidad de Mocejón.

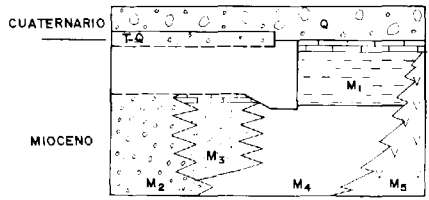
Hacia el Norte esta formación pasa lateralmente a la «Formación de Arcillas Rojas de la Sagra». En superficie se encuentra parcialmente cubierta por otra unidad terrígena de características diferentes que ha sido denominada como «Formación de Arenas Gruesas Pardas».

Se ha estudiado una columna estratigráfica (serie E) y un sondeo (SB) pertenecientes a esta unidad. La columna se sitúa en las coordenadas Lambert $x=571,6$ e $y=605,16$. Su muro se encuentra en la cota de 480 metros y alcanza una potencia de 10 metros. El sondeo se localiza entre las localidades de Bargas y Olías del Rey, sobre las coordenadas $x=572,4$ e $y=593,35$. El techo del sondeo se encuentra a una altitud de 585 metros y alcanza una profundidad de 400 metros, correspondiendo los 45 metros superiores a la «Formación de Arenas Gruesas Pardas».

La unidad está constituida por una alternancia de limos y arenas rojas, muy heterométricas y angulosas, que contienen cantos dispersos de rocas metamórficas. Los contenidos en matriz arcillosa son muy variables según los distintos tramos de la sucesión. La formación es fácilmente identificable en el campo por el color rojizo que presenta. Un corte de su parte superior se puede observar en los taludes producidos por el trazado de la carretera N-401, entre los kilómetros 62 y 67, en las proximidades de Toledo. Su potencia, en base a los datos de sondeos, se estima superior a los 400 metros. Una sucesión estratigráfica detallada de esta unidad ha sido descrita por GARCIA ROMERO (1988).



LEYENDA



- Q Terrazas, Gravas y arenas
- T-Q Formación "Arenas Gruesas Pardas"
- M₁ Formación "Arcillas Verdes"
- M₂ Formación "Arenas Gruesas Rojas"
- M₃ Formación "Arenas Finas con Sepiolita, Sílex y Carbonatos"
- M₄ Formación "Arcillas Rojas de La Sagra"
- M₅ Yesos

- Contacto normal
- - - Contacto discordante
- (A) Situación de columnas
- (SB) Situación de sondeos

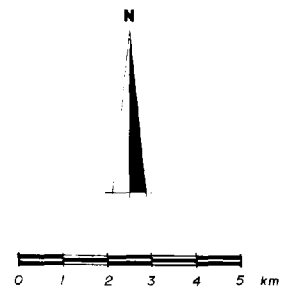
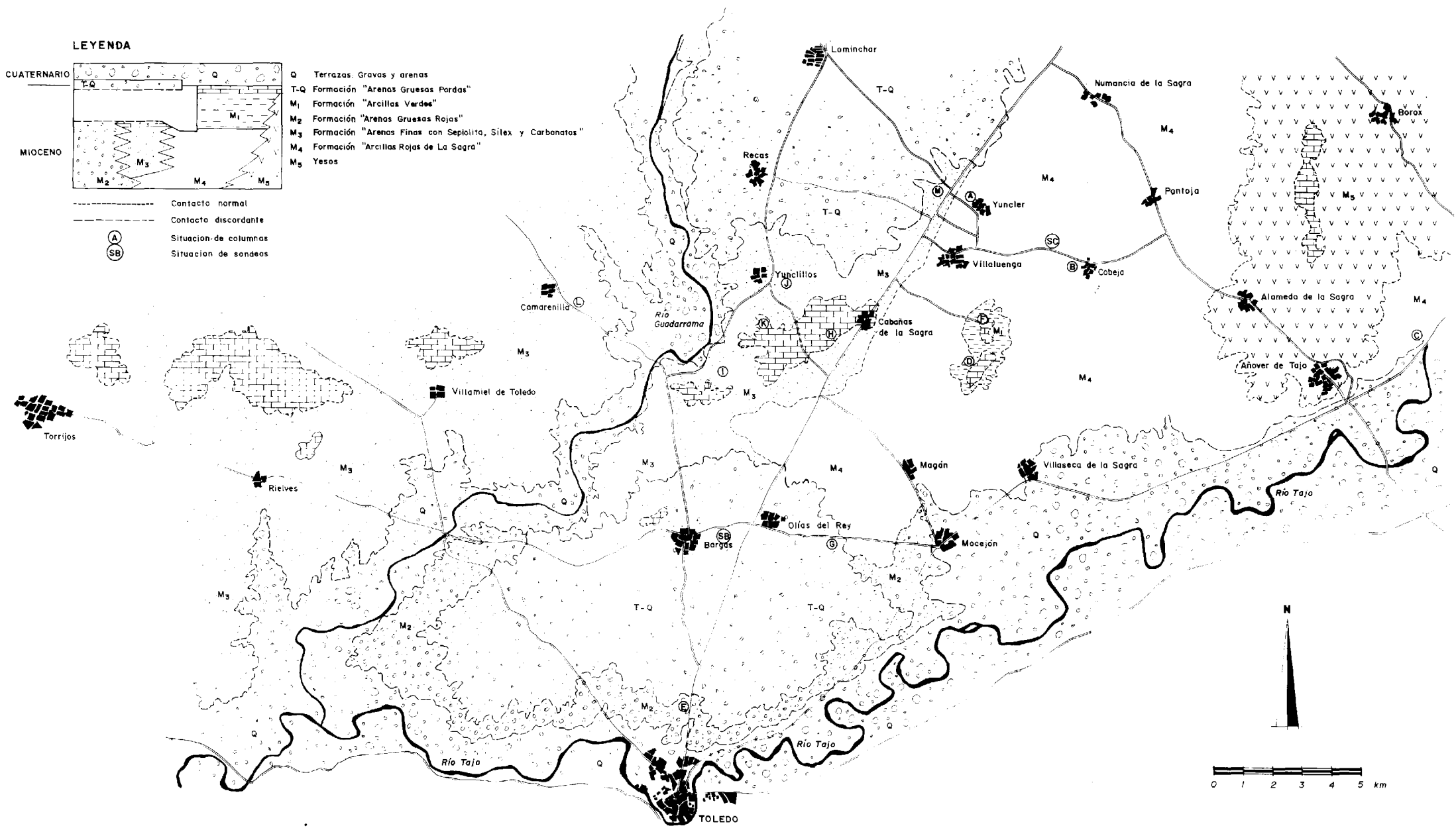


Figura 1.—Mapa litológico y de situación de columnas.

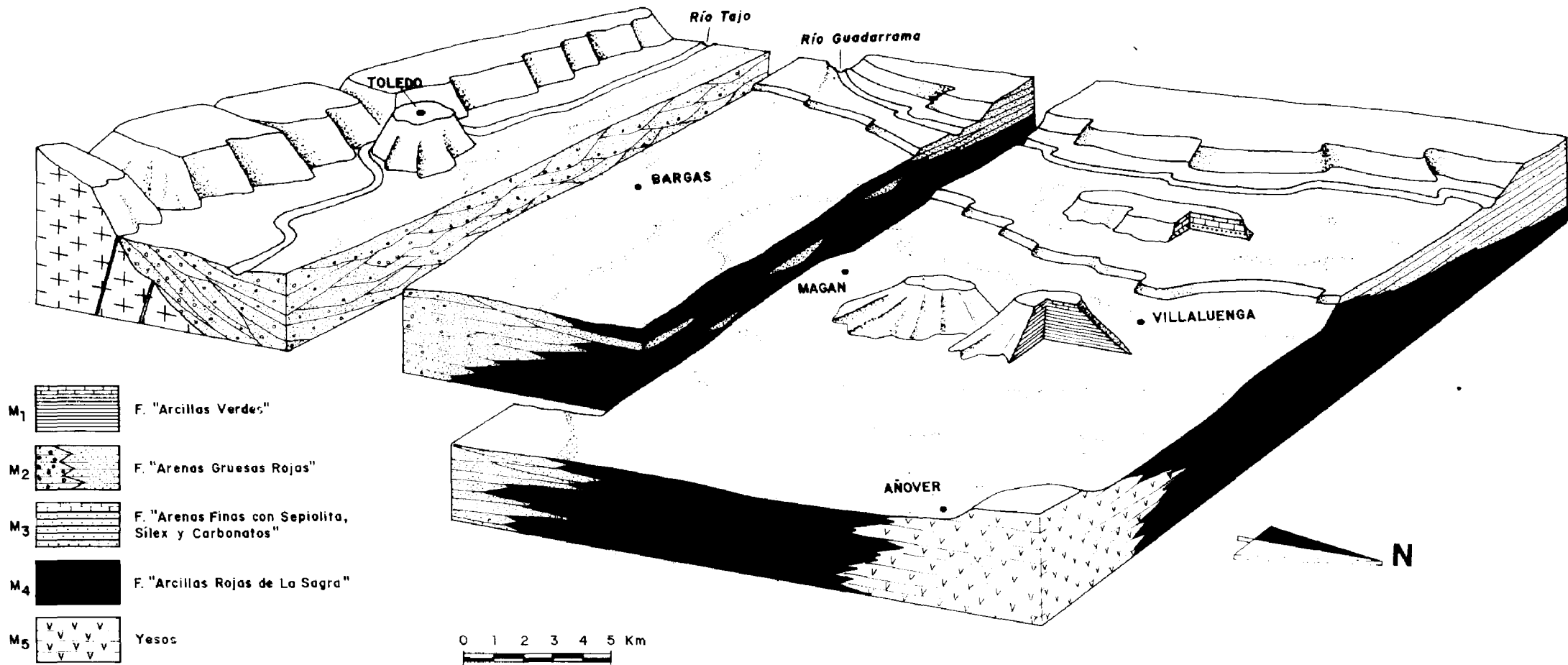


Figura 2.

La composición mineralógica global de esta unidad es muy variable (tabla I), estando constituida por cuarzo (5-40 por 100), feldespatos (indicios-35 por 100) y filosilicatos (25-85 por 100).

Los filosilicatos que forman la matriz arcillosa se distribuyen también entre márgenes muy amplios: esmectita dioctaédrica (40-80 por 100), illita (15-45 por 100), paligorskita (indicios-15 por 100) y caolinita (indicios-10 por 100). La composición química de la fracción < 2 micras muestra unos contenidos elevados en SiO₂ (45.95-49.55 por 100) y Al₂O₃ (17.98-22.32 por 100), así como menores cantidades de óxidos de hierro (5.03-4.51 por 100), magnesio (2.42-4.51 por 100) y potasio (1.7-3.52 por 100). Es interesante señalar que esta formación es la que presenta los contenidos más altos en alúmina de todas las estudiadas. Asimismo, cabe destacar la gran homogeneidad en su composición química, observándose únicamente un ligero aumento de los porcentajes de óxidos de aluminio y hierro en las muestras más profundas del sondeo.

«Formación de Arcillas Rojas de la Sagra»

Esta formación pasa lateralmente hacia el Sur a la unidad anteriormente descrita. Hacia el Este evoluciona, gradualmente, a los yesos del centro de la cuenca y hacia el Oeste a la «Formación de Arenas Finas con Sepiolita, Sílex y Carbonatos». En el extremo Sur de la zona se encuentra recubierta por la «Formación de Arenas Gruesas Pardas», mientras que en el sector noreste yace concordante sobre ella la «Formación de Arcillas Verdes».

En toda la región aflora por debajo de la cota 520-540 m., y se distingue en el campo por su carácter arcilloso y sus tonalidades rojizas. Un corte tipo de esta formación se puede observar en cualquiera de las canteras abiertas para la explotación de estas arcillas situadas próximas a las localidades de Yuncler, Cobeja o Pantoja. Su potencia visible es de unos 40 m., aunque su potencia estimada, en base a los datos de sondeos, excede los 300 metros.

Se han estudiado tres columnas litológicas y un sondeo pertenecientes a esta unidad. La situación de los mismos se indica en la figura 1. Su techo se encuentra situado en la cota de 540 m. (serie de Yuncler [A]), 512 m. (serie de Cobeja

[B]), 548 m. (serie de Añover de Tajo [C]) y 521 m. en el sondeo (SC). Las columnas presentan una potencia de 15, 11 y 38 m., respectivamente, mientras que el sondeo ha cortado 300 m. de sedimentos correspondientes a esta formación.

En conjunto, la unidad se encuentra constituida por una sucesión de lutitas de aspecto masivo, homogéneas, con bioturbación y tonalidades, en la mayoría de los casos, rojizas. En ella aparecen, ocasionalmente, intercalaciones de arenas micáceas finas, arcillas arenosas de color gris o niveles de yeso, que han permitido individualizar varias secuencias dentro de la formación (GARCIA ROMERO et al., 1988b). Estos sedimentos son la base de la industria cerámica de la región de La Sagra.

Los porcentajes de filosilicatos, en la muestra total, frecuentemente alcanzan el 90 por 100, y sólo en ocasiones descienden hasta el 60 por 100, frente a contenidos en cuarzo y feldespatos que raramente alcanzan el 15 por 100 del total. En las intercalaciones arenosas los porcentajes de filosilicatos descienden hasta el 40 por 100, aumentando los de cuarzo (10-50 por 100) y feldespatos (5-50 por 100). Asimismo, hay indicios de carbonatos en algunos de los niveles más arenosos. En las zonas más próximas al centro de cuenca, así como a partir de 165 metros de profundidad aparecen intercalaciones de yesos y anhidrita, con los que las arcillas de la Sagra se indentan. En las zonas más profundas del sondeo aparece de forma ocasional magnesita y celestina.

La illita es el filosilicato predominante (40-85 por 100) en las muestras de esta formación, acompañada de menores cantidades de esmectita (0-45 por 100), caolinita (5-25 por 100), paligorskita (indicios-15 por 100) y clorita (0-15 por 100) (tabla I). Asimismo, se encuentra un efecto a 13,38 Å, que pasa a 16,99 Å tras haber sido solvado con etilenglicol y permanecer a 12,28 Å después de sufrir calentamiento a 550° C durante dos horas, en la mayoría de las muestras estudiadas, este efecto ha sido interpretado como un intergrado en el sentido descrito por JACKSON (1963).

Se observa una acusada variación en la mineralogía de los filosilicatos de Este a Oeste, y también, aunque algo menos marcada, en la vertical.

TABLA I
Composición mineralógica cuantitativa

| | Composición mineralógica cuantitativa | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------------|-----|----|----|-----|----|----|----|-----|-----|----|-----|
| | Fl | Ft | Q | C | D | Y | I | Sm | K | Pgk | Sp | Cl |
| Formación de Arenas Gruesas Rojas | Máximo | 85 | 35 | 40 | 5 | 70 | — | 45 | 80 | 10 | 15 | — |
| | Mínimo | 25 | 1 | 5 | — | — | 15 | 40 | — | — | — | — |
| | Media | 55 | 15 | 25 | * | — | 30 | 55 | 5 | 5 | — | — |
| Formación de Arcillas Rojas de La Sagra | Máximo | 95 | 50 | 50 | 10 | 5 | 95 | 85 | 45 | 25 | 15 | 15 |
| | Mínimo | 40 | 1 | 1 | — | — | 40 | — | — | 5 | — | — |
| | Media | 80 | 5 | 10 | * | * | 65 | 15 | 15 | 5 | 5 | 5 |
| Formación de Arenas Finas con Sepiolita, Sílex y Carbonatos | Máximo | 100 | 20 | 20 | 100 | 65 | — | 70 | 100 | 10 | — | 100 |
| | Mínimo | 65 | — | — | — | — | 5 | — | — | — | — | — |
| | Media | 85 | 5 | 5 | * | * | 25 | 50 | * | — | * | — |
| Formación de Arcillas Verdes | Máximo | 60 | 55 | 35 | 5 | 5 | — | 80 | 50 | 5 | — | — |
| | Mínimo | 10 | 15 | 25 | — | — | — | 20 | — | — | — | — |
| | Media | 35 | 35 | 30 | * | * | 55 | 40 | * | — | — | — |
| Formación de Arenas Gruesas Pardas | Máximo | 100 | 25 | 15 | 100 | 95 | — | 65 | 80 | 5 | — | — |
| | Mínimo | 60 | — | — | — | — | 15 | 1 | — | — | — | — |
| | Media | 85 | 5 | 5 | * | * | 40 | 50 | 1 | — | * | — |
| Formación de Arenas Gruesas Pardas | Máximo | 65 | 60 | 50 | — | — | 65 | 50 | 5 | — | — | — |
| | Mínimo | 10 | 20 | 15 | — | — | 20 | 45 | 1 | — | — | — |
| | Media | 35 | 30 | 30 | — | — | 45 | 45 | 5 | — | — | — |
| Formación de Arenas Gruesas Pardas | Máximo | 85 | 25 | 35 | 5 | 65 | — | 55 | 75 | 10 | 5 | — |
| | Mínimo | 40 | 15 | 1 | — | — | 30 | 35 | 5 | — | * | — |
| | Media | 55 | 15 | 20 | * | * | 40 | 55 | 5 | 5 | — | — |

Media = Media aritmética obtenida a partir de todas las muestras. Fl = Filosilicatos. Ft = Feldespatos. Q = Cuarzo. C = Calcita. D = Dolomita. Y = Yeso. I = Illita. Sm = Esmectita. K = Caolinita. Pgk = Paligorskita. Sp = Sepiolita. Cl = Clorita. I = Indicios. * El mineral aparece únicamente en algunos niveles de la formación.

Estas variaciones consisten en una progresiva disminución de la esmectita hacia el centro de la cuenca, así como en profundidad, llegando a desaparecer casi totalmente en las proximidades de los yesos. Por el contrario, la illita aumenta su contenido hacia las zonas más próximas a las evaporitas. La clorita, que no aparece en la serie más occidental (serie de Yuncler), se encuentra en porcentajes reducidos en la serie de Cobeja y en el sondeo, aumentando en la serie más oriental, próxima a los yesos (serie de Añover de Tajo) y también en las zonas profundas del sondeo. La caolinita y la paligorskita no muestran variaciones significativas en toda la zona.

En todos los casos la reflexión (060) presenta dos efectos bien definidos en torno a 1,50 y 1,53 Å, indicando la coexistencia de minerales di- y trioctaédricos en la misma muestra.

Los análisis químicos realizados sobre la fracción arcillosa de las muestras de esta unidad indican que los elementos más abundantes son silicio, aluminio, hierro y magnesio. Cabe destacar que los porcentajes de SiO₂ (39.49-48.67) y MgO (4.07-16.17) se encuentran entre los más bajos encontrados en toda la zona; por el contrario, los de Al₂O₃ (15.05-21.44) se sitúan entre los más altos. También son destacables los contenidos en óxidos de hierro, con valores comprendidos entre 6.63 y 10.72.

«Formación de Arenas Finas, con Sepiolita, Sílex y Carbonatos»

Es la formación más occidental de las estudiadas. Limita con la «Formación de Arenas Gruesas Rojas» por el Sureste y con la «Formación de Arcillas Rojas de la Sagra» por el Este. En el extremo Norte de la zona se encuentra cubierta, en parte, por la «Formación de Arenas Gruesas Pardas», no siendo posible observar el tránsito entre ambas por encontrarse recubierto por los sedimentos cuaternarios del río Guadarrama.

Se han estudiado seis columnas litológicas de esta unidad. Su localización se indica en la figura 1. La cota topográfica de sus techos es serie H=556 m., serie I=547 m., serie J=540 m., serie K=543 m., serie L=536 m., y serie M=567 m., respectivamente, y la potencia que alcanzan, 4, 11, 4, 8, 22 y 17 m., respectivamente.

En conjunto la unidad está constituida por una alternancia de niveles arcillosos y limo-arenosos de tonalidades pardas. Los niveles lutíticos presentan un mayor desarrollo en las zonas más próximas al centro de la cuenca, mientras que hacia los bordes las facies dominantes son las limo-arenosas. La sucesión tipo se puede obtener en las canteras abiertas para la explotación de sepiolita situadas entre Cabañas de la Sagra y Yuncilllos, con coordenadas Lambert x=576,4, y=605,1 y z=556 m. En esta zona presenta una potencia visible próxima a los 50 metros.

Muchos niveles arcillosos están constituidos exclusivamente por sepiolita y esmectitas trioctaédricas. Las proporciones de ambas varían considerablemente (tabla I), tanto de unos tramos a otros como dentro de un mismo tramo. La sepiolita frecuentemente forma paquetes de elevada pureza de varios metros de potencia, si bien también hay niveles esmectíticos puros. Asociados a la sepiolita aparecen, generalmente, niveles carbonáticos, principalmente de dolomita y también silíceos, los cuales constituyen en muchos sectores el techo de la sucesión.

Los minerales que forman los tramos limo-arenosos son filosilicatos (30-85 por 100), cuarzo (5-40 por 100) y feldespatos (5-35 por 100), siendo la plagioclasa, fundamentalmente, el feldespato dominante. En algunos casos se encuentran indicios de carbonatos. Los minerales de la arcilla están constituidos por esmectitas (20-70 por 100), illita (30-80 por 100) y caolinita (indicios-10 por 100). Se observa que las mayores proporciones de esmectita se asocian a los tramos más arcillosos y las mayores de illita a los más arenosos, en los que también se encuentra caolinita. La reflexión (060) presenta dos efectos bien definidos en torno a 1,50 y 1,53 Å, mostrando la coexistencia de minerales di- y trioctaédricos.

Químicamente esta formación refleja una gran variabilidad composicional, marcada, principalmente, por los contenidos en óxidos de aluminio (1.7-21.23 por 100), hierro (0.9-9.68 por 100) y magnesio (4.69-25.4 por 100). Las mayores proporciones de óxidos de aluminio y hierro, así como las menores de magnesio corresponden a las arcillas de los tramos arenosos, donde la illita y las esmectitas di- y trioctaédricas son los minerales dominantes. Por el contrario, los mayores contenidos en óxidos de magnesio y menores en aluminio y hierro corresponde a los niveles arcillo-

sos, donde dominan la sepiolita y las esmectitas trioctaédricas.

«Formación de Arcillas Verdes»

Esta formación se encuentra ampliamente representada en la parte norte de la cuenca, sin embargo en la zona estudiada su presencia se reduce a los cerros testigos del Aguila y del Monte, próximos a las localidades de Cabañas de la Sagra y Villaluenga.

Su muro descansa sobre la cota de 540 m., alcanzando la formación una potencia de 60 m. La sucesión tipo, en este sector de la cuenca, se puede obtener en las canteras que la fábrica de cemento ASLAND tiene en explotación en el cerro del Aguila.

Se han estudiado dos columnas litológicas, levantadas en los mencionados cerros testigo (figura 1). La columna situada en el cerro del Aguila (serie F) tiene una potencia de 56 m.; su muro se sitúa en la cota de 586 m. En el cerro del Monte (serie D) se han estudiado 11 m. de columna, encontrándose su muro a 580 m.

La parte basal de la formación (serie del cerro del Monte y 25 m. inferiores del Cerro del Aguila) está constituida por una sucesión de niveles arcillosos de gran pureza, en los que generalmente los porcentajes de filosilicatos son siempre superiores al 90 por 100. Estos tramos están constituidos por esmectitas trioctaédricas y pequeñas proporciones de illita. Entre ellos se encuentran algunas intercalaciones de arenas micáceas de grano fino de potencia inferior a los 50 centímetros.

Los niveles arcillosos contienen frecuentemente nódulos blancos, más abundantes en las zonas próximas a su muro, constituidos por sepiolita. También se encuentran en algunas ocasiones niveles centimétricos irregulares de arcillas rosadas. Mineralógicamente, estos niveles rosados están formados, casi exclusivamente, por estevensita. Asimismo, en estos tramos aparecen indicios de clinoptilolita.

En los niveles con elevados contenidos en esmectitas la reflexión (060) se resuelve en forma de una ancha banda comprendida entre 1,50 y 1,53 Å. La presencia de reflexiones de este tipo es inter-

pretada por DESPRAIRES (1983) como debida a una población mineral de composición variable, pero ligada a un ambiente genético único. Lo que cabría interpretarse como el resultado de procesos de transformación entre minerales di- y trioctaédricos. La Microscopía Electrónica de Transmisión ha puesto de manifiesto en estos niveles la presencia de texturas «floc» y formas «latées», como las descritas por HOLTZAPFFEL y CHAMLEY (1986).

Las intercalaciones arenosas se hacen más potentes, y de mayor tamaño de grano, en los 22 m. superiores de columna, en donde la proporción de filosilicatos desciende, siendo, lógicamente, mayores los contenidos en cuarzo y feldespatos (15-50 por 100 y 20-60 por 100, respectivamente). A veces se encuentran indicios de carbonatos (tanto calcita como dolomita). Los filosilicatos de las intercalaciones arenosas son cualitativamente los mismos que constituyen los tramos arcillosos, si bien se observa un aumento en los porcentajes de illita y la aparición de pequeñas cantidades de caolinita (5 por 100). También se observa que las esmectitas adquieren un mayor carácter dioctaédrico.

Hacia el techo de la columna los niveles arenosos son sustituidos por niveles carbonáticos, quedando ésta constituida por una alternancia de niveles arcillosos y calcíticos en los tramos inferiores, y dolomíticos en la parte superior. Los filosilicatos dominantes, al igual que en el resto de la sucesión, son esmectitas, junto con menores cantidades de illita y pequeñas proporciones de caolinita, nunca superiores al 5 por 100.

Por último, los 18 metros superiores de la formación están constituidos por carbonatos silicificados, con finas intercalaciones arcillosas. Las silicificaciones son de naturaleza opalina (Opalo CT), con pequeñas cantidades de sílice amorfa (Opalo A). Las intercalaciones arcillosas están constituidas principalmente por sepiolita.

Los análisis químicos de la fracción <2 micras de las muestras de esta formación indican que los elementos más abundantes son silicio, con contenidos de SiO₂ entre 47.15 y 52.48 por 100, óxidos de aluminio con porcentajes entre 10.81 y 18.28 por 100 y porcentajes de óxidos de hierro comprendidos entre 4.28 y 9.52 por 100. Los contenidos en MgO varían entre 5.04 y 18.05 por 100. Hay que señalar que, en conjunto, esta formación

es la que presenta los contenidos más altos en sílice. Cabe destacar, asimismo, la acusada variación que se observa en los porcentajes de este óxido en los diferentes tramos de la columna. Los más elevados coinciden con las zonas más próximas al muro de la formación, donde las esmectitas son fundamentalmente trioctaédricas, y hacen acto de presencia sepiolita y estevensita, disminuyendo en los tramos más arenosos y presentando los porcentajes más bajos en el techo de la formación.

«Formación de Arenas Gruesas Pardas»

Esta formación se encuentra recubriendo parcialmente las formaciones anteriormente descritas, a excepción de las Arcillas Verdes. Aparece por encima de las cotas de 520-540 m., en forma de extenso manto que recubre, mediante una discordancia erosiva, las unidades neógenas que forman su muro. Un corte tipo de esta formación puede observarse en los taludes producidos por el trazado de la carretera N-401, entre los kilómetros 58 y 61, en sus proximidades a Olías del Rey. Su potencia se estima en unos 90 m.

Se ha estudiado esta formación en los 45 metros superiores del sondeo que atraviesa la «Formación de Arenas Gruesas Rojas» (sondeo SB), en la parte superior de la serie más occidental de la «Formación de Arenas Finas con Sepiolita, Sílex y Carbonatos» (serie M), en una columna próxima a Olías del Rey (serie G), y en muestras recogidas a lo largo del trazado de la carretera N-401.

Se trata de una formación terrígena con tamaño de grano grueso y con tonalidades pardas claras. «De visu» se diferencia de la «Formación de Arenas Gruesas Rojas», además de por el color, por la mejor clasificación y mayor esfericidad de sus granos, una descripción más detallada de las características de esta unidad ha sido realizada por GARCIA ROMERO (1988). Está constituida por filosilicatos (40-85 por 100), cuarzo (15-35 por 100) y feldespatos (15-25 por 100), acompañados de menores proporciones de carbonatos, tanto calcita como dolomita, en algunos niveles. Los filosilicatos están representados por esmectita (35-75 por 100), ilita (30-35 por 100), caolinita (5-10 por 100), y en algunas muestras también se encuentran pequeñas proporciones de paligorskita,

que nunca superan el 5 por 100 (tabla I). La reflexión (060) muestra la coexistencia de minerales di- y trioctaédricos.

Los porcentajes en óxidos de los elementos más abundantes de esta formación, determinados a partir de los análisis químicos de la fracción < 2 micras se distribuyen entre los valores siguientes: SiO₂=44.59-47.7 por 100; Al₂O₃=15.22-18.66 por 100; óxidos de hierro=4.25-5.92 por 100, y MgO=6.45-12.57 por 100.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Los resultados expuestos en el apartado anterior muestran la existencia de notables diferencias mineralógicas entre las formaciones neógenas situadas en el borde sur de la cuenca. Teniendo en cuenta el carácter intramontañoso de la Cuenca del Tajo, estas diferencias deben considerarse como el resultado de los distintos factores que han intervenido durante la sedimentación de estas unidades.

Clásicamente se considera que los minerales de la arcilla pueden tener distinto origen como respuesta a las diferentes condiciones del medio sedimentario, de la alteración del área fuente o durante la etapa diagenética (EBERL, 1984). Esta variabilidad en su génesis determina que la distinción entre arcillas detríticas, transformadas o autigénicas sea frecuentemente discutible. En líneas generales puede decirse que las condiciones climáticas áridas o semiáridas conducen a la formación de minerales de la arcilla constituidos principalmente por elementos solubles, como es el caso de las esmectitas, sepiolita o paligorskita; mientras que en condiciones de lixiviación intensa se favorece la formación de minerales constituidos por elementos poco móviles, como la caolinita o la gibbsita.

Los materiales de la «Formación de Arenas Gruesas Rojas» proceden directamente de la erosión de los Montes de Toledo, lo que queda puesto de manifiesto por la presencia de abundantes cantos de rocas metamórficas incluidos en ellos. Son sedimentos que han sufrido un transporte corto, puesto en evidencia por la angulosidad de sus granos de cuarzo y feldespato, así como por la mala clasificación que presentan. Sus características permiten considerarlos como sedimentos

depositados en las zonas proximales de los abanicos aluviales situados en el borde sur de la depresión y transportados por procesos «debris-flow» y de «stream-flow».

Los filosilicatos que constituyen esta formación, principalmente esmectita, junto con ilita subordinada, son el resultado de la alteración, en el área fuente, de feldespatos y micas, probablemente bajo un clima semiárido, siguiendo la evolución descrita por VELDE y MEUNIER (1987). Hay que considerar a la herencia como el principal proceso que ha intervenido en la génesis de los sedimentos de esta formación.

Esta unidad pasa lateralmente, hacia el interior de la cuenca, a la «Formación de Arcillas Rojas de la Sagra», con la que presenta una clara continuidad lateral. Los sedimentos que forman esta formación son principalmente lutitas constituidas por ilita como filosilicato mayoritario.

Las diferencias mineralógicas de esta unidad con respecto a la anterior, y en concreto su mayor contenido en ilita, ha sido interpretada por GARCIA ROMERO et al. (1988b) como debido a procesos diagenéticos que han transformado parte de la esmectita en ilita y clorita.

La posición de esta unidad en una zona más interna de la cuenca, con respecto a la «Formación de Arenas Gruesas Rojas», y sus características de sedimentos de «mud-flat» periférico a un núcleo salino (GARCIA ROMERO et al., 1988a), permiten clasificar estas transformaciones por efecto de la interacción sedimento/fase acuosa, tal como han descrito para otras cuencas SINGER y STOFFERS (1980).

Estas transformaciones se observan de forma mucho más acusada cuando se compara la composición mineralógica de estas unidades, con las que presentan las arcillas de las facies evaporíticas, descrita por DOVAL et al. (1985a), en las que los contenidos de ilita alcanzan porcentajes superiores al 90 por 100 en muchos casos.

No obstante, algunas semejanzas mineralógicas de los sedimentos de esta unidad, tales como la presencia de paligorskita, con los materiales paleógenos que actualmente afloran en algunos sectores del borde de la cuenca, no excluyen la posibilidad de que parte de los aportes provengan del desmantelamiento de materiales de esta edad; aunque el origen diagenético de la paligors-

kita en medios similares ha sido descrito en muchas regiones (CALLEN, 1984).

Hacia el Oeste de la zona estudiada, y en continuidad con las «Arcillas Rojas de la Sagra», se encuentra la «Formación de Arenas Finas con Sepiolita, Sílex y Carbonatos». Esta unidad, constituida principalmente por sedimentos terrígenos de origen ígneo, puede seguirse hasta zonas muy próximas al borde noroccidental de la cuenca, en donde debía situarse su área fuente.

El medio de sedimentación de estos materiales, en la zona estudiada, corresponden a las partes más distales de un sistema de abanicos aluviales que se desarrolló en dicho borde. La zona debía constituir una amplia llanura detrítica que, a modo de «sand-flats», tenía una sedimentación bajo una lámina de agua poco profunda que podía llegar a desaparecer temporalmente.

La composición litológica de esta facies es comparable a la que presenta en la zona norte de la cuenca la denominada «Unidad de Arcosas» descrita por DOVAL et al. (1985b) y BRELL et al. (1985), resultado de la alteración, en un clima semiárido, de los materiales hercínicos del Sistema Central, según el modelo descrito por THOMPSON et al. (1982) y por VELDE y MEUNIER (1987). Al igual que en la «Unidad de Arcosas» en las zonas más distales se encuentran intercaladas entre los sedimentos terrígenos niveles lenticulares de sepiolita que son explotados en algunos puntos, los cuales se encuentran asociados a esmectitas magnésicas, rocas carbonáticas o rocas silíceas, según los sectores. Los niveles de sepiolita, asociados a las facies detríticas feldespáticas, son el resultado de un proceso de precipitación química en surcos desarrollados sobre el «sand-flat», en donde, ya sea por la permeabilidad de las arenas, o por la interrupción temporal de los aportes detríticos, la neoformación podía realizarse preservada de las avalanchas terrígenas.

La sepiolita es un mineral cuya formación está frecuentemente relacionada con medios lacustres básicos de zonas áridas (PAPKE, 1972; TRAUTH, 1977; CALLEN, 1984, etc.), aunque, a diferencia de las esmectitas magnesianas, no se requieren concentraciones iónicas muy elevadas, sino una alta relación Si/Mg. Las condiciones climáticas para su génesis son, pues, prácticamente las mismas que las que reflejan las fa-

cies terrígenas asociadas en las que se encuentran.

Sobre la «Formación de Arcillas Rojas de la Sagra», y en total continuidad, se encuentra la «Formación de Arcillas Verdes». Esta unidad, de naturaleza principalmente lutítica, tiene como filosilicatos mayoritarios esmectitas magnesianas de composición saponítica. Sus características sedimentológicas son las propias de una facies de «mud-flat» depositada en los márgenes del núcleo evaporítico de la cuenca; ocupando la misma situación que las «Arcillas Rojas de la Sagra», pero en posición estratigráfica superior. Sus características deposicionales reflejan unas condiciones de baja energía, con aportes detríticos muy finos, debido, probablemente, a un aumento temporal de las condiciones de aridez, ya que su formación coincide con una etapa de expansión de las facies evaporíticas hacia los bordes de la cuenca.

Estos cambios climáticos debieron influir en las condiciones químicas de la cuenca, reflejándose en la mineralogía de los sedimentos lutíticos en los que se observa un considerable aumento en los contenidos en magnesio.

En estas condiciones, el origen de las esmectitas magnesianas puede ser debido tanto a un proceso de neoformación como a partir de la transformación de partículas muy finas de esmectitas aluminicas por interacción con el magnesio del medio como ha descrito DYNI (1976).

Las investigaciones realizadas en sedimentos lacustres de zonas áridas de edad más reciente, como los realizados en el lago Abert (Oregón) por JONES y WEIR (1983) o en el Great Salt Lake (Utah) por SPENCER (1982), confirman el carácter más magnésico de las arcillas hacia el centro de la cuenca, a medida que aumentan las condiciones de salinidad.

Por otra parte, la formación de esmectitas magnesianas en facies evaporíticas ha sido también descrita por HAY et al. (1986), en el desierto de Amargosa (Nevada). A partir de los estudios realizados en medios salinos, JONES (1986) considera que la autigénesis de minerales de la arcilla en ambientes lacustres se produce, fundamentalmente, por transformación diagenética de fases preexistentes, en lugar de formarse por procesos de precipitación química directa.

La Microscopía Electrónica de Transmisión ha puesto de manifiesto en las esmectitas de la base de esta unidad la existencia de texturas «floc» y formas «latées». HOLTZAPFELL y CHAMLEY (1985) atribuyen a estas formas un origen por recristalización diagenética de arcillas detríticas; considerando estas transformaciones como debidas a la interacción de las aguas intersticiales con los sedimentos arcillosos con textura porosa y poco permeable, depositados principalmente por procesos de floculación.

Esta interpretación aporta un dato más a favor de la hipótesis del origen por transformación diagenética de las esmectitas de esta unidad. La sepiolita que aparece en forma de pequeños nódulos, en algunos niveles de la base de esta formación, debe ser, a nuestro juicio, considerada como secundaria, y formada por disolución-precipitación de las esmectitas magnesianas preexistentes.

El techo de la «Formación de Arcillas Verdes» está formado por una alternancia de lutitas, arenas y carbonatos, que ocupan la posición estratigráfica más alta de la zona estudiada. El aumento de terrígenos, así como la disminución de esmectita y aumento de illita en estos sedimentos indican un nuevo cambio en las condiciones de sedimentación debido a una disminución de la aridez. Las condiciones de mayor humedad determinan una disminución de la salinidad, interrumpiéndose las condiciones químicas que favorecían la formación de arcillas magnesianas, a la vez que se favorece la formación de los niveles carbonatados.

Por último, la «Formación de Arenas Gruesas Pardas», tanto por su posición estratigráfica como por recubrir una importante cicatriz erosiva, representa una unidad depositada en una etapa posterior a las demás. Sus características sedimentológicas, de depósitos detríticos no canalizados y bastante heterométricos, permiten compararla a algunas facies de edad fini-terciaria que se encuentran frecuentemente en muchas áreas del Macizo Ibérico.

Su composición mineralógica parece indicar que esta unidad se ha originado principalmente a expensas de otras formaciones neógenas de la Cuenca, junto con materiales provenientes de las áreas fuente de sus bordes.

CONCLUSIONES

Las unidades neógenas reconocidas en la región de La Sagra pueden ser caracterizadas por la distinta composición mineralógica que presenta su fracción arcillosa. Teniendo en cuenta el carácter endorreico que clásicamente se le asigna a la cuenca del Tajo, las variaciones observadas deben ser atribuidas a las diferencias petrológicas de las respectivas áreas fuente, así como a los distintos procesos de transformación y neoformación que han tenido lugar en el medio de depósito de las distintas formaciones.

Las formaciones de carácter más terrígeno, como la «Formación de Arenas Gruesas Rojas» y la «Formación de Arenas Gruesas Pardas», presentan una composición mineralógica debida principalmente a los procesos de herencia de los productos de alteración del área fuente.

La «Formación de Arcillas Finas con Sepiolita, Sílex y Carbonatos» presenta también, en conjunto, una composición mineralógica debida a los procesos de herencia; hay que exceptuar los niveles de sepiolita y ópalo que deben ser considerados como depósitos autigénicos.

Por último, las dos unidades detríticas más finas, la «Formación de Arcillas Rojas de La Sagra» y la «Formación de Arcillas Verdes», que ocupan una posición más interna en la cuenca, presentan una composición mineralógica debida principalmente a los procesos de transformación y neoformación.

En la primera de ellas, clorita, paligorskita y parte de los contenidos en illita deben ser considerados como originados por transformación de esmectitas durante las primeras etapas diagenéticas. Los porcentajes de estos minerales presentan un aumento hacia el centro de la cuenca, en detrimento de los contenidos en esmectitas, mostrando una mayor intensidad de las transformaciones hacia las partes más internas.

En la génesis de los sedimentos que constituyen la «Formación de Arcillas Verdes» los procesos de transformación adquieren un papel primordial. Su importancia queda reflejada por las altas proporciones de esmectitas magnesianas que aparecen en ella. Este filosilicato, que no se encuentra en los materiales que forman el área fuente de la cuenca, debe tener su origen en la transformación de esmectitas aluminicas por interac-

ción con el magnesio del medio. Aunque este mineral puede tener un origen por neoformación, la presencia de contenidos elevados de esmectitas aluminicas en las demás formaciones apoyan la hipótesis de su origen por transformación de fases esmectíticas preexistentes.

Los procesos de autigénesis quedan probablemente limitados en esta unidad a la formación de pequeños nódulos de sepiolita por disolución-precipitación de esmectitas magnesianas, durante una etapa muy posterior.

La distribución espacial de las distintas fases minerales, con altos contenidos en magnesio, encontradas en esta región, confirman la hipótesis propuesta por JONES (1986) y STOESSEL (1988). Según estos autores en los medios salinos con elevada alcalinidad las arcillas magnesianas con estructura laminar son más estables que las arcillas con estructura fibrosa, requiriendo estas últimas para su neoformación ambientes menos alcalinos y concentraciones relativamente más bajas en magnesio. Por este motivo, y de la misma forma que ocurre en la zona norte de la cuenca del Tajo, los niveles de sepiolita se encuentran en facies más detríticas y más próximas a los bordes, a diferencia de las facies con esmectitas magnesianas que ocupan posiciones más centrales.

REFERENCIAS

- BRELL, J. M.; DOVAL, M., and CARAMES, M. (1985): *Clay Minerals Distribution in the evaporitic Miocene Sediments of the Tajo Basin, Spain*. Miner. Petrog. Acta, 29-A, 267-276.
- CALLEN, R. A. (1984): *Clays of the palygorskite-sepiolite group: depositional environment, age and distribution*. In: *Sepiolite palygorskite: Occurrences, Genesis and Uses*. Elsevier, 1-36.
- DOVAL, M.; GARCIA SANTIAGO, P.; DOMINGUEZ DIAZ, M. C., y BRELL, J. M. (1985a): *Mineralogía de las arcillas de las facies evaporíticas de la Cuenca del Tajo*. Trabajos de Geología. Univ. de Oviedo, 15, 267-274.
- DOVAL, M.; DOMINGUEZ DIAZ, M. C.; BRELL, J. M., y GARCIA ROMERO, E. (1985b): *Mineralogía y sedimentología de las facies distales del borde norte de la cuenca del Tajo*. Bol. Soc. Española de Mineralogía, 8, 257-269.
- DYNI, J. R. (1976): *Trioctahedral smectite in the Green River Formation, Duchesne County, Utah, U.S.* Geol. Surv. Prof. Pap., 967, 1-14.

- EBERL, D. D. (1984): *Clay mineral formation and transformation in rock and soils*. In: *Clay Minerals: Their structure behaviour and use*. Philosophical Transactions of the Royal Society, 21-25.
- GARCIA ROMERO, E. (1988): *Estudio mineralógico y estratigráfico de las arcillas de las facies centrales del Neógeno del borde sur de la Cuenca del Tajo*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense Madrid.
- GARCIA ROMERO, E.; BRELL, J. M.; DOVAL, M., y PERRUCHOT, A. (1988a): *Características y evolución de la sedimentación neógena en la región de La Sagra (Cuenca del Tajo)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.), 84 (1-2), 85-99.
- GARCIA ROMERO, E.; DOVAL, M.; BRELL, J. M., y PERRUCHOT, A. (1988b): *Procesos diagenéticos en las arcillas de la región de La Sagra (Cuenca del Tajo)*. Boletín Geológico y Minero, t. XCIX-VI, 958-974.
- HAY, R. L.; PEXTON, R. E.; TEAGUE, T. T., and KYSER, T. K. (1986): *Spring-related carbonate rocks, Mg-clays and associated minerals in Pliocene deposits of the Amargosa Desert, Nevada and California*. Geol. Sol. Amer. Bull., 97, 1488-1503.
- HOLTZAPFFEL, T., et CHAMLEY, H. (1986): *Les smectites latees du domaine atlantique depuis le Jurassique Supérieur: Gisement et Signification*. Clay Minerals, 21, 133-148.
- JACKSON, M. L. (1963): *Interlayering of expansible layer silicates in soils by chemical weathering*. Clays and Clay Minerals, 11, 29-46.
- JONES, B. F. (1986): *Clay minerals diagenesis in lacustrine sediments*. Proc. Diagenesis Workshop. U.S. Geol. Survey Bulletin.
- JONES, B. F., and WEIR, A. (1983): *Clay minerals of Lake Abert, an alkaline, saline lake*. Clays and Clay minerals, 31, 161-172.
- PAPKE, K. (1972): *A sepiolite rich playa deposit in southern Nevada*. Clay and Clay Minerals, 20, 211-215.
- SINGER, A., and STOFFERS, P. (1980): *Clay minerals diagenesis in two east african lake sediments*. Clay Minerals, 15, 303-326.
- SPENCER, R. J. (1982): *The geochemical evolution of Great Salt Lake*. Ph. D. Thesis. Univ. Johns Hopkins. Baltimore, USA, 308 pp.
- THOMSON, G. R.; FIELDS, R. W., and ALT, D. (1982): *Land-based evidence for Tertiary climatic variations: Northern Rockies*. Geology, 10, 413-417.
- TRAUTH, N. (1977): *Argiles évaporitiques dans la sédimentation carbonatée continentale et epicontale tertiaire*. Sci. Geol. Mem., 49, 189 pp.
- VELDE, G., and MEUNIER, A. (1987): *Petrologic phase equilibria in natural clay system*. In: *Chemistry of clays and clay minerals*. Mineralogical Soc. Monograph G, 423-429.

Original recibido: Enero de 1990.

Original aceptado: Septiembre de 1990.