

ALTERACIONES ASOCIADAS A LOS PALEOSUELOS DE LAS ARENISCAS DE VILLAMAYOR (SALAMANCA)

G. Alonso Gavilán¹, J.A. Blanco Sánchez², S. Sánchez Macías²,
B. Fernández Macarro² y J. I. Santisteban Navarro¹

RESUMEN.- Las Areniscas de Villamayor presentan un carácter cíclico, manifestado por la sucesión de secuencias granodecrecientes organizadas en una megasecuencia granocreciente al ir aumentando el tamaño del clasto en la base de la secuencia. Las características sedimentológicas indican un dispositivo sedimentario fluvial trenzado de arenas con caídas cíclicas de energía, avulsiones frecuentes y relleno de los canales abandonados, en varios episodios, desarrollándose paleosuelos sobre las fracciones más finas de la secuencia. Las direcciones de paleocorrientes abogan por aportes procedentes del SE y drenando un área madre de bajo rango metamórfico y granitoide, lo que confiere al sedimento un carácter fuertemente arcóscico. En cada una de las secuencias litológicas se desarrolla un perfil de alteración confirmado por a) un proceso de encostramiento en el techo (nódulos aislados, agrupados y encostramientos difusos); b) aparecer reorientaciones del plasma arcilloso acompañadas de neoformaciones argílicas y c) tener una intensa actividad orgánica (bioturbaciones). Este perfil de alteración se caracteriza, de muro a techo, por presentar: 1º.- disminución del porcentaje de feldspatos; 2º.- acumulación progresiva de dolomita en forma de encostramiento carbonatado que reemplaza al material arcóscico y 3º.- aumento de palygorskita, coincidiendo su máximo con el de la dolomita. Todo ello indica que la génesis de la secuencia de alteración está relacionada: a) con movimientos de los niveles freáticos próximos a arrieras de agua (base de la secuencia) y b) con los procesos de generación de suelos ligados a la estacionalidad del clima.

PALABRAS CLAVE: Sedimentación cíclica, Paleosuelos, Alteraciones, Fluvial, Paleógeno, Salamanca, Cuenca del Duero.

ABSTRACT.- The Villamayor Sandstone consists of fining upwards sequences which, in turn, form a coarsening upwards megasequence. Sedimentological arguments point out to a genesis related to a sandy braided fluvial system with cyclic variations of flow velocity, avulsions and infilling of abandoned channels with development of paleosoils between different stages (graded terms). The pattern of paleocurrents and heavy minerals indicate drainage of low range metamorphic and granitic source area placed towards the SE which produced arkosic sediments. Each lithologic sequence shows an alteration profile confirmed by: (a) crusting processes at the top of the sequence, (with grouped and scattered nodules and diffuse crusting); (b) reorientation of clay plasma accompanied by clay neoformations and (c) biological activity (burrowing). The profile is characterized, from bottom to top, by: 1º.- decrease of the percentage of feldspar; 2º.- accumulation of dolomite as crusts replacing arkosic sediment and 3º.- increase of palygorskite, with a maximum matching the one of dolomite. All these features indicate that the genesis of the weathering profile probably related to oscillations of phreatic water table through the coarse sediments filling the narrowly-spaced active channels which produced transformations due to water circulation and, independently, pedogenic processes related to a climatic seasonality.

KEY WORDS: Cyclic sedimentation, Paleosoils, Alterations, Fluvial, Paleogene, Salamanca, Duero Basin.

Trabajo realizado dentro del Proyecto CICYT PR 84-1113 del que forman parte los autores.

1. Departamento de Geología (Estratigrafía), Facultad de Ciencias, Universidad, 37008-Salamanca.
2. Departamento de Geología (Geodinámica), Facultad de Ciencias, Universidad, 37008-Salamanca.

INTRODUCCION

Las Areniscas de Villamayor de edad Eoceno Medio (JIMENEZ, (1975) forman parte de la Formación Areniscas de Cabrerizos, constituyendo una de las tres litofacies menores que componen la unidad litoestratigráfica formal (Fig. 1). Estas tres litofacies pasan lateralmente unas a otras y se presentan discordantes sobre la Fm. Detrítica de Salamanca (Paleoceno). Sobre estas unidades litoestratigráficas se desarrolla una superficie erosiva de fuerte relieve creada por el depósito de los Conglomerados del Teso de la Flecha constituidos por bloques y clastos de arenisca arrancados del sustrato eoceno alterado.

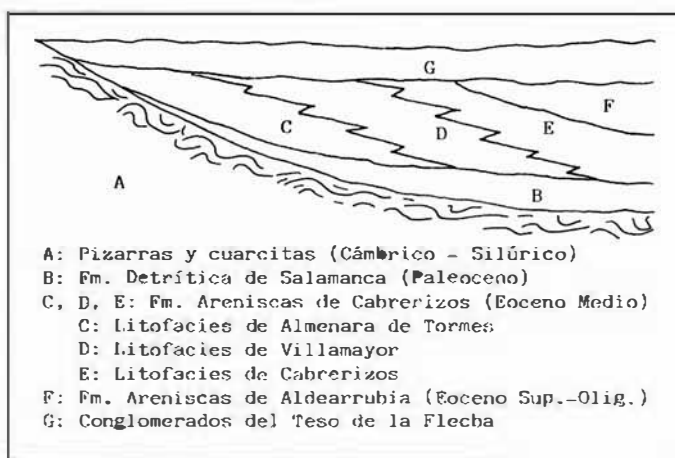


Figura 1.- Relación lateral y vertical de la Fm. Areniscas de Cabrerizos con el resto de la Unidades Litoestratigráficas Terciarias en el borde SO de la Cuenca del Duero. (Tomado de ALONSO GAVILAN, 1981).

Figure 1.- Lateral and vertical relationships between the Cabrerizos Sandstone and the other Tertiary Lithostratigraphic Units in SW Duero Basin. (From ALONSO GAVILAN, (1981).

Definida con carácter formal por ALONSO GAVILAN (1981), la litofacies de las Areniscas de Villamayor constituye una unidad independiente dentro de los depósitos eocenos del Suroeste de la Cuenca del Duero, en el punto donde ésta se une con la depresión de Ciudad Rodrigo (Fig. 2). Los diferentes trabajos que se ocupan de ella van desvelando la estratigrafía, sedimentología y composición de las áreas madres que se denudaban (ver trabajos de JIMENEZ, 1970 a 75, ARRESE *et al.*, 1964, ALONSO GAVILAN, 1983 y CORROCHANO *et al.* 1983, entre otros). Otro bloque de trabajos sobre las Areniscas de Villamayor se refiere a las posibilidades de explotación y alterabilidad actual de las Areniscas de Villamayor (ARRIBAS *et al.*, 1984, HERNANDEZ *et al.*, 1984, ORDAZ *et al.*, 1984, OTEO *et al.*, 1984 y VICENTE *et al.*, 1984). Estos últimos trabajos llegan a la conclusión de que las causas de la alteración

actual son el resultado de la conjunción de procesos intrínsecos de la propia roca (textura, litología, etc.) y otros extrínsecos (grado de polución, medio ambiente actual, hidrólisis y sales). Sin embargo, en ninguno de ellos se hace un estudio total de la secuencia sedimentaria general de las Areniscas de Villamayor.

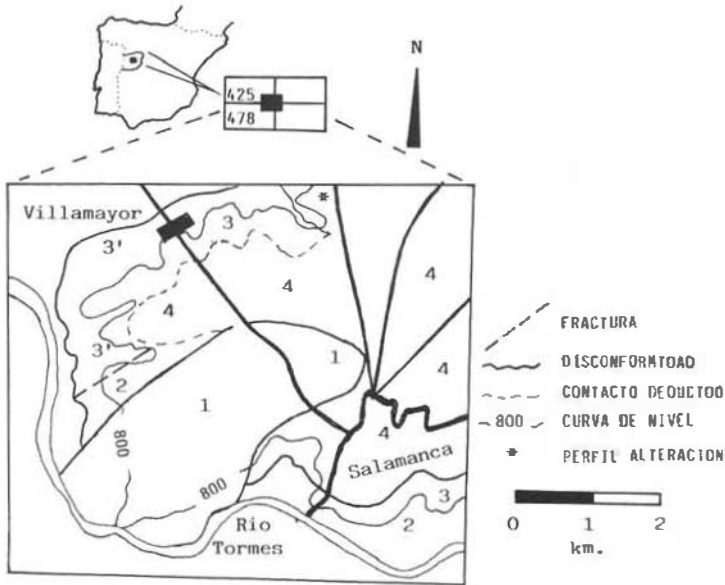


Figura 2.- Mapa de situación geográfico y geológico de las Areniscas de Villamayor (modificado de ALONSO GAVILAN, 1981). 1.- Pizarras y cuarcitas (Cámbrico-Silúrico). 2.- Fm. Detrítica de Salamanca (Paleoceno). 3.- Fm. Areniscas de Cabrerizos (Eoceno Medio). 3'.- Litofacies Areniscas de Villamayor (Eoceno Medio). 4.- Fangos rojos y calizas (Mioceno).

Figure 2.- Geological and geographical setting of Villamayor Sandstone (modified from ALONSO GAVILAN, (1981). 1.- Shales and quartzites (Cambrian-Silurian). 2.- Salamanca Detritic Fm. (Paleocene). 3.- Cabrerizos Sandstone Fm. (Middle Eocene). 3'.- Villamayor Sandstone Lithofacies (Middle Eocene). 4.- Red muds and limestones (Miocene).

El objetivo del presente trabajo es demostrar la relación que existe entre estos depósitos y las transformaciones que sufrió el sedimento después de su depósito y que, en realidad, fueron las causantes de que las arenas presenten un tipo determinado de arcilla y carbonato magnésico, haciendo que el sedimento se enriqueciese en estos elementos a costa de la transformación de otros.

ESTRATIGRAFIA

Los alloramientos de las Areniscas de Villamayor los constituyen las canteras abandonadas o en explotación actual. Estas canteras son trabajadas a cielo abierto y tienen escaso desarrollo lateral y vertical. lo cual dificulta la reconstrucción de la geometría

original de los cuerpos canalizados y la elaboración de una columna estratigráfica general completa. Por otro lado, la forma de explotación y la escasa potencia de los afloramientos existentes sólo permite conocer los tramos altos de la columna estratigráfica. Por ello, se ha decidido hacer la descripción de estas Areniscas teniendo en cuenta las características comunes observadas en todas las pequeñas columnas parciales realizadas (más de 15) y se presenta sólo la construida en la cantera de La Moral (Fig. 3).

Los sedimentos se organizan en secuencias granodecrecientes conformando una macrosecuencia negativa al ir aumentando el tamaño de grano de la base de cada secuencia hacia el techo de la litofacies de Villamayor (Fig. 3). Cualquiera de las secuencias litológicas comienza con areniscas de grano grueso/medio y termina con areniscas de grano muy fino, limos arenosos (Fig. 4) y, ocasionalmente, pueden aparecer niveles de arcilla vercosa. El término de mayor potencia de esta secuencia es el de areniscas de grano fino, pudiendo alcanzar, en algunas ocasiones, valores de hasta cuatro metros.

Las estructuras más representativas son estratificaciones cruzadas curvas de pequeña a media escala. A veces, dos términos de arenisca de grano medio pueden estar separados por pequeños niveles de limos arenosos. Son frecuentes los cantos blandos de arcilla. La fracción gruesa presenta hidromorfismo que le da una tonalidad rojiza.

Los limos arenosos tienen colores marrones claros, ocre y presentan disyunción prismática. En estas fracciones finas es frecuente la presencia de estratificación lenticular y laminaciones cruzadas distorsionadas por concentraciones nodulares o difusas de carbonato magnésico, *slikenside*, pedotúbulos y bioturbación. Se ha identificado una de las ichnofacies como *Beaconites*.

La columna estratigráfica local (Fig. 3) se presenta como una sucesión cíclica de la secuencia general en la que tan sólo varía la potencia y el grado de transformaciones que sufren las fracciones finas.

ANÁLISIS Y ASOCIACION DE FACIES

En la descripción de las facies se han empleado las características litológicas, secuencias de estructuras sedimentarias, geometría de los depósitos y límites y relación lateral y vertical con las facies adyacentes (Tabla I).

La asociación de facies más representativa es St --> Sm/Sp --> Sr/FI --> P (Fig. 4), con una potencia que oscila entre 1 y 4 m. Esta asociación puede ser considerada como general para cada secuencia sedimentaria, con las salvedades que impone cada secuencia particular (truncada, amalgamada, completa, incompleta y compuesta). Según SMITH (1970) esta asociación es el reflejo de sistemas trenzados arenosos en la parte más distal de la red fluvial, MIALL (1977) la considera como ciclos de avenidas en ríos arenosos efímeros y para RUST (1978) representa las caídas de flujo de un sistema fluvial de baja sinuosidad con un marcado carácter estacional y el relleno de los canales abandonados en las épocas de desbordamiento de los canales principales.

En nuestra opinión, esta agrupación de facies es generada por dos procesos

diferentes. Uno relacionado con la etapa de actividad del canal, durante la cual se generan las facies St y Sp fundamentalmente, y otro con la etapa de abandono de los canales, en la que se formarían las facies Sm, Sr y Fl. Por otro lado, la escasez de facies Sp y la abundancia de la St indican que dentro de los canales, en su momento de actividad, se desarrollan *megaripples* de cresta sinuosa migrando aguas abajo movidos y alimentados por corrientes cargadas de sedimento en suspensión. Estos *megaripples* se superponen dando origen a barras de arenas que podían quedar expuestas después de la caída del flujo. Al comienzo de los estadios de aguas bajas el frenado brusco de las corrientes generarían los depósitos de las facies Sm. La presencia constante de la facies P a techo de las secuencias implica que siempre después del depósito existe una etapa sin sedimentación que permite el desarrollo de procesos de edafización por implantación de vegetación. Esto, unido a los movimientos del nivel freático, la proximidad de los cauces con agua y el carácter estacional del clima, causan procesos de alteración en los sedimentos recién depositados.

Tabla I

Facies	Litología	Interpretación
St	Arena con estratificación cruzada Cantos blandos de arcilla verde. Láminas con ángulo de buzamiento nunca inferior a 15° y espesor del set no superior a 1 metro. Geometría lemicular.	<i>Megaripples</i> de cresta sinuosa migrando aguas abajo y con una carga en suspensión muy alta.
Sp	Arena con estratificación cruzada planar. Láminas rectas chocando contra la superficie inferior.	<i>Megaripples</i> de cresta recta migrando aguas abajo y con alta carga en suspensión.
Sm	Arena aparentemente masiva de grano medio a fino. Geometría canalizada.	Frenado rápido y brusco de una corriente cargada de sedimento.
Sr	Arena de grano muy fino o limo arenoso. Laminación lenticular y laminación cruzada.	Decantación y movimiento de arena por corrientes débiles y esporádicas.
Fl	Limos arenosos, masivos o laminados.	Decantación de material fino y desarrollo de procesos de hidromorfismo.
P	Limos y arcillas. Concentraciones de carbonato magnésico y pirolusita. Pedotúbulos y bioturbación por organismos sedimentívoros.	Decantación de material fino. Desarrollo procesos de hidromorfismo. Paleosuelo incipiente.

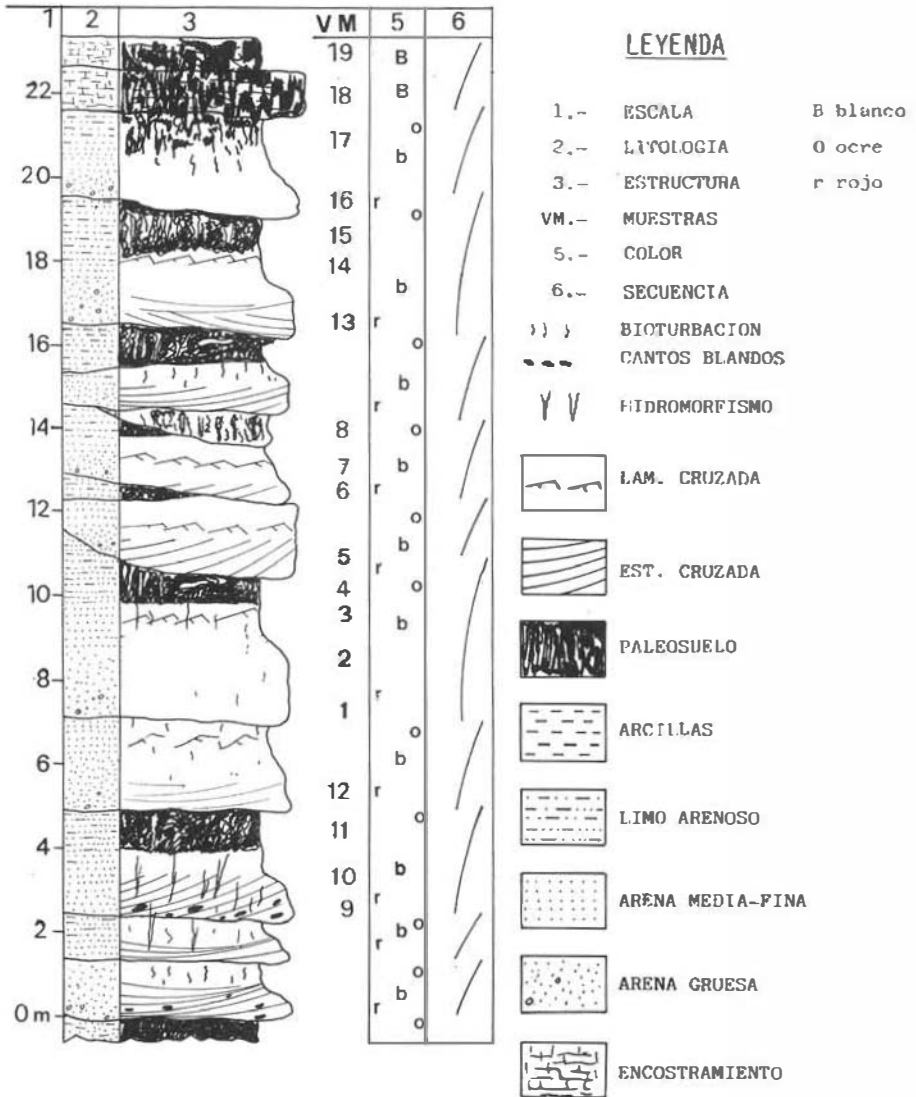


Figura 3.- Columna estratigráfica de las Areniscas de Villamayor en la actual cantera de La Moral.

Figure 3.- Stratigraphic section representative of the Villamayor Sandstone at La Moral quarry.

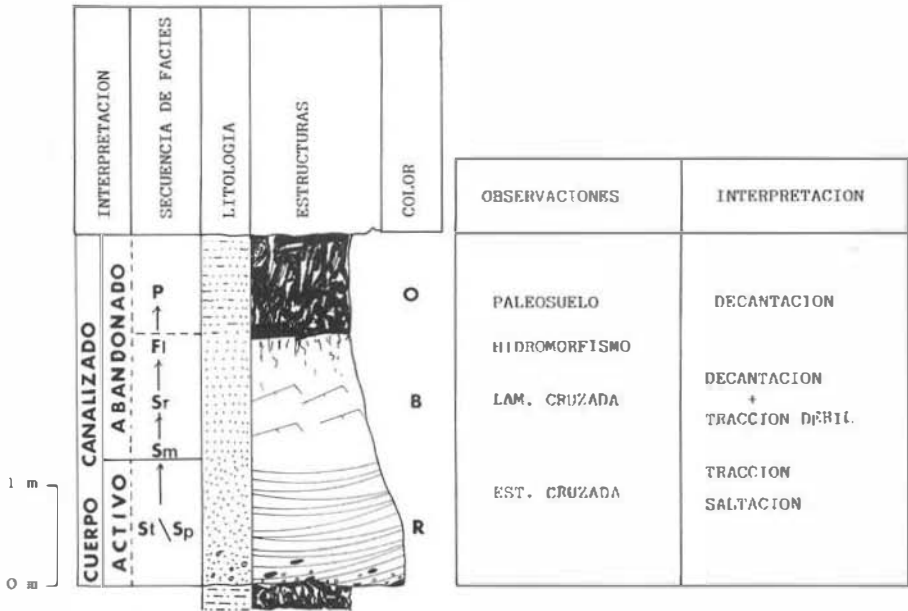


Figura 4.- Secuencia general litológica, de estructuras y asociación de facies en un secuencia de las Arcniscas de Villamayor.

Figure 4.- General sequence (lithology, structures and facies association) of a single sequence of the Villamayor Sandstone.

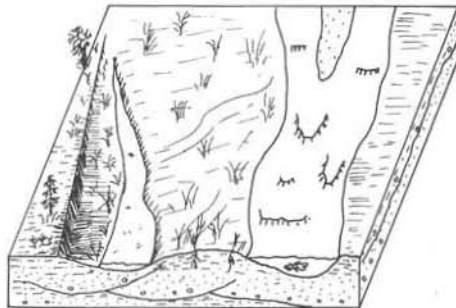


Figura 5.- Modelo sedimentológico conceptual del sistema fluvial de Villamayor.

Figure 5.- Sedimentologic conceptual model of the Villamayor fluvial system.

La secuencia litológica considerada como secuencia modelo (Fig. 4) se caracteriza por: (a) Un dominio de la fracción arena sobre las de limo y arcilla y estar organizadas en secuencias de carácter granodecreciente separadas por superficies erosivas de escaso relieve. (b) tener estructuras de bajo régimen de flujo, también formando secuencias positivas y (c) aparecer una secuencia vertical positiva de la bioturbación. Estas características abogan por secuencias cuya génesis está relacionada con un periodo de actividad y otro de caída del flujo o abandono en un sistema fluvial inestable (Fig. 5).

ESTUDIO MINERALOGICO

El análisis mineralógico ha sido realizado mediante difracción de rayos X trabajando sobre dos fracciones de la muestra:

- Fracción inferior a 2 μm (fracción arcilla), separada por decantación de la roca total, y
- Preparado en polvo de la roca total.

Los resultados se describen separadamente dada la importancia de los datos suministrados por cada una.

El estudio mineralógico de las Areniscas de Villamayor se ha abordado desde dos puntos de vista:

1.- Búsqueda de cambios mineralógicos en el seno de cada secuencia con el fin de establecer, si era posible, una evolución de los minerales arcillosos y poder obtener un modelo general.

2.- Estudio de los cambios mineralógicos en la vertical de la columna estratigráfica de La Moral (Fig. 3) y de las muestras puntuales recogidas en distintas canteras, activas o abandonadas, ubicadas en los alrededores de Villamayor. El objetivo que se perseguía era detectar y localizar los cambios mineralógicos verticales y horizontales de las Areniscas de Villamayor.

Las dos secuencias del techo de la columna estratigráfica fueron tratadas, dentro del conjunto, de forma especial. Este hecho obedeció al observar que en el campo siempre presentaban una fuerte tinción rojiza constante en todos los afloramientos. El estudio mineralógico reveló notables diferencias respecto a la secuencia ideal considerada, ya que las profundas transformaciones sufridas por el sedimento estaban relacionadas con un proceso de alteración que no se restringía a dos secuencias locales e individuales sino que afectaba a todo el techo de la Litofacies de Villamayor. Dada su importancia este proceso será descrito en una nota aparte dentro de este volumen (ver BLANCO *et al.*).

Fracción inferior a 2 μm .

A fin de determinar las variaciones mineralógicas de la paragénesis dentro de cada secuencia, se realizó un muestreo detallado, de muro a techo, de la secuencia ideal de campo. La asociación de arcillas es: Esmectitas-Illita-Palygorskita-Clorita (Fig. 6).

El estudio revela importantes variaciones mineralógicas cuantitativas. En líneas generales, la evolución de la paragénesis de las arcillas, de muro a techo, es (Fig. 7):

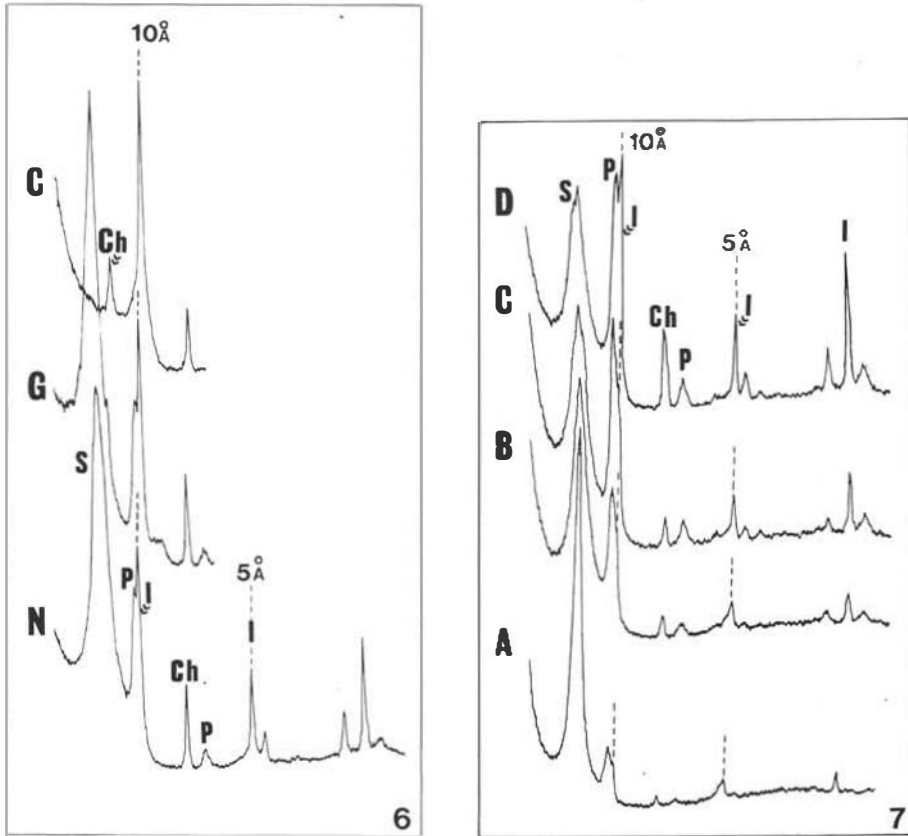


Figura 6.- Difractogramas representativos de la fracción inferior a 2 μ m, característica de las Areniscas de Villamayor: N, difractograma normal; G, glicolado; C, calentamiento a 490° durante 4 horas. La paragénesis arcillosa está constituida por Esmectitas (S), Illita (I), Clorita (Ch) y Palygorskita (P).

Figure 6.- Lower 2 μ m. diffraction graph from Villamayor Sandstone: N, without treatment; G, glycol treatment; C: heating at 490° during 4 hours. Clay paragenesis is made up of Smectites (S), Illite (I), Chlorite (Ch) and Palygorskite (P).

Figura 7.- Evolución de la paragénesis arcillosa en el seno de la secuencia definida. Esmectitas (S), Illita (I), Clorita (Ch) y Palygorskita (P).

Figure 7.- Clay paragenesis evolution into hypothetical sequence. Smectites (S), Illite (I), Chlorite (Ch) and Palygorskite (P).

a).- Aumento progresivo de los porcentajes de illita y clorita.

b).- Aumento constante y continuo de la proporción de palygorskita, que pasa de estar presente en estado de trazas en la base (facies St, Sp y localmente Sm) a ser el mineral dominante a techo (facies Sr, Fl y P).

c).- Disminución progresiva de las esmectitas siguiendo una evolución inversa a la de la palygorskita, pero manteniéndose siempre presente con un porcentaje relativamente alto.

La secuencia así definida puede considerarse representativa de todas las demás que componen la sucesión estratigráfica de las Areniscas de Villamayor. Sólo a techo de las secuencias (facies Fl y P) se detectan algunas variaciones. Estas se traducen en ciertas modificaciones en el porcentaje de palygorskita presente en los limos arenosos bioturbados (facies Fl). Estas variaciones son perfectamente correlacionables con el grado evolutivo de los procesos de bioturbación y encostramiento carbonatado observado, de modo que a mayor grado de bioturbación y madurez del encostramiento carbonatado mayor es el contenido en palygorskita.

Por otro lado, el carácter detrítico de la illita y de la clorita es inequívoco. La posición geológica actual de las Areniscas de Villamayor traduce la ausencia de enterramiento y diagénesis profunda u otro tipo de proceso geológico de suficiente temperatura como para explicar la neoformación de estas fases minerales. Es de reseñar, por último, la ausencia de caolinita en todas las muestras analizadas. En la figura 8 se representa una valoración semicuantitativa de estos cambios para la secuencia ideal.

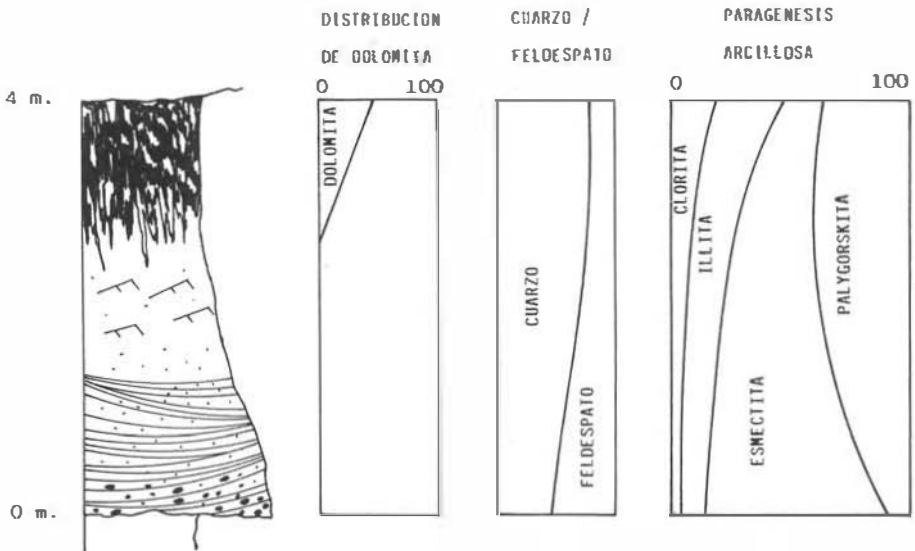


Figura 8.- Representación semicuantitativa de la evolución mineralógica en la secuencia ideal. Cuarzo (Q), Feldespato potásico (Fk), Albite (Ab), Dolomita (D), Palygorskita (P), Esmectitas (S) e Illita (I).

Figure 8.- Semicuantitative graph of mineralogical evolution of the hypothetical sequence. Quartz (Q), Potassium feldspar (Fk), Albite (Ab), Dolomite (D), Palygorskite (P), Smectites (S) and Illite (I).

Roca total.

El análisis mineralógico se restringe a la mineralogía esencial presente, dado que las fases minoritarias, al estar representadas en ínfimas proporciones, no son detectables mediante difracción de rayos X. En líneas generales, la agrupación mineralógica principal está constituida por: Cuarzo - Dolomita - Feldespato potásico - Albita - Esmectitas - Palygorskita - Illita y micas - Clorita.

Los difractogramas característicos, relacionados con la secuencia general (Fig.9), y los porcentajes de cada una de las muestras analizadas (Fig. 8) revelan grandes cambios mineralógicos que por su especial interés merecen ser considerados por separado.

Carbonatos

La dolomita es la fase mineral presente en las acumulaciones carbonatadas de techo de la secuencia (facies P). La calcita ha sido localizada en posición somital, únicamente en las secuencias afectadas por la alteración roja miocena (BLANCO *et al.* en este volumen) y, por otro lado, se ha observado en la base de alguna secuencia (facies St), donde la porosidad es mayor, en forma de cemento.

Dentro de cada secuencia y de muro a techo, la evolución de los carbonatos puede resumirse como sigue:

- 1.- En la parte inferior y media de la secuencia (facies St, Sp y Sm) la presencia de carbonatos es mínima y se restringe a nódulos aislados (Fig. 9-A y B).
- 2.- En las arenas masivas (facies Sm) presentan un rápido pero progresivo incremento, alcanzando concentraciones en torno a un 10% (Fig. 9-C).
- 3.- A techo de la secuencia, allí donde la bioturbación y los procesos de encostramiento son mayores (facies Sr, Fl y P), los porcentajes de carbonatos alcanzan valores próximos al 50% (Fig. 9-D).

En líneas generales, esta distribución (Fig. 8) manifiesta una total coincidencia con los máximos de concentración de palygorskita. Esto aboga por una incorporación al sedimento del magnesio circulante por el paisaje tanto en forma argílica (palygorskita) como carbonatada (dolomita).

Cuarzo y feldespatos

El cuarzo es el constituyente mayoritario en toda la secuencia, alcanzando porcentajes entre el 50 y 60 %. Solamente, donde las acumulaciones de carbonato son muy importantes, su presencia se reduce mucho (facies Fl y P). Los feldespatos, a diferencia del cuarzo, presentan variaciones cuantitativas destacadas a lo largo de la secuencia litológica (Figs. 8 y 9). Esta disminución coincide con la presencia de los fangos bioturbados (facies Fl) y encostramientos carbonatados (facies P). Por otro lado, en la parte media de la secuencia se aprecia una disminución brusca de la proporción de las plagioclasas quedando sólo feldespatos potásicos (Fig. 9).

Otros minerales

Pese a que en todos los difractogramas aparece la reflexión 10 \AA que caracteriza a las micas, éstas son difíciles de controlar, ya que la tendencia de concentración es rara al alcanzar el máximo en la parte media de la secuencia (facies Sm y Sr) (Fig. 9).

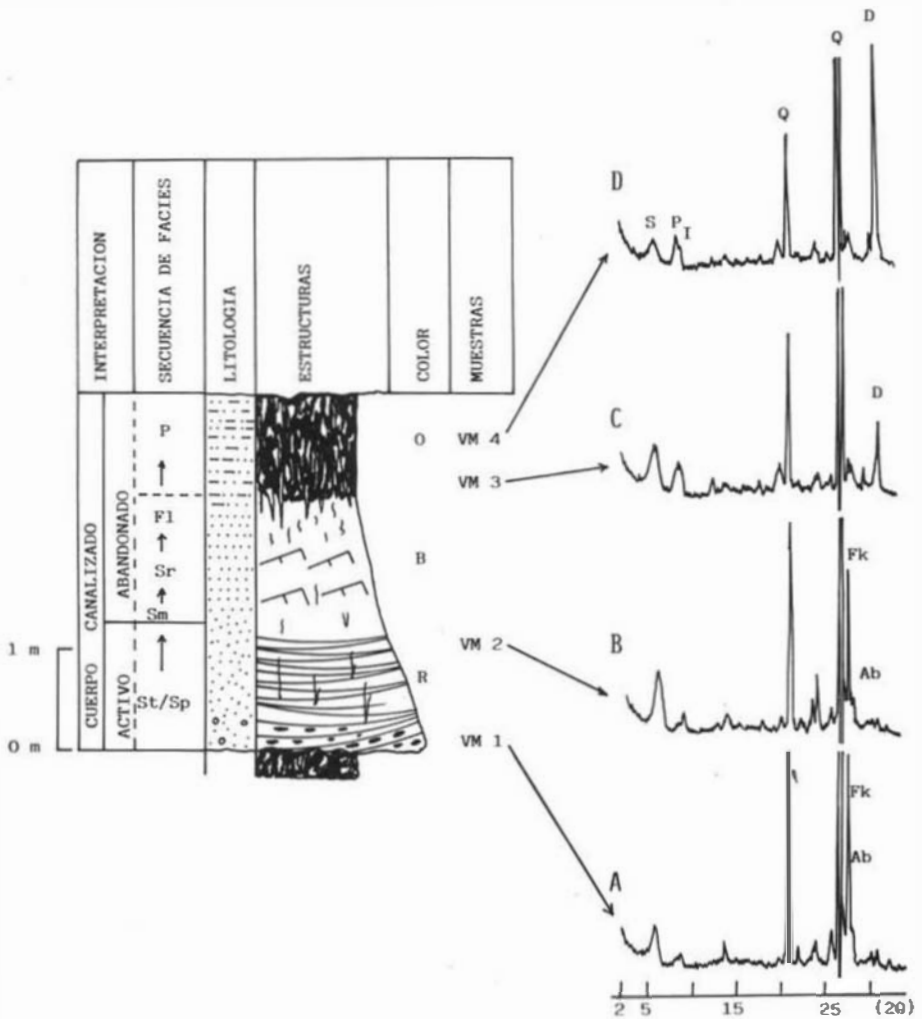


Figura 9.- Evolución de la mineralogía a lo largo de una secuencia sedimentaria. Cuarzo (Q), Feldespato potásico (Fk), Albita (Ab), Dolomita (D), Palygorkita (P), Esmeclitas (S) e Illita (I).

Figure 9.- Total mineralogy evolution of the sequence. Quartz (Q), Potassium feldspar (Fk), Albite (Ab), Dolomite (D), Palygorskite (P), Smectites (S) and Illite (I).

Conclusiones mineralógicas.

En líneas generales, la evolución de los minerales de las Areniscas de Villamayor puede resumirse:

- a).- La relación cuarzo/feldespato aumenta hacia el techo de la secuencia (Figs. 8, 9).
- b).- El contenido en dolomita aumenta de forma rápida, pero progresiva, desde las arenas masivas (facies Sm) a los fangos bioturbados (facies Fl) (Figs. 8 y 9).
- c).- La relación palygorskita / esmectitas aumenta, claramente, hacia el techo de la secuencia litológica (Figs. 8 y 9).

MICROMORFOLOGIA Y PROCESOS DE ALTERACION DESARROLLADOS EN

La descripción se realizó siguiendo las ideas de BULLOCK *et al.* (1985). Al apreciarse diferencias entre la base y el techo de la secuencia ideal, se decidió enfocar el estudio micromorfológico por separado para cada una de las dos partes.

Base de la secuencia sedimentaria (facies Sl, Sp y, localmente, Sm)

La descriptiva de los minerales se realiza en orden decreciente de abundancia.

Los granos de cuarzo presentan bordes netos y, en raras ocasiones, golfos de corrosión consecuencia de las reacciones con el plasma arcilloso circundante. En general, aparecen rodeados por una fina película arcillosa orientada constituyendo una fábrica de birrefringencia granoestriada. Sólo cuando ésta no existe se aprecian incipientes procesos de corrosión.

Los feldespatos presentan una alteración argílica moderada, de tipo paralelo lineal, según los planos de macla y exfoliación. Cuando contiene impurezas micáceas, la alteración argílica penetra profundamente a través de los planos citados y, en ocasiones, va acompañada de óxidos de hierro avanzando desde la matriz hacia el interior de los granos.

Los clastos de cuarcita, cuando son puros, no presentan alteración. Sin embargo, si contienen granos micáceos, se observan enrojecimientos en torno a ellos.

Los granos de cloritoesquistos aparecen con los bordes relativamente netos, sin embargo, su color verde característico raramente se observa, apreciándose una gama que abarca desde el verde al marrón oscuro. En los de pequeño tamaño se llega a apreciar la reacción de sus bordes con el plasma arcilloso circundante, lo que provoca la pérdida de nitidez de sus comornos. Estas características abogan por una intensa alteración de naturaleza esmectítica. En casos extremos se diferencia una especie de hiladas negras en su interior que posiblemente correspondan a precipitaciones de oxi-hidróxidos de hierro. La migración de éstos (siempre de forma limitada) se realiza a través de los contactos entre granos adyacentes o de las arcillas orientadas en torno a ellos.

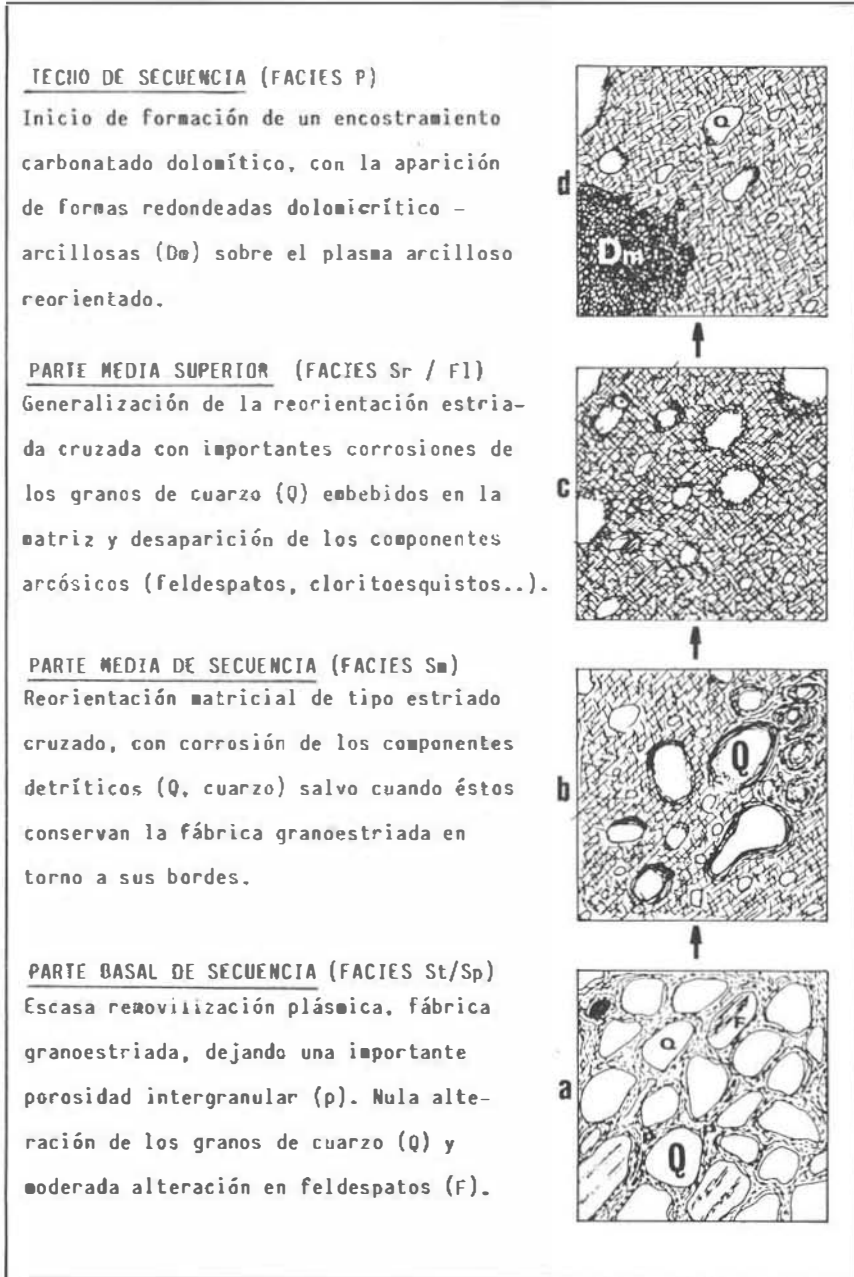


Figura 10.- Resumen de la micromorfología de las diversas partes de la secuencia.

Figure 10.- General sequence of micromorphologies.

La moscovita, con bordes netos, presenta los extremos ligeramente desflecados y, a veces, con pérdida de nitidez. Así mismo, en algunos planos se observan incipientes ennegrecimientos que corresponden a fijaciones de oxi-hidróxidos de hierro.

Los clastos de micaesquisto, generalmente, presentan bordes difusos aunque conservan su identidad.

La matriz arcillosa es escasa y se distribuye en torno a los granos detríticos con una fábrica de birrefringencia de tipo granoestriado.

En resumen, la alteración de la base de la secuencia (Fig. 10-a) se traduce por:

- 1.- Nula alteración de los granos de cuarzo y moscovita.
- 2.- Alteración argílica moderada de los feldespatos.
- 3.- Fuerte coloración de los granos de cloritoesquisto.
- 4.- Migración de la tinción a través del plasma arcilloso y de la alteración argílica de los feldespatos.
- 5.- Escasa removilización plásmica (fábrica granoestriada).

Mitad de la secuencia sedimentaria (Facies Sm, Sr y localmente Fl)

Los granos de cuarzo presentan corrosiones con golfos que limitan con planos internos de los cristales. Los bordes reaccionales con la matriz son abundantes cuando los granos presentan impurezas micáceas.

Los feldespatos inaniman una amplia gama de estadios de alteración: desde cristales de bordes netos y sin decoloraciones hasta granos completamente argilizados, con todos sus bordes en continuidad con el plasma arcilloso adyacente. Esta argilización se inicia ya sea de forma generalizada, a partir de los golfos de corrosión, o a través de los planos internos de los cristales. Junto a esto, existe una fijación de oxi-hidróxidos de hierro con aumento de color. Son extremadamente raros los granos de plagioclasa.

El primer estadio de alteración de los granos de cloritoesquisto es la aparición de reorientaciones en el interior de los clastos, manifestadas por líneas de fuerte birrefringencia. Sin embargo, lo más frecuente es que los granos presenten una pérdida total de sus bordes acompañada de una difusión de color y continuidad con la matriz.

En cuanto a las micas se distinguen: moscovita y biotita. La moscovita aparece, frecuentemente, con morfología deflecada, en la que los bordes netos corresponden a los paralelos al plano (001). También se observan importantes pérdidas del relieve de este mineral junto con variaciones en su birrefringencia. Las biotitas aparecen con todas sus características ópticas transformadas, presentándose como granos fuertemente coloreados pero con birrefringencia amortiguada.

Los clastos de micaesquisto presentan contornos muy difuminados y están afectados por reorganizaciones matriciales que los desfiguran: únicamente los granos de cuarzo liberados de ellos permiten reconstruir su contorno original.

En cuanto a la reorientación plásmica, la fábrica de birrefringencia de tipo granoestriado se generaliza, observándose importantes reorientaciones que no sólo afectan a la matriz sino también a los granos micáceos, cloríticos y a los argilizados.

Excepcionalmente, a techo de algunas secuencias, la argilización afecta a todo tipo de granos dando una verdadera epigénesis argílica acompañada de una gran reorientación.

Merece destacarse la presencia de impregnaciones ferruginosas, de tipo nódulo impregnativo compuesto, que enmascaran completamente la matriz arcillosa dejando únicamente visibles los granos de cuarzo.

En conclusión, la alteración de techo de la secuencia (Fig. 10-b y c) se puede caracterizar por:

- Moderada alteración de los granos de cuarzo y moscovita.
- Alteración argílica de los feldespatos acompañada por una fijación de oxihidróxidos de hierro.
- Transformación de los clastos de cloritoesquistos en agregados en continuidad con el plasma circundante y afectados por las removilizaciones de éste.
- Ligera difusión de color por migración de oxihidróxidos de hierro liberados por la alteración de los clastos de cloritoesquistos.
- Fuerte alteración paralelo-linear de los clastos de micaesquistos.
- Reorientación plásmica generalizada.

Techo de la secuencia: encostramientos carbonatados (facies Fl y P)

A techo de las secuencias, en los niveles donde existe una fuerte reorientación de la matriz arcillosa, se desarrollan encostramientos carbonatados de naturaleza dolomítica y origen edáfico. Estos encostramientos presentan mayor grado de madurez cuanto más finos son los términos a los que afectan (facies Fl y P).

Micromorfológicamente, la primera manifestación de este proceso es una modificación de la textura del plasma arcilloso por la neoformación de grumos carbonatado-arcillosos aislados (facies Fl).

La progresiva unión de estos grumos provoca la aparición de formas de tipo nodular, con bordes difusos, que pasan progresivamente a la matriz arcillosa circundante. En su interior se observan granos detríticos corroídos como consecuencia de la progresiva epigénesis carbonatada.

Al avanzar este proceso, la matriz va siendo reemplazada, los granos detríticos presentan rasgos más fuertes de corrosión y el mosaico carbonatado gana en tamaño y en pureza cristalina.

El resultado es un mosaico dolomicroesparítico-doloesparítico generalizado con escasos restos de granos detríticos (facies P).

En los niveles de encostramiento más evolucionados se reconocen fenómenos tardíos de disolución u otras formas de microkarstificación asociadas a grietas. Las formas resultantes pueden aparecer vacías, rellenas por cristales de esparita o bordeadas por revestimientos arcillosos microlaminados de color naranja y/o rellenas por una masa arcillosa reorientada.

Este proceso de encostramiento edáfico (Fig. 10-d), que sólo se da en zonas de intensa reorientación del plasma arcilloso, se puede resumir como sigue:

- Neoformación de grumos carbonatado-arcillosos aislados de tamaño milimétrico.
- Formación de nódulos con bordes aún difusos pero con importantes corrosiones del material silicatado.
- Generalización de un mosaico dolomicroesparítico-doloesparítico de mayor perfección y pureza, en forma de grandes nódulos, incluso lajas.
- Fenómenos tardíos de disolución y microkarstificación y rellenos posteriores.

MODELO GENÉTICO

Como se deduce de los estudios sedimentológicos la secuencia es generada en dos etapas: una de actividad del canal (facies St y Sm) y otra de abandono (Fm, Sr) (Figs. 5 y 11). Desde este momento ya existe un gradiente de porosidad y permeabilidad en ambas fracciones que favorece la aparición de procesos de alteración diferentes.

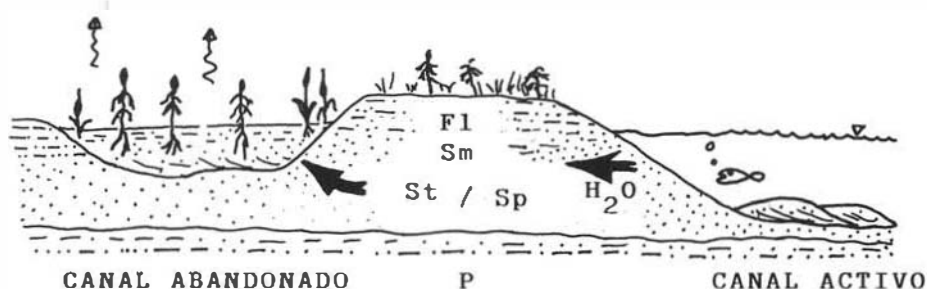


Figura 11.- Modelo sedimentario sobre la génesis de la secuencia sedimentaria de las Areniscas de Villamayor.

Figure 11.- Genetic model of a sedimentary sequence of Villamayor Sandstone

En la base de las secuencias (Figs. 4 y 11), arenas muy porosas y con alta permeabilidad (facies St, Sp y Sm), se da una alteración de los feldspatos de tipo argílico, acompañada de una pequeña desestabilización de la clorita de los granos de cloritoesquistos. El hierro liberado se fija en el plasma arcilloso rodeando a los granos detríticos mediante procesos de hidromorfismo. Esta alteración de los granos de feldspatos y cloritoesquistos es, sin duda, el origen de las abundantes esmectitas que se localizan en la base de la secuencia. La génesis de las esmectitas se debe a la existencia de un mal drenaje o a un déficit de agua circulante por los poros del sedimento ya que en caso contrario el lixiviado sería muy intenso y no habría formación de esmectitas (Fig. 11).

- Estos procesos: - alteración del feldespato,
 - desestabilización de la clorita,
 - fijación del hierro en el plasma arcilloso, y
 - neoformación de arcilla (esmectita)

acompañados de la neoformación de palygorskita en los poros han sido descritos por ALONSO GAVILAN *et al.* (1986) y SANCHEZ SANROMAN y BLANCO (1986) en sedimentos arcósicos (Fm. Aldearrubia) del Eoceno del SO. de la Cuenca del Duero.

En el techo de la secuencia (facies Fl y P) el proceso de alteración desarrollado es más complejo. Por un lado, existe una intensa removilización arcillosa generalizada a toda la matriz, prueba inequívoca del desarrollo de suelos. Por otro, los fenómenos asociados a la circulación horizontal de aguas son menores debido a la baja permeabilidad y porosidad del sedimento.

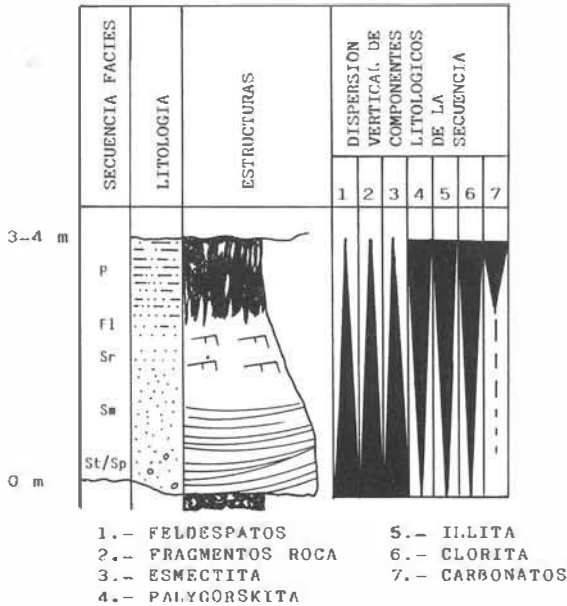


Figura 12.- Evolución mineralógica vertical en la secuencia ideal.

Figure 12.- Vertical evolution of mineralogy in the hypothetical sequence.

La distribución del carbonato (Figs. 8 y 12) y el hecho de que su origen sea por procesos de reemplazamiento epigenético de las arcosas originales prueban la existencia de un perfil de alteración asociado a un proceso edáfico. Ejemplos similares en la distribución de carbonato asociada con palygorskita son descritos por MILLOT *et al.* (1987) en suelos actuales de climas semiáridos y mediterráneos y por ALONSO GAVILAN *et al.* (1986), FERNANDEZ MACARRO (1987) y RECIO (1987) en

sedimentos arcóscicos paleógenos. El hecho de que el magnesio se fije tanto en la dolomita como en la palygorskita, puede interpretarse como una prueba del carácter semiárido de estos procesos o del escaso desarrollo del perfil de alteración asociado al paleosuelo ya que en climas más húmedos o en perfiles más evolucionados el magnesio se concentra exclusivamente en la fase arcillosa.

Las esmectitas y la palygorskita presentan un comportamiento inverso (Figs 8 y 12), una aumenta (palygorskita) a expensas de la otra. Sin embargo, los contenidos en clorita e illita presentan un aumento a techo, cuando era de esperar una notable disminución. Este hecho debe ser imputado, presumiblemente, a las variables dinámicas autocíclicas del sistema fluvial que acumula granos detríticos, en sus momentos de actividad, en la base de los canales y material fino (arcillas) en las etapas de abandono. La presencia de clorita en el techo de la secuencia sólo puede ser explicada en perfiles formados bajo condiciones de climas semiáridos.

La relación cuarzo / feldespato (Fig. 8 y 12) indica la actuación de una alteración selectiva asociada a un perfil edáfico.

Por último, la ausencia de caolinita detrítica apunta hacia un área madre con perfiles de alteración bajos o nulos. Esto, unido a las evidencias anteriores, pone de manifiesto que los procesos de alteración desarrollados sobre las Areniscas de Villamayor tienen lugar bajo condiciones climáticas semiáridas.

CONCLUSIONES

Por lo expuesto en los apartados anteriores se puede decir que el sistema fluvial que originó las Areniscas de Villamayor era de arenas con escasa sinuosidad y transportaba la mayor parte del sedimento en suspensión. Este sistema fluvial, procedente del Suroeste, drenaba un área madre metamórfica y granotoide con perfiles de alteración muy poco o nada desarrollados. El sistema fluvial presentaba un marcado carácter estacional al estar bajo los efectos de un clima semiárido o mediterráneo (similares a los designados hoy día con estas denominaciones). La estacionalidad favorecía la alteración de los minerales en los sedimentos recién depositados, generando paleosuelos a techo de cada secuencia.

REFERENCIAS

- ALONSO GAVILAN, G., (1981). *Estratigrafía y sedimentología del Paleógeno en el borde suroccidental de la Cuenca del Duero (Provincia de Salamanca)*. Tesis Doctoral. Fac. Ciencias, Univ. Salamanca. Inédita. 436 págs.
- ALONSO GAVILAN, G., (1983). Sedimentología de las Areniscas de Villamayor. *Stvd. Geol. Salmanticensis*, XIX: 7-20.
- ALONSO GAVILAN, G., RECIO, C., FERNANDEZ MACARRO, B. y BLANCO, J. A., (1986). Control sedimentológico de los procesos de alteración y rubefacción en la Formación Areniscas de Aldearrubia (Eoceno Superior, Salamanca). *Stvd. Geol. Salmanticensis*, XXII: 37- 59.
- BLANCO, J. A., ALONSO GAVILAN, G., FERNANDEZ MACARRO, B. y SANCHEZ MACIAS, S., (1989). Alteración Roja Miocena sobre las Areniscas de

- Villamayor. *Stvd. Geol. Salmanticensia*, Vol.Esp. 5.
- ARRESE, P.; LOZANO, A.; MARTIN - PATINO, T. y RODRIGUEZ, J. . (1965). Estudio de las Areniscas de Villamayor (Salamanca). *Est. Geol.* 20: 87-105.
- ARRIBAS, A.; POLO, V. y JIMENEZ, E., (1984). La enfermedad de la piedra en las Areniscas de Villamayor: Diagnóstico, tratamiento y conservación. *Edic. Caja de Ahorros y M. de P. de Salamanca. Serie Monográfica*, 3: 5-170.
- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. y BABEL, U., (1985). *Handbook for soil thin section description*. Wain Research Publ., Londres. 152 págs.
- CORROCHANO, A., CARBALLEIRA, J., MARTIN, J., HERNANDEZ, J., CARABIAS, R., ALONSO, M., JIMENEZ, O. y SANCHEZ, E., (1983). Estudio sobre la alteración de las Areniscas de Villamayor. *Comunicaciones. II Reunión Nac. sobre Geol. Ambiental y Ordenación del Territorio*. Lérida.
- FERNANDEZ MACARRO, B., (1987). *Evolución morfológica de la depresión de Talavan-Torrejón el Rubio y génesis del yacimiento de palygorskina asociado*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca. Inédita. 200 págs.
- HERNANDEZ, J., CARABIAS, R.; ALONSO, A., JIMENEZ, O., SANCHEZ, E.; CORROCHANO, A., CARBALLEIRA, J. y MARTIN, J., (1984). Alteraciones de las Areniscas de Villamayor: Causas y soluciones. *Edic. Caja de Ahorros y M. de P. de Salamanca. Serie Monográfica*, 3: 170-314.
- JIMENEZ, E., (1970). *Estratigrafía y paleontología del borde SW de la Cuenca del Duero*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca. Inédita. 323 págs.
- JIMENEZ, E., (1972). El Paleógeno del borde SW de la Cuenca del Duero. I. Los escarpes del Tormes. *Stvd. Geol. Salmanticensia*, 3: 67-110
- JIMENEZ, E., (1973). El Paleógeno del borde SW de la Cuenca del Duero. II. La falla de Alba-Villoria y sus implicaciones estratigráficas y geomorfológicas. *Stvd. Geol. Salmanticensia*, 5: 107-136.
- JIMENEZ, E., (1974). Iniciación al estudio de la climatología del Paleógeno de la Cuenca del Duero y su posible relación con el resto de la Península Ibérica. *Bol. Geol. Min.*, 85: 518-524.
- JIMENEZ, E., (1975). Presencia de una fase de fracturación y de una discordancia preluteciense en el Paleógeno de Salamanca. *Estud. Geol.*, XXXI (5-6): 615-624.
- MIALL, A. D., (1977). A review of the braided river depositional environment. *Earth Sci. Rev.*, 13: 1-62.
- MILLOT, G., NAHON, D., PAQUET, H.; RUELLAN, A. y TARDY, Y., (1977). L' épigénie calcaire des roches silicatées dans les encroûtements carbonatés en pays subaride Antiatlas, Maroc. *Sci. Géol. Bull.*, 30 (3): 129-152.
- ORDAZ, J., ESBERT, R. M., MONTOTO, M., CASO, F. y ALONSO F. J., (1984). Estado de alteración y alterabilidad futura de la piedra de Villamayor de los monumentos salmantinos: Interpretación petrográfica. *Edic. Caja de Ahorros y M. de P. de Salamanca. Serie Monográfica*, 3: 314-565.
- OTEO, C., CUEVA, J., GARCIA, R. y RUBIO, N., (1984). Potencial de alterabilidad de la Piedra de Villamayor. *Edic. Caja de Ahorros y M. de P. de Salamanca. Serie Monográfica*, 3: 469-565.
- RECIO, C., (1987). *Procesos de alteración y paleosuelos en una formación arcósica paleógena del borde SW de la cuenca del Duero*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca. Inédita. 200 págs.
- RUST, B.R., (1987). Depositional models for braided alluvium. *Can. Soc. Petrol. Geol.*, Memoir 5: 605-626.

- SANCHEZ SAN ROMAN, F.J. y BLANCO, J.A., (1986). Formación de palygorskita asociada al flujo regional de las aguas subterráneas del borde SO. de la cuenca del Duero. *Estud. Geol.*, **42**: 321-330.
- SMITH, N.D., (1970). The braided stream depositional environment: comparison of the Platte River with some Silurian clastics rocks, north-central Appalachians. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **81**: 2993-3014.
- VICENTE, M. A., SANCHEZ, M., LOMBARDIA, I., SAAVEDRA, J., BRUFAU, A., RODRIGUEZ, P. y NIEVES, V., (1984). Contribución al estudio de las causas de alteración de la piedra de Villamayor en edificios salmantinos y de los posibles métodos de corrección. *Edic. Caja de Ahorros y M. de P. de Salamanca. Serie Monográfica*, **3**: 420-468.

Recibido: 7 de noviembre de 1988 Aceptado: 25 de enero de 1989