

MINERALOGIA DE LOS MATERIALES TERCIARIOS DEL AREA DE TARAZONA BORJA-ABLITAS (DEPRESION DEL EBRO)

I. González (*) y E. Galán (**)

RESUMEN

En este área coinciden varias formaciones de interés regional, que abarcan desde el Aquitaniense al Pontiano. El estudio mineralógico y, en especial, la mineralogía de arcillas, ha permitido caracterizar las distintas facies, estableciendo la naturaleza y situación del área fuente —materiales pelíticos ricos en moscovita del paleozoico de la Sierra del Moncayo—, la degradación y transformación a illita y esmectitas dioctaédricas de estos filosilicatos, y la sedimentación fluvio-lacustre de minerales heredados y autigénicos bajo clima semiárido. La sedimentación química, carbonatada y yesífera, fue predominante, formándose, además, saponita, sepiolita y sílex en condiciones alcalinas.

PALABRAS CLAVE: Mineralogía de arcillas, Terciario, Depresión del Ebro, España.

ABSTRACT

Several lithostratigraphic units of local interest, ranging in age from the Middle Vindobonian to the Pontian, occur in this area of the Ebro basin. The mineralogical study, and particularly the clay mineral interpretation, has led to characterize the different units and locate the source area (Paleozoic muscovite-rich materials of the Sierra del Moncayo). Muscovite was degraded to illite and Al-smectites, and a fluvial and lacustrine sedimentation occurred under a semi-arid climate. Chemical sedimentation (carbonate, gypsum) was prevalent, and saponite, sepiolite and chert were also formed in this environment.

KEY WORDS: Clay minerals, Tertiary, Ebro basin, Spain.

Introducción

La zona estudiada está situada al noroeste de la provincia de Zaragoza en el borde meridional de la Depresión del Ebro, comprendiendo los términos municipales de Tarazona, Magallón, Borja, Ablitas, Monteagudo y Vierlas (fig. 1). Está encuadrada dentro de las hojas números 320 y 321 del M.T.N. a escala 1:50.000.

En este sector sólo aparecen representados los materiales terciarios miocenos, que están afectados por plegamientos de gran radio, dando como resultado buzamientos de 2.º o 3.º al sur.

Las litofacies presentes están constituidas por materiales detríticos, hacia el borde de la cuenca ("Formación Cascante", "Fm. Fitero"), materiales detríticos carbonatados, en posición intermedia ("Serie de

Transición", "Fm. Tudela", "Fm. Alfaro") y una facies central de tipo químico, carbonatada y yesífera ("Calizas de la Muela" y "Yesos de Monteagudo").

La geología de este área ha sido descrita de forma general por diversos autores, entre ellos se puede citar a Sáenz García (1942), Solé Sabarís (1954), García Amorena (1971), etc. La estratigrafía de la región ha sido estudiada recientemente por Castiella (1977) y Villena (1979). Los datos paleontológicos de interés estratigráfico son muy escasos hasta la fecha, quizá debido a la escasez de fauna encontrada. Lacarra (1920) descubrió en Monteagudo un yacimiento de vertebrados al que Ruiz de Gaona *et al.* (1946), y posteriormente Crusafont *et al.* (1966), le atribuyen una edad Vindoboniense superior.

Astibia *et al.* (1981) estudian un nuevo yacimiento de vertebrados encontrado en Tarazona que data el

(*) Departamento de Cristalografía y Mineralogía. F. Ciencias. Universidad de Zaragoza.
(**) Departamento de Geología. F. Químicas. Universidad de Sevilla.

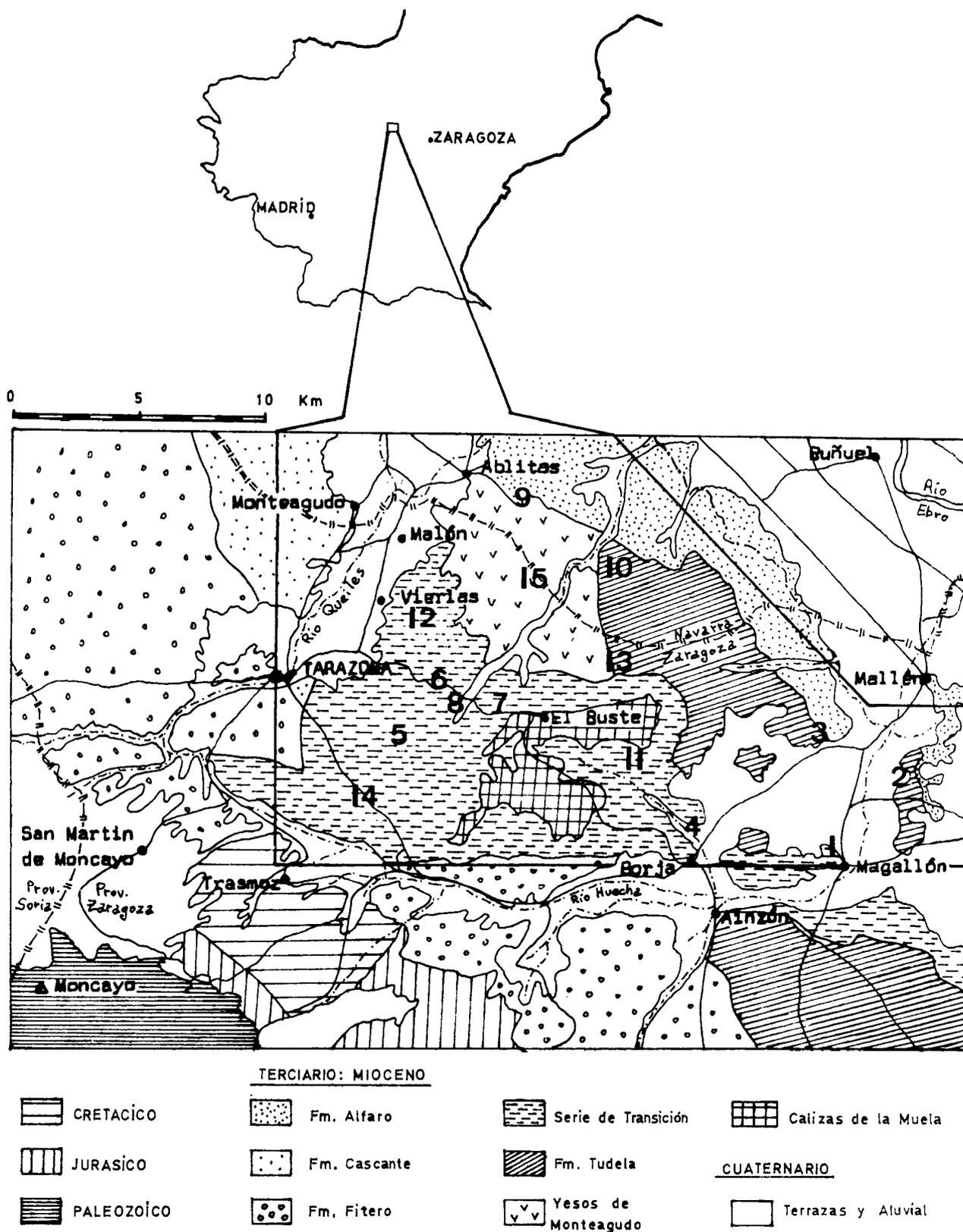


Fig. 1.—Esquema de situación: 1. Perfil del Basurero de Magallón; 2. Perfil de El Burrén; 3. Perfil de El Morredón; 4. Perfil de La Cogollota; 5. Perfil del Yacimiento; 6. Perfil del Basurero; 7. Perfil de Los Pedernales; 8. Perfil del Barranco del Corral; 9. Perfil de El Portillo; 10. Perfil de Canteras de yeso-Barranco del Tollo; 11. Perfil de Cagabueyes (Borja); 12. Perfil del Especial (Vierlas); 13. Perfil del Barranco del Tollo; 14. Perfil de Lanzas Agudas; 15. Perfil del Prado Palomar.

nivel más bajo del área estudiada como Vindoboniense medio-superior. El resto de los hallazgos fósiles corresponden a fauna de gasterópodos, que abarcan una edad Vindoboniense superior-Pontiense.

Pinilla (1968-1969), Quirantes (1969), Alonso y Galván (1961), Alonso (1970) y Huertas *et al* (1974) han aportado algunos datos mineralógicos y petrográficos sobre las rocas detríticas y carbonatadas en este área. En todos los casos se trata de estudios mineralógicos sobre un número de muestras insuficientes para poder establecer relaciones entre ellas y conclusiones genéticas regionales, aunque en algunos casos se ha intentado.

El presente trabajo, de índole fundamentalmente mineralógica, tiene como objeto determinar la naturaleza de los materiales presentes en la zona antes descrita, sus posibles correlaciones litoestratigráficas y las condiciones de formación en base fundamentalmente a minerales de la arcilla.

Materiales y métodos

Los materiales estudiados pertenecen a cinco de las formaciones descritas por Castiella (1977) y Villena (1979), para el sector central de la cuenca del Ebro, concretamente a la "Fm. Alfaro" (Aquitaniense-Vindoboniense), "Fm. Tudela", "Yesos de Monteagudo", "Serie de Transición" (Vindoboniense-Pontiense) y "Calizas de la Muela" (Pontiense).

Se han establecido 15 columnas litoestratigráficas (fig. 1) y se han tomado 125 muestras representativas de los distintos niveles reconocidos en el campo.

La "Fm. Alfaro" se dispone en una banda de dirección NW-SE y está integrada por arcillas y limos rojos con intercalaciones de areniscas. Aparece hacia la base de los "Yesos de Monteagudo" y de la "Fm. Tudela", con las que cambia lateral y verticalmente de facies. Su potencia aproximada es de 7 a 10 metros. Se han tomado 10 muestras.

La "Fm. Tudela" queda restringida a la zona centro-oriental del área, pudiéndose diferenciar en ella dos tramos: uno basal, fundamentalmente carbonatado, integrado por calizas blancas con intercalaciones arcillosas de poca potencia, y un tramo superior, rojizo, fundamentalmente arcilloso. La potencia en la zona varía de 10 a 90 metros. Cambia lateralmente de facies con la "Fm. Alfaro" y la "Serie de Transición". El número de muestras recogido ha sido de 41.

Los "Yesos de Monteagudo" están representados en todos sus tramos por niveles de yesos de diferentes texturas, caracterizándose, además, por la presencia de nódulos de sílex. Hacia el oeste cambia lateralmente de facies con la "Serie de Transición" y hacia el norte y este con la "Fm. Alfaro". La potencia oscila entre 3-35 metros, y se han tomado 11 muestras.

La "Serie de Transición" ocupa la mayor parte del área estudiada, presentando notables cambios de facies. En la zona centro-occidental se observa la alternancia de areniscas, arenas, calizas y margas que parece responder a pequeños ciclos sedimentarios que se inician con episodios detríticos y culminan con carbonatados, que incluyen nódulos de sílex. Estos ciclos sedimentarios quedan interrumpidos hacia el centro de la cuenca por un nivel muy potente de margas yesíferas y arenas. El contenido en detríticos aumenta hacia el oeste, siendo, por el contrario, mayor el contenido en carbonatos hacia el este. Cambia lateralmente de facies con la "Fm. Tudela", y su potencia oscila entre 42-100 metros. Se han recogido 62 muestras.

Las "Calizas de la Muela" están constituidas por carbonatos exclusivamente y se encuentran culminando los materiales miocenos, con una potencia de 61-63 metros.

Con los datos de campo se ha elaborado un diagrama de correlación de facies (fig. 2) en el que quedan patentes las descripciones y observaciones antes apuntadas.

Para la caracterización de los materiales descritos se ha determinado su composición granulométrica y mineralógica.

El análisis granulométrico se ha realizado a todas las muestras detríticas, utilizando el sistema de tamices y la pipeta de Robinson.

Los resultados se han distribuido en tres conjuntos: $> 60\mu$ (arenas) < 60 y $> 2\mu$ (limos) y $< 2\mu$ (arcillas), porque, en general, los porcentajes de fracciones mayores de 60μ son muy escasos y no parecía necesario establecer subdivisiones entre ellos.

Con los datos obtenidos se realizaron curvas acumulativas de las que se dedujeron los valores de Q_1 , Q_2 , Q_5 , P_{10} , y P_{90} . A partir de estos datos se han calculado los índices de Shorting, Asimetría y Kurtosis.

Para tratar de dar una visión de conjunto de las formaciones mejor representadas, se realizaron histogramas de frecuencia para la "Fm. Alfaro", "Fm. Tudela" y "Serie de Transición".

La composición mineralógica global de todas las muestras se ha determinado por difracción de rayos-X (DRX) mediante el método de polvo. Las muestras consistentes (rocas calcáreas y margosas) han sido también estudiadas en lámina delgada con el microscopio de polarización.

La fracción menor de 2μ se ha estudiado también por DRX sobre agregado orientado de polvo (A.O.). Cuando la complejidad de la muestra lo exigía se realizaron tratamientos térmicos a 550°C durante dos horas y tratamientos con líquidos orgánicos (etilenglicol y dimetilsulfoxido) en agregado orientado, siguiendo las técnicas habituales de preparación.

A partir de los difractogramas se ha realizado una estimación semicuantitativa de las fases cristalinas utilizando los métodos y resultados de Schultz (1964), Biscaye (1965), Martín Pozas (1968), Huertas (1969), Galán y Espinosa (1974), Barahona (1974) y Ortega (1978).

Los valores se han aproximado hasta la unidad, aunque es bien conocido que el error del método es bastante superior (a veces hasta el 10% del valor expresado).

Para obtener información de la composición química de la illita se ha medido la relación de intensidades I_{002}/I_{001} para relacionarlas con la proporción de $\text{Al}^{\text{VI}}/\text{Fe}^{\text{VI}} + \text{Mg}^{\text{VI}}$ según indica Klingebiel y Latouche (1962) y Esquevin (1969). A partir del valor d_{001} se ha calculado: el contenido en Si^{IV} y Al^{IV} mediante la expresión $d_{001} \text{ \AA} = -0,043 \text{ Si}^{\text{IV}} + 10,56$ (Ernst, 1963; Velde, 1967; Kodama *et al.*, 1971), y el grado de paragonitización, según Evans y Guidotti (1966). Como parámetros de cristalinidad para la illita se han usado los índices de Kubler (Kubler, 1968) y el de Weaver (Weaver, 1960). El tamaño según el eje c se calculó de acuerdo con la ecuación de Scherrer (Cullity, 1964).

Para completar el estudio de la composición química de la mica se calculó el valor de b_0 , para medir la fengitización de acuerdo con las ecuaciones propuestas por Martín Ramos (1976).

Para conocer el tipo de esmectita se ha utilizado el tratamiento propuesto por Green Kelly (1953). Como parámetro de cristalinidad se ha usado el índice de Biscaye (Biscaye, 1965).

El politipo de la clorita y su composición química no se ha podido determinar por DRX debido a que los porcentajes en las muestras eran demasiado pequeños para poder establecer esta valoración. Respecto a la caolinita, y por idénticos motivos de escasez, tampoco se ha podido determinar el politipo.

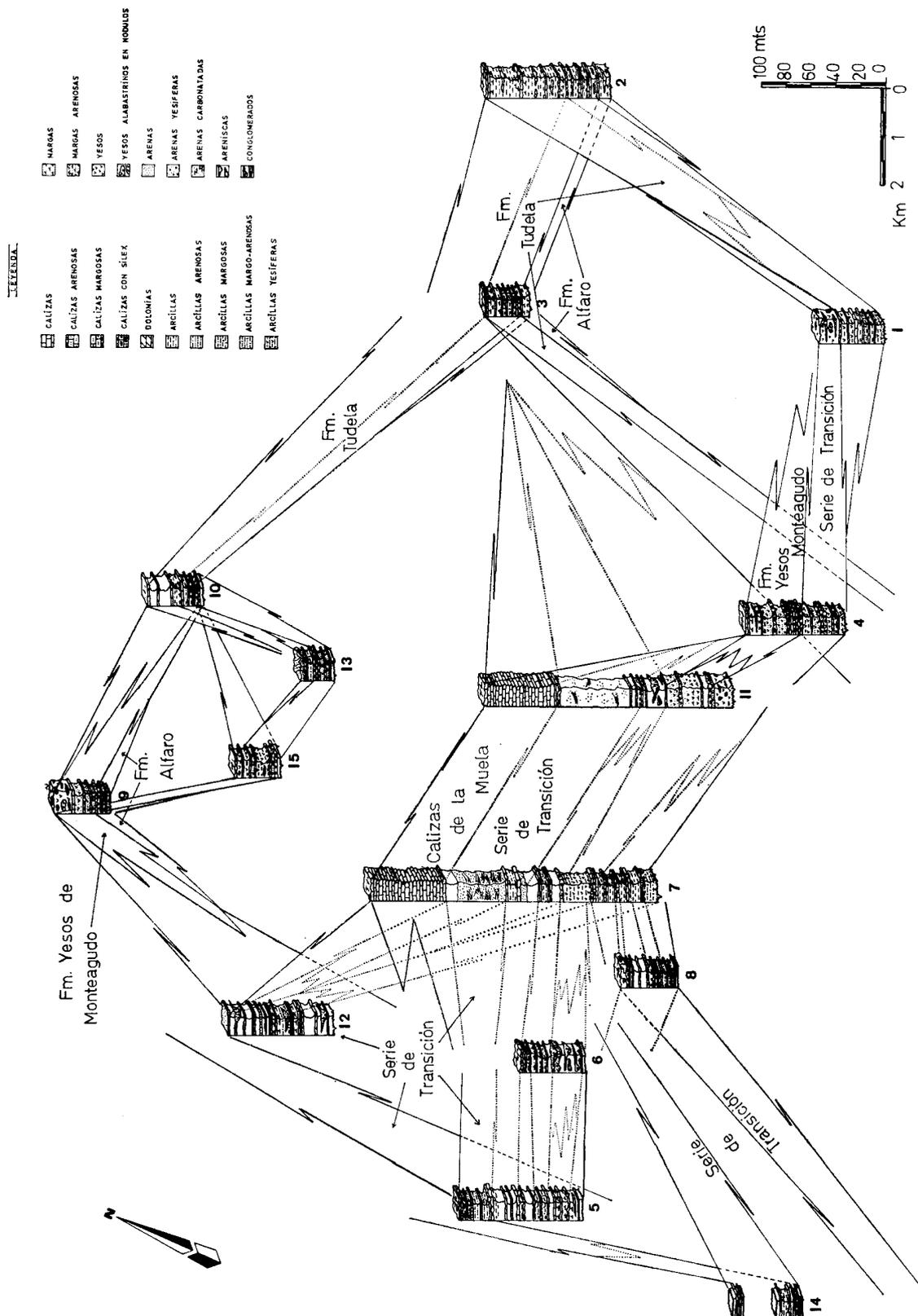


Fig. 2.—Diagrama de correlación de facies.

Resultados

Los resultados del *análisis granulométrico* para las diferentes columnas se encuentra reflejado en la tabla 1. En los histogramas de frecuencia realizados para la "Fm. Alfaro", "Fm. Tudela" y "Serie de Transición"

(fig. 3), observamos que la fracción arena es muy escasa en todas ellas, siendo menor que un 10% para la "Fm. Alfaro" y "Fm. Tudela", y menor de un 20% en la "Serie de Transición".

La fracción limo es predominante en las tres formaciones, presentando el 80% de las muestras un contenido en esta fracción comprendido entre un 40 y un 80%. La fracción arcilla varía de un 20 a un 70%, siendo más abundante en la "Fm. Alfaro".

En general, predomina la mala clasificación granulométrica y hay una tendencia a aumentar la simetría hacia tamaños más finos.

La *composición mineralógica* global de cada columna se expresa en la tabla 2. En conjunto, se trata de una provincia mineralógica caracterizada por la abundancia de carbonatos (esencialmente calcita) y filosilicatos, con algo de yeso, dominante ocasionalmente ("Yesos de Monteagudo"), y por la escasez de cuarzo y feldespatos. Esta composición global es representativa de la "Fm. Alfaro", "Fm. Tudela" y "Serie de Transición". La presencia de dolomita puede ser un aspecto diferenciante entre ellas, porque es constante en la "Fm. Alfaro", frecuente en la "Fm. Tudela", y sólo ocasional y minoritaria en la "Serie de Transición".

En el paso de la "Serie de Transición" a los "Yesos de Monteagudo", se sustituyen los carbonatos por yeso, que es el mineral más abundante, produciéndose también un descenso de la abundancia de filosilicatos.

Las "Calizas de la Muela" están constituidas ex-

TABLA 1

Composición granulométrica media de las columnas

Columna	> 60 μ	60 - 20 μ	< 2 μ
1	4	62	34
2	1	66	33
3	tr	43	56
4	32	67	1
5	10	59	31
6	5	60	35
7	20	54	26
8	5	85	10
9	2	48	50
10	11	74	15
11	21	43	36
12	14	48	38
13	43	49	8
14	9	58	33
Media	12	59	29
Rango	0-89	9-97	1-72

TABLA 2

Composición mineralógica media de las columnas

Columna	Cuarzo	Feldespatos	Calcita	Dolomita	Yeso	Filosilicatos
1	5	2	30	16	11	36
2	5	3	48	3	3	39
3	4	tr	70	3	tr	21
4	3	tr	27	4	63	2
5	8	tr	59	tr	tr	30
6	5	tr	60	tr	—	33
7	16	3	39	4	tr	37
8	6	2	42	tr	—	49
9	10	2	28	10	22	28
10	6	2	43	11	7	32
11	19	tr	25	3	18	34
12	17	3	42	tr	—	37
13	10	2	10	20	42	16
14	13	2	39	3	—	43
Media	9	2	40	6	11	32
Rango	0-50	0-7	0-100	0-89	0-100	0-86

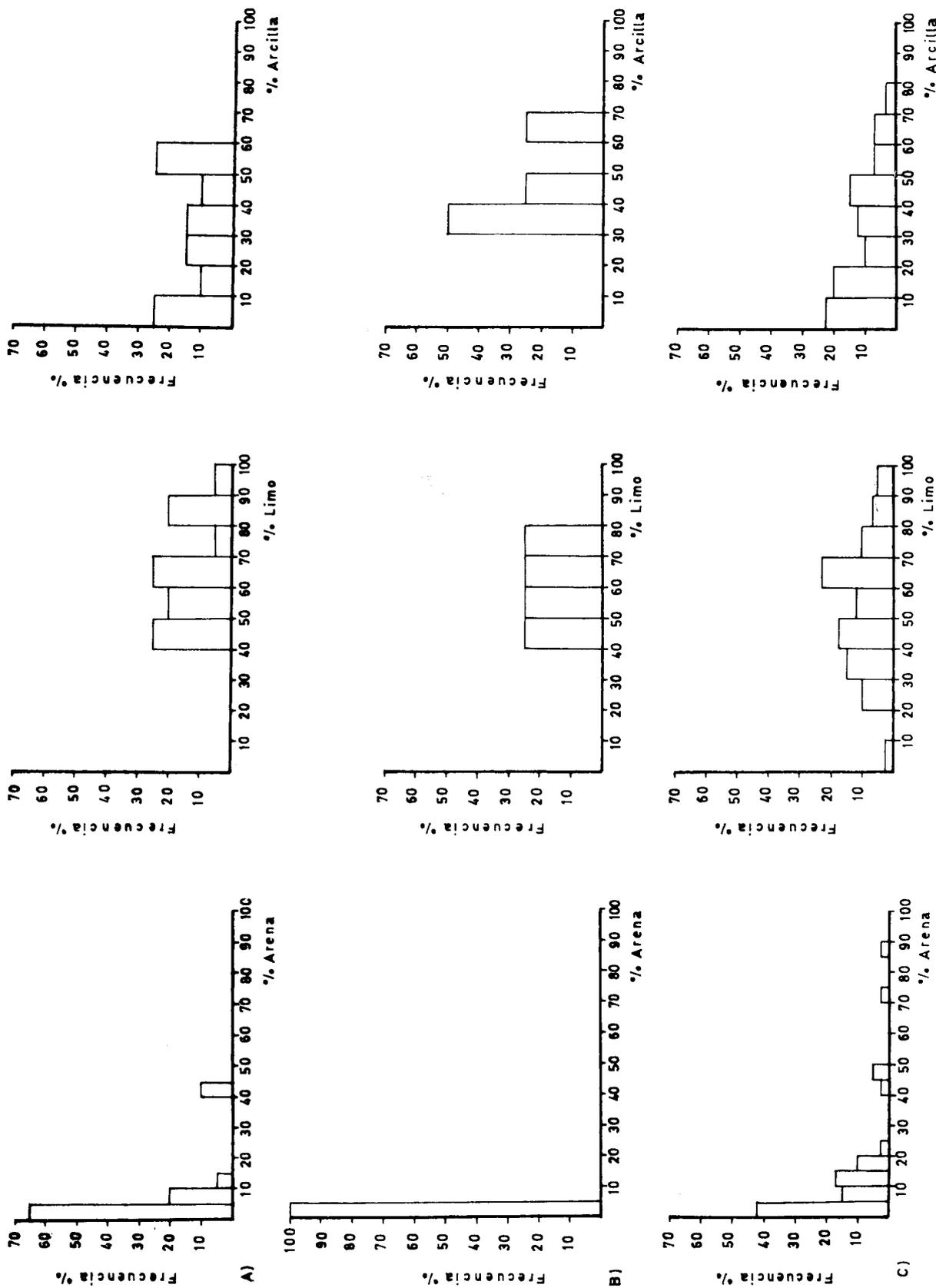


Fig. 3.—Histogramas de frecuencia. A) Fm. Tudela; B) Fm. Alfaro; C) Serie de Transición.

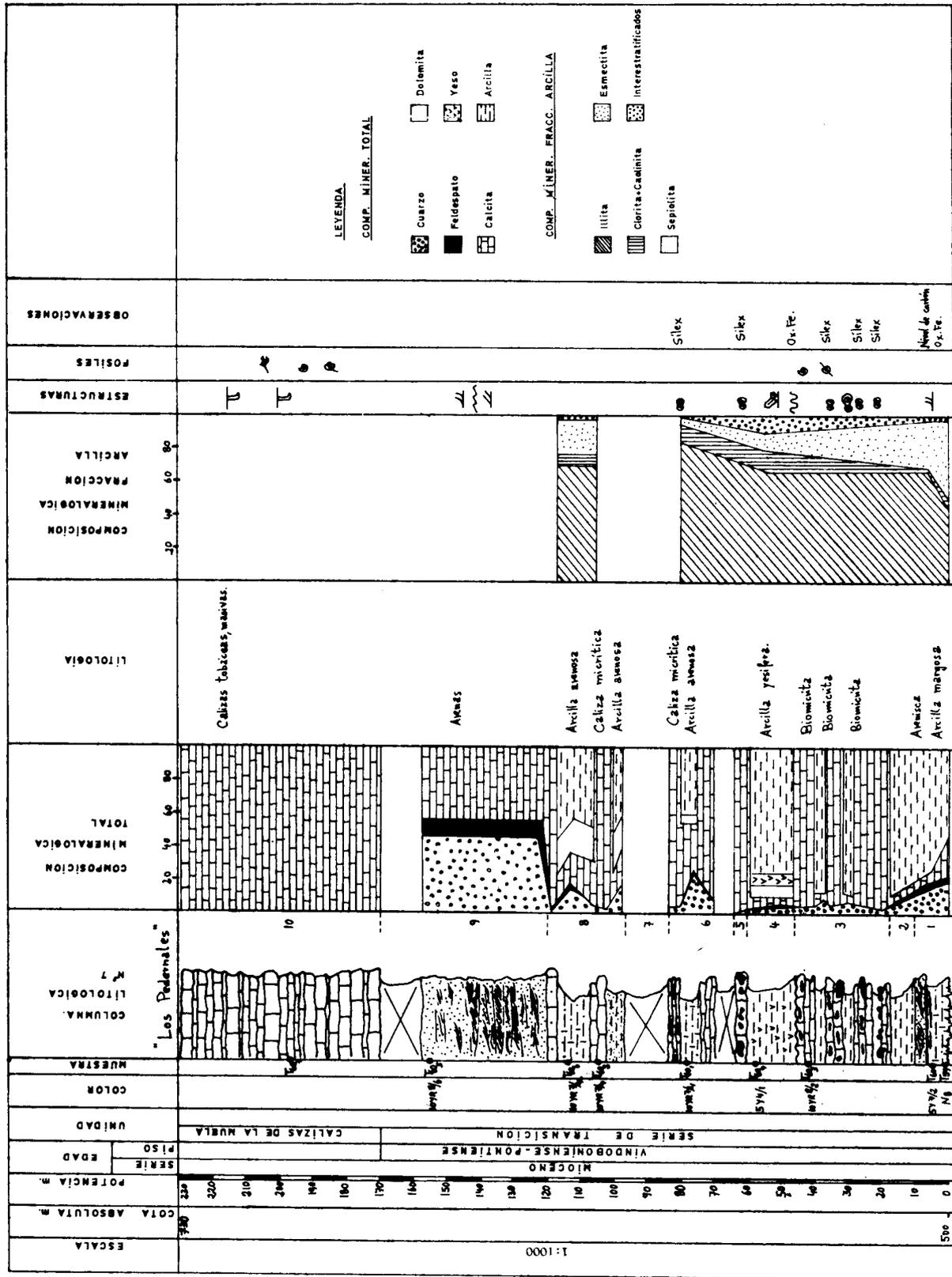


Fig. 4.—Perfil de Los Pedernales (perfil 7): Serie de Transición y Calizas de la Muela.

clusivamente por carbonatos, fundamentalmente calizas lacustres, que representan la facies central de la cuenca.

Desde el punto de vista petrográfico las calizas son las rocas más representadas, tienen, en general, una textura micrítica o microesparítica, con cuarzo detrítico y autigénico en cantidades menores de un 5% ("Fm. Alfaro", "Fm. Tudela" y "Serie de Transición").

En las muestras de yeso ("Yesos de Monteagudo") se han distinguido fundamentalmente dos tipos de texturas: una, microcristalina, con cristales alotriomorfos interpenetrados, y otra, macrocristalina, con

cristales más desarrollados y bordes interpenetrados, constituidos por materiales margo-arcillosos.

En las figuras 4, 5 y 6, se muestran las variaciones mineralógicas junto con los datos sedimentológicos, petrográficos, paleontológicos, etc., de tres de los perfiles estudiados, en los que aparecen bien representados las cinco formaciones descritas.

Los *minerales de la arcilla* identificados han sido: illita, esmectita, clorita, caolinita, sepiolita e interestratificados. En la tabla 3 se recogen los resultados del análisis cuantitativo por columnas y la media provincial.

Del estudio de estos resultados se deduce que illita

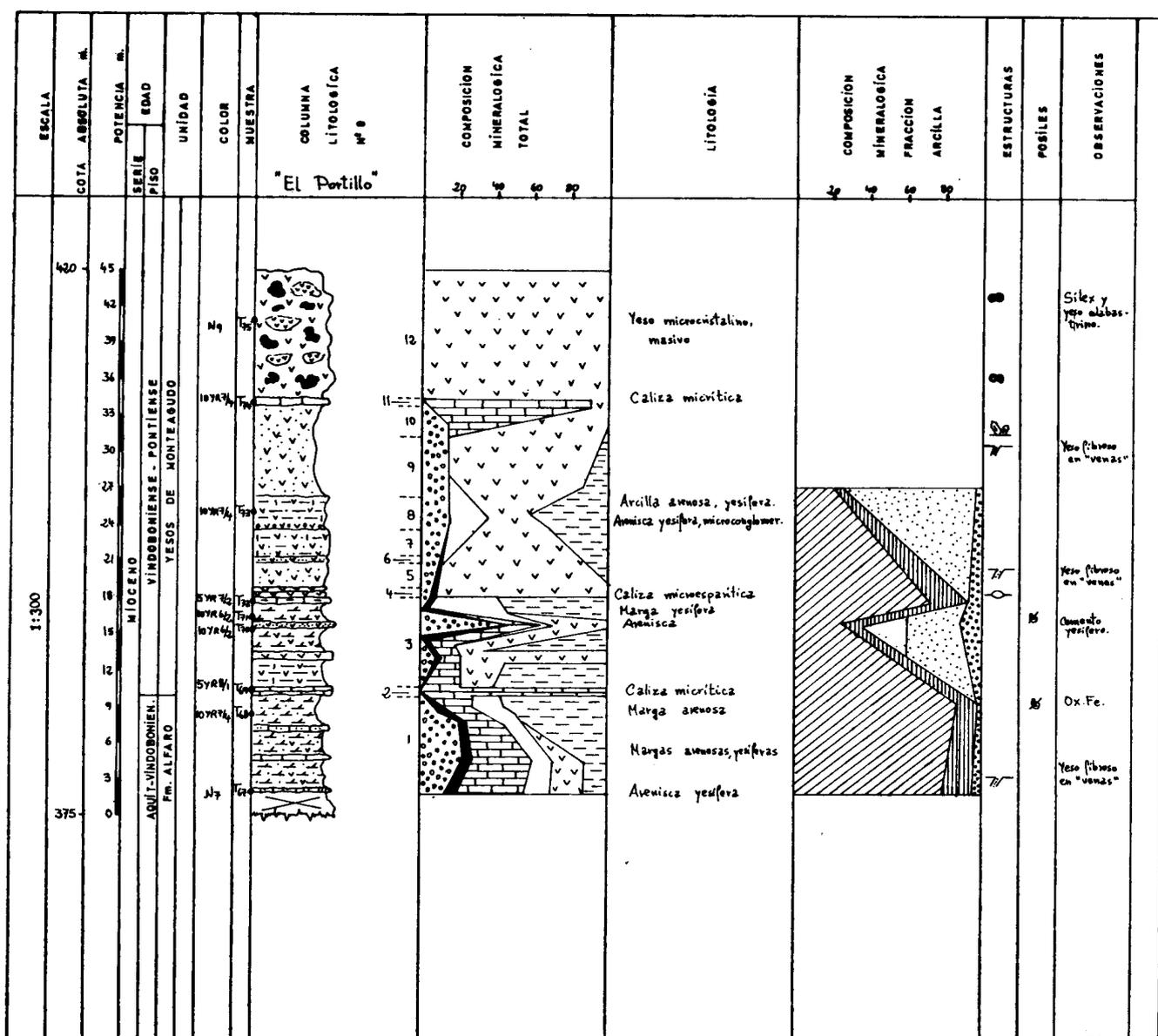


Fig. 5.—Perfil de El Portillo (perfil 9): Fm. Alfaro y Yesos de Monteagudo.

de la arcilla (fig. 7) en relación con las columnas establecidas.

Se puede observar que: *a)* en la "Fm. Alfaro" predomina la illita con respecto a las esmectitas, *b)* el porcentaje de esmectitas en dicha formación disminuye hacia el oeste, coincidiendo con la mayor abundancia de dolomita y yeso, *c)* en la "Fm. Tudela" también es predominante la illita con respecto a las esmectitas, exceptuando la base de la columna

TABLA 3

Composición media de la fracción arcilla

Columna	Es	I	Cl+K	Sp	Int.
1	36	53	8	—	3
2	20	66	12	—	2
3	7	70	15	—	8
4	3	70	27	—	—
5	59	30	7	tr	4
6	27	33	6	28	6
7	22	66	8	—	4
8	22	48	9	16	5
9	23	55	12	5	5
10	49	40	8	—	4
11	31	49	10	3	10
12	30	33	4	30	3
13	1	90	8	—	1
14	56	34	6	—	4
Media	29	52	10	5	4
Rango	0-94	2-95	0-27	0-92	0-14

Es = Esmectitas, I = Illita, Cl+K = Clorita y caolinita, Sp = Sepiolita, Int = Interestratificados.

10, donde estas últimas son predominantes (70-90%), *d)* las esmectitas están ausentes en la zona 13 ("Fm. Tudela"), *e)* la "Serie de Transición" es illítico-esmectítica, siendo más abundantes las esmectitas hacia el este y destaca, además, la presencia de sepiolita, que en algunas muestras puede ser predominante (82-92%), *f)* en el paso de la "Serie de Transición" a la "Fm. Tudela" o "Fm. Alfaro", disminuyen las esmectitas y aumenta el contenido en illita, desapareciendo la sepiolita que no está presente en estas dos formaciones.

Las *asociaciones mineralógicas* características de cada una de estas formaciones son las siguientes:

- "Fm. Alfaro": $Q + Ca + Do + Fto \pm Y + I + Cl/K \pm Es \pm Int.$
- "Fm. Tudela": $Q \pm Fto + Ca \pm Do \pm Y + I + Cl/K \pm Es \pm Int.$

— "Serie de Transición": $Q \pm Fto + Ca \pm Do + I + Es + Cl/K + Int \pm Sp.$

— "Yesos de Monteagudo": $Y \pm Q \pm Ca \pm Do \pm I + Cl/K \pm Es \pm Int \pm Sp.$

— "Calizas de la Muela": Ca.

Respecto a las *características cristal químicas* de los filosilicatos podemos observar que el grado de paragonitización de las micas es muy bajo, incluso nulo en la mayor parte de las determinaciones efectuadas. Solo en la "Fm. Tudela" y en algunas muestras de la "Serie de Transición" se observan micas con cierta paragonitización.

El tamaño de los cristalitos de illita según el eje *c* es del orden de 300 Å. La media regional y por formaciones de la relación I_{002}/I_{001} , es de 0,56. Se trata de micas no fengíticas (o muy escasamente fengíticas) con una relación $Al^{VI}/Fe^{VI} + Mg^{VI}$ en la capa octaédrica muy alta, lo que también se deduce de las determinaciones de estos cationes a partir de los valores de los parámetros *b_o* y *c_o*. Todo ello indica que se trata de moscovitas degradadas.

El valor medio para el índice de Kubler es de 2,85, sin apreciarse en las distintas formaciones poblaciones diferentes, por lo que no puede usarse como criterio diferente entre ellas. El índice de Weaver con un valor medio de 5,14, al ser más sensible que el de Kubler, permite distinguir que la "Serie de Transición" contiene illitas con índices superiores (media 6,06) que las formaciones Tudela (3,5) y Alfaro (4,7).

Según los índices de Kubler estas illitas son micas que pueden haber sufrido distintos grados de diagénesis profunda e incluso de metamorfismo débil (Esquevin, 1969). En cambio, según los índices de Weaver, todos los valores se sitúan en el ámbito de la anquizona, siendo los más altos los de la "Serie de Transición".

Las esmectitas son, en general, dioctaédricas, de la serie beidellita-montmorillonita, próximos a la beidellita. Sin embargo, en las muestras donde existe sepiolita y esmectitas en cantidades suficientes, se ha comprobado que la esmectita es trioctaédrica.

Los índices de cristalinidad de Biscaye tienen un valor medio de 0,83, lo que indica una buena cristalinidad para las esmectitas con escaso porcentaje de material cristalino deficientemente hinchable.

Discusión

Las formaciones descritas tienen, en general, un marcado carácter químico, al tratarse de series carbonatadas más o menos margosas y yesíferas con escasas cantidades de minerales detríticos, y especialmente cuarzo y feldespatos.

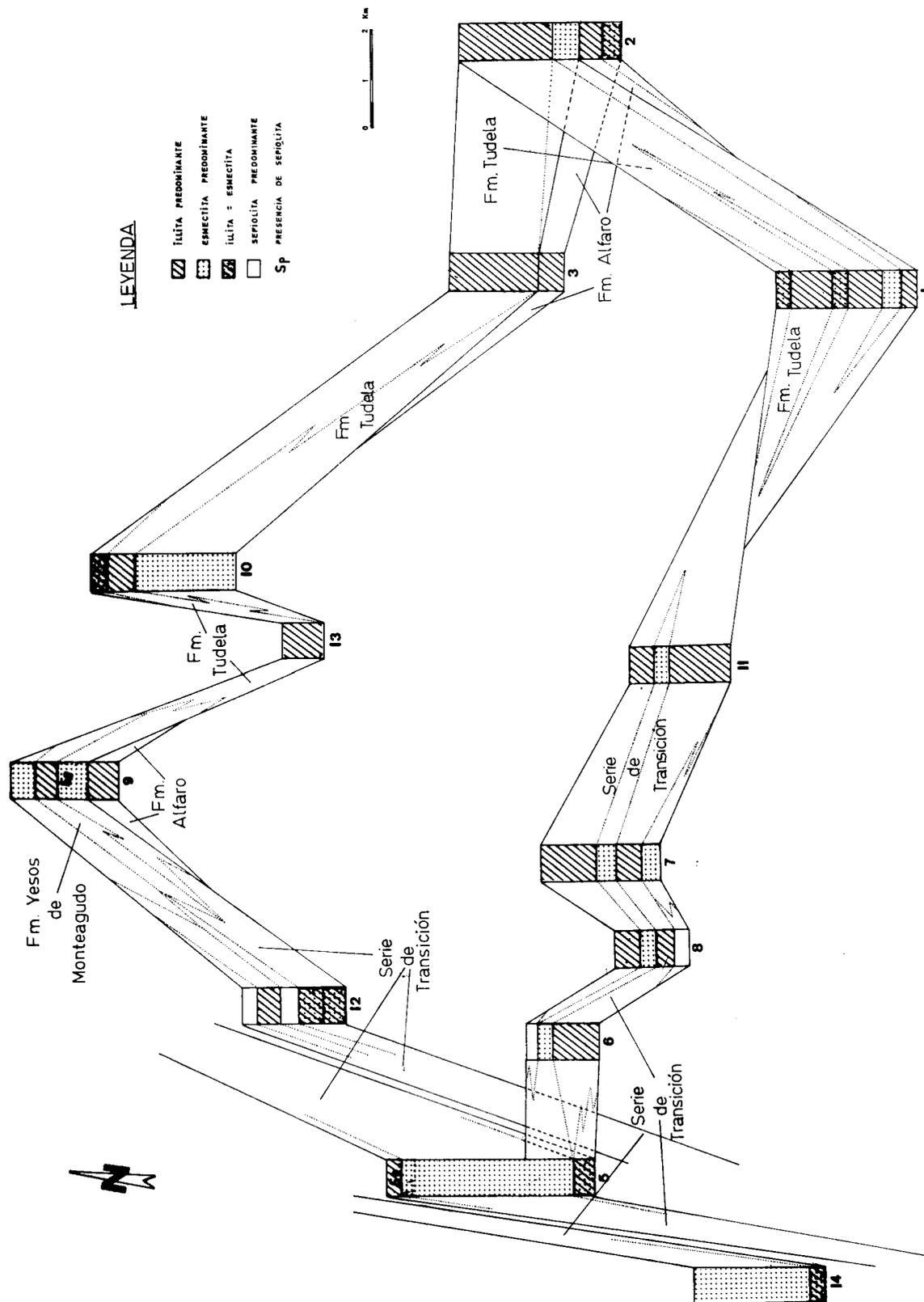


Fig. 7.—Mapa de distribución de los minerales de la arcilla.

Estos materiales suponen una sedimentación de tipo químico alcalino. Los sedimentos carbonatados se depositarían bajo un régimen continental endorréico, en aguas tranquilas poco profundas, con pH alcalino y, probablemente, alta salinidad. La presencia mayoritaria de texturas micríticas indicaría un medio de escasa energía con corrientes prácticamente inexistentes.

Los yesos se originaron también por precipitación en lagunas próximas a la desecación. En tales condiciones, el exceso de sílice en solución, bien como ácido silícico o como geles, pudo precipitar sustituyendo a yeso y carbonatos bajo la forma de nódulos o láminas de sílex en función de la concentración y del medio físico de deposición.

La dolomitización de la calcita, fenómeno complejo que depende no sólo de la presencia de Mg en el medio, sino de otros factores, tales como la presión parcial de CO₂, presencia de sulfatos, catalizadores orgánicos, temperatura, etc. (Lippmann, 1979; Baker y Kastner, 1981), puede tener diversas explicaciones en función de la conjugación de estas variables ambientales, pero, en este caso, no se tienen datos que objetivamente decidan sobre el mecanismo de formación de la dolomita.

Los minerales de la arcilla están mayoritariamente asociados a los sedimentos carbonatados de origen químico, por lo que puede deducirse, de igual modo, una deposición en un medio lacustre, donde los aportes de detríticos eran escasos (pobreza de cuarzo, feldespatos e, incluso, filosilicatos en tamaños superiores a las 20 μ).

El hecho de que la illita no sea fengítica, apenas contengan sodio y aún siendo de pequeño tamaño de partícula tengan un alto índice de cristalinidad, se puede interpretar como mineral heredado que procede de la alteración (degradación) de verdaderas moscovitas no paragonitizadas. La meteorización y el transporte de las micas contribuyó a su degradación a illita, reduciendo el tamaño de partícula.

La cristalinidad quedaría prácticamente inalterada al no existir condiciones drásticas de lavado en el área fuente. Se formarían además esmectitas, por degradación en un medio con fuerte retención de cationes y consiguiente elevación del pH, e interstratificados del tipo illita-esmectita. La composición beidellítica de las esmectitas, similar a la de la moscovita, y la alta cristalinidad, justifican plenamente este origen.

La clorita y caolinita deben ser también minerales heredados del área fuente, pues bajo las condiciones ambientales antes descritas no se pueden formar.

Las esmectitas magnésicas y la sepiolita son típicamente minerales autigénicos (neoformados) bajo unas condiciones muy precisas del medio: pH alcalino \approx 8,5, alto contenido en Mg y Si, sin Al disponible en solución (Wollast *et al.*, 1968; La Iglesia, 1978; Singer, 1979-80; Galán, 1979; Galán y Ferrero,

1982). La presencia de estos minerales sólo en la "Serie de Transición" y los "Yesos de Monteagudo" puede significar el final de un ciclo geoquímico dentro de un ambiente típicamente lacustre carbonatado o yesífero.

De lo expuesto anteriormente hay que suponer una posible área fuente rica en moscovita (de alta cristalinidad), pobre en caolinita y probablemente en clorita. Teniendo en cuenta el entorno geológico, y dado que existe una formación detrítica de borde adyacente a la zona estudiada ("Fm. Fitero"), podríamos suponer un área fuente para estos materiales ubicada en la Sierra del Moncayo (areniscas micáceas y pelitas).

Otra posibilidad sería situarla en los materiales mesozoicos próximos ("Facies Purbeck"), de naturaleza fundamentalmente illítico-caolinitica, pero su influencia en los materiales terciarios no es detectable, porque: a) la cantidad de caolinita presente en los terrenos terciarios es insignificante, y b) las illitas de la "Facies Purbeck" son de baja cristalinidad (López Aguayo y Martín Vivaldi, 1973), contrariamente a las encontradas en estos materiales estudiados.

Por otra parte, las evidencias mineralógicas y, ocasionalmente, paleontológicas permiten precisar que: a) la sedimentación tuvo lugar en este área bajo un clima semiárido con evaporación más intensa que la precipitación, b) la sedimentación fue fluvio-lacustre (facies deríticas y químicas) con predominio de estas últimas, y c) la sedimentación de tipo químico fue carbonatada y yesífera en condiciones alcalinas con suficiente Si y Mg para producir neoformación de filosilicatos y sílex, que a veces sustituye a los carbonatos y yesos.

Los materiales más modernos, con abundante fauna y flora lacustre (Calizas de la Muela de Borja) sugieren que posteriormente hubo una progresiva humidificación del clima.

Bibliografía

- ALONSO, J. J. y GALVÁN, J.
1961. Nota sobre la existencia de sepiolita en las cuencas del Duero y el Ebro. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., sec. Geol.*, 59, 167-172.
- ALONSO PASCUAL, J. J.
1970. Sedimentos y suelos españoles con sepiolita y atapulgita. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., sec. Geol.*, 68, 119-130.
- ASTIBIA, H.; MORALES, J. y SESE, C.
1981. Tarazona de Aragón. Nueva fauna de vertebrados. *Turiaso II*. Centro de Estudios Turiasonenses. Institución "Fernando el Católico", C. S. I. C., 6 págs., Zaragoza.
- BAKER, P. A. y KASTNER, M.
1981. Constraint on the formation of sedimentary dolomite. *Science*, 213, 214-216.

- BARAHONA FERNÁNDEZ, E.
1974. *Arcillas de ladrillería de la provincia de Granada: Evaluación de algunos ensayos de materias primas*. Tesis doctoral núm. 49. Universidad de Granada, 398 págs.
- BISCAYE, P. E.
1965. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clays in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **76**, 803-832.
- CASTIELLA, J.
1977. *Memoria explicativa de la hoja núm. 320, Tara zona*. E/1:50.000. I. G. M. E., Madrid. 23 págs.
- CRUSAFONT, M.; TRUYOLS, J. y RIBA, O.
1966. Contribución al estudio de la estratigrafía del Terciario Continental de Navarra y Rioja. *Not. Com. I. G. M. E.*, **90**, 53-76.
- CULLITY, B. D.
1964. *Elements of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Pub. Co. London, 514 págs.
- ERNST, W. G.
1963. Significance of phengite micas from low-grade schists. *Amer. Mineral.*, **48**, 1357-1373.
- ESQUEVIN, J.
1969. Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinité. *Bull. Centr. Rech. Pau, SNPA*, **3**, 147-154.
- EVANS, B. W. y GUIDOTTI, C. V.
1966. The sillimanite-potash feldspar isograd in Western Maine. USA. *Contr. Miner. Petrol.*, **12**, 25-62.
- GALÁN, E. y ESPINOSA, J.
1974. El caolín en España. Características, identificación y ensayos cerámicos. *Soc. Esp. Cerám. Vidr.*, Madrid.
- GALÁN, E.
1979. The fibrous clay minerals in Spain. *8th Conf. on Clay Miner. and Petrol.*, Teplice (J. Konta, ed.), 1981. Univer. Karlova, Prague, 239-249.
- GALÁN, E. y FERRERO, A.
1982. Paligorskite - Sepiolite clays of Lebrija, Southern Spain. *Clays and Clay Miner.*, **30**, 191-199.
- GARCÍA AMORENA, L.
1971. Estratigrafía y tectónica del terciario lacustre aragonés. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, vol. extraordinario del Primer Centenario (1871-1971). Tomo I, Trabajos Cient. de Geol., C. S. I. C., Madrid, 167-177.
- GREEN-KELLY, R.
1953b. Identification of montmorillonoids. *J. Soil Sci.*, **4**, 233-237.
- HUERTAS, F.
1969. *Minerales fibrosos de la arcilla. Su genética en cuencas sedimentarias españolas y sus aplicaciones tecnológicas*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Complutense. Madrid.
- HUERTAS, F.; LINARES, S. y MARTÍN VIVALDI, J. L.
1974. Minerales fibrosos de la arcilla en cuencas sedimentarias españolas. II. Cuencas del Guadalquivir, Ebro y Depresión de Granada. Conclusiones prácticas. *Estudios geol.*, **30**, 359-366.
- KLINGEBIEL, A. y LATOUCHE, C.
1962. Etudes cristallographyque de l'illites dans les séries Eocènes du Bordelais. *C. R. Acad. Sc. Paris*, **255**, 142-144.
- KODAMA, H.; GATINAU, L. y MERING, J.
1971. Analysis of X-ray diffraction line profiles of microcrystalline muscovites. *Clays and Clay Miner.*, **19**, 405-413.
- KUBLER, B.
1968. Evaluation quantitative du metamorphisme par la cristallinité de l'illite. *Bull. Cent. Rech. Pau, SNPA*. **2/2**, 285-307.
- LA IGLESIA, A.
1978. Síntesis de sepiolita a temperatura ambiente por precipitación homogénea. *Bol. Geol. Min.*, **89**, 253-265.
- LIPPMANN, F.
1979. Stabilitätsbeziehungen der Tonminerale. *Neves Jahrb. Mineral.*, Abh 136, 287-309.
- LÓPEZ AGUAYO, F. y MARTÍN VIVALDI, J. L.
1973. Mineralogía de las arcillas de facies Wealdense española. III. Cuenca asturiana, discusión y conclusiones. *Estudios geol.*, **29**, 413-437.
- MARTÍN POZAS, J. M.
1968. *El análisis mineralógico cuantitativo de filosilicatos de la arcilla por difracción de rayos-X*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada, 244 págs.
- ORTEGA, M.
1978. *Mineralogía de la Block Formation. Depresión de Granada*. Tesis doctoral. Universidad de Granada, 497 págs.
- PINILLA NAVARRO, A.
1968. Estudio sedimentológico de la zona aragonesa de la Cuenca Terciaria del Ebro. II. Localización de las muestras y análisis mecánico. *Anal. Edaf. y Agrob.*, **27**, 547-562.
- PINILLA NAVARRO, A. y ALONSO, J.
1969. Estudio sedimentológico de la zona aragonesa de la Cuenca Terciaria del Ebro. V. Análisis de las arcillas por microscopio electrónico. *Anal. Edaf. y Agrob.*, **28**, 895-906.
- QUIRANTES PUERTAS, J.
1969. *Estudio sedimentológico y estratigráfico del terciario continental de los Monegros*. Tesis doctoral. Instituto "Fernando el Católico", C.S.I.C., Zaragoza, 1978, 207 págs.
- RUIZ DE GAONA, M.; VILLALTA, J. F. y CRUSAFONT, M.
1946. El Yacimiento de mamíferos fósiles de las yeseras de Monteagudo. *Not. Com. I. G. M. E.*, **16**, 159-182.
- SÁENZ GARCÍA, C.
1942. Estructura general de la Cuenca del Ebro. *Estudios geográf.*, **7**, 249-279.
- SCHULTZ, L. G.
1964. Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre shale. *Geol. Surv. Prof. Paper*, 391-C, 31 págs.

- SINGER, A.**
1979-1980. The paleoclimatic interpretation of clay minerals in soils and weathering profiles. *Earth Sci. Rev.*, 15, 303-326.
- SOLÉ SABARÍS, L.**
1954. Sobre la estratigrafía de las Bardenas y los límites Oligoceno-Mioceno del sector occidental de la Depresión del Ebro. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, Homenaje a Hernández Pacheco, 637-658.
- VELDE, B.**
1967. Si⁴⁺ content of natural phengites. *Contr. Miner. Petrol.*, 12, 250-258.
- VILLENA MORALES, J.**
1979. Informe geológico acerca de las posibilidades de existencia de minerales arcillosos de neoformación (sepiolita attapulgita y esmectitas) en la cuenca del Ebro. T.O.L.S.A. Informe privado, 60 págs.
- WEAVER, C. E.**
1960. Possible uses of minerals in search for oil. *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, 44, 1505-1518.
- WOLLAST, R.; MACKENZIE, F. T. y BRICKER, D. P.**
1968. Experimental precipitation and genesis of sepiolite at earth-surface conditions. *Amer. Mineral.*, 53, 1645-1661.

*Recibido el 28 de noviembre de 1983.
Aceptado el 13 de marzo de 1984.*