

LA «ALTERACION PRETRIASICA» SEGUN EL ESTUDIO DE LAS FRACCIONES PESADAS DE MATERIALES DETRITICOS

Por J. HERNANDO COSTA * y S. HERNANDO COSTA **

RESUMEN

Se estudian las fracciones pesadas y ligeras de los materiales detríticos pérmicos que se encuentran inmediatamente por debajo de la base del Buntsandstein y, por lo tanto, afectados por la «alteración pretriásica», obteniéndose algunos datos sobre las características de dicha alteración, y ensayos sobre los resultados de la técnica de los minerales pesados y de las fracciones ligeras en el estudio de paleosuelos y paleoalteraciones.

ABSTRACT

We have studied the heavy fractions and the light ones of the Permian detritical materials which are found just under the base of Buntsandstein, and so they are affected by the pretriassic alteration we have obtained some results about the characteristic of these alteration, and tests about the results of the heavy minerals tecnic and the light fraction in the study of paleosoil and paleoalteration.

INTRODUCCIÓN

Los trabajos realizados en los cuatro o cinco últimos años sobre el Pérmico y el Triásico de la Cordillera Ibérica y bordes del Sistema Central han mostrado que los materiales que se encuentran inmediatamente por debajo de la base del Buntsandstein, independientemente de su edad y naturaleza, se hallan más o menos alterados y rubefactados. Este fenómeno era prácticamente desconocido y hasta el momento ha sido muy poco estudiado, reduciéndose todos los datos disponibles a unas cuantas menciones (VIRGILI, HERNANDO, RAMOS y SOPEÑA, 1973, a y b; RAMOS y SOPEÑA, 1976), un artículo específico sobre el

* Departamento de Geología. Facultad de Farmacia.

** Departamento de Estratigrafía y Geología Histórica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense, Madrid.

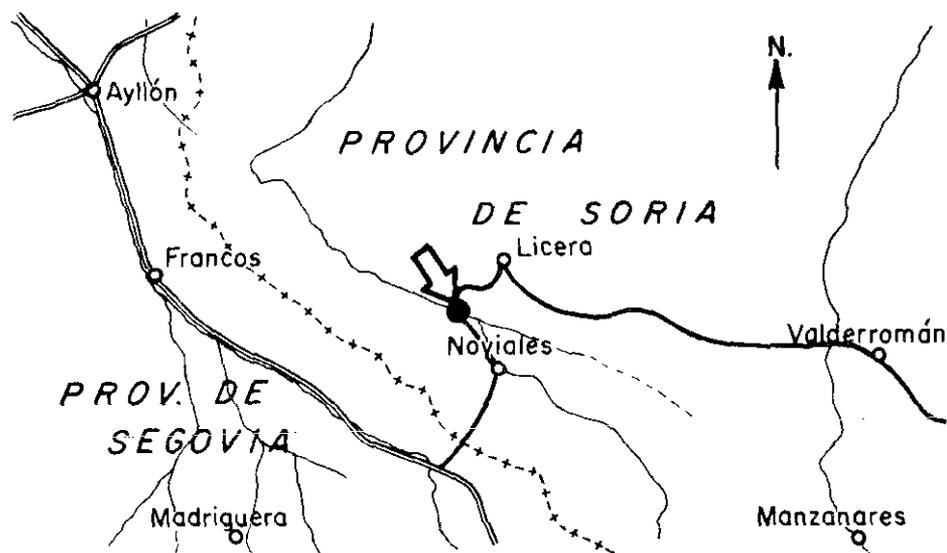
tema (VIRGILI, PAQUET y MILLOT, 1974) y una somera descripción y discusión de posibilidades sobre su origen en la tesis doctoral de uno de nosotros (HERNANDO, S., 1975).

Como antecedentes básicos hay que considerar a los dos últimos trabajos. En el primero, VIRGILI, PAQUET y MILLOT (1974) estudian las alteraciones basándose fundamentalmente en los minerales de las arcillas, encontrando que dicha alteración es «caolinizante», para después hacer una discusión sobre si la alteración es climática o póstuma, llegando a la conclusión de que existen ambos hechos, aunque no siempre se encuentra la de tipo póstumo. Después discuten su edad, para finalmente hacer una interpretación sobre el clima, indicando que era de tipo cálido intermedio estacional, con períodos húmedos y secos alternativos.

En el segundo, HERNANDO, S. (1975), se plantea que tal alteración se da, incluso, sobre los materiales detríticos del Pérmico, hecho demostrado en parte por el estudio de los minerales pesados. También se plantea el hecho de que esa alteración y rubefacción estuviesen ligadas a importantes procesos de tipo edafológico, de manera que la erosión posterior eliminase los suelos propiamente dichos, dejando sólo los horizontales más inferiores, parte del material original de la roca madre en vías de alteración.

Fueron los datos del primer trabajo y los resultados previos del segundo los que han llevado a estudiar este problema desde un punto de vista si se quiere más edafológico, teniendo en cuenta que se disponía de un punto óptimo en el que el Triásico se apoya sobre el Pérmico, también constituido por materiales detríticos, lo que permite el estudio de alteraciones de minerales pesados bajo un aspecto edafológico y donde además se puede asegurar que no hay restos de una posible alteración póstuma que enmascare la alteración original.

El lugar sobre el que se centra el presente estudio está situado en la parte Sur de la provincia de Soria, muy cerca del límite de ésta con las de Segovia y Guadalajara (Fig. 1). Geológicamente, esta región pertenece a la Cordillera Ibérica, en el lugar de intersección de ésta con el Sistema Central.



En el estudio de las fracciones pesadas del Pérmico de la región Ayllón-Atienza (Segovia, Soria y Guadalajara) (HERNANDO, S., y HERNANDO, J., 1976) se aprecia que aparecen continuamente minerales pesados no muy resistentes e incluso un predominio considerable de ferromagnesianos (biotita y micas verdes), acompañados de granates y de minerales resistentes clásicos (turmalina, circón, minerales de titanio, etc.). Se observó en dicho trabajo que en las partes del Pérmico que se encuentran inmediatamente debajo del Buntsandstein desaparecían buena parte de estos minerales no muy resistentes, apareciendo porcentajes mayores de minerales pesados resistentes. Así, desaparecen apatito, andalucita, distena, silimanita, granate y, en muchas ocasiones, biotita. Esto nos llevó a considerar que la alteración que afectó a estas partes del Pérmico de la región estudiada influyó muy profundamente sobre los minerales pesados.

ALTERACIÓN DE LOS MINERALES PESADOS

Se ha realizado un estudio mineralógico de la fracción arena de unas muestras de la parte anteriormente citada y se ha comprobado la desaparición de los minerales pesados menos resistentes que aparecían en el resto de los materiales pérmicos, presentándose como mineral poco resistente, a veces con elevados porcentajes, biotita. Se ha efectuado el recuento de los minerales en tres fracciones de arena limpia comprendidas entre 0,200 y 0,125, 0,125 y 0,063, y 0,063 y 0,037 milímetros, con el fin de estudiar la alteración de los minerales en función de las variaciones de porcentaje según los tamaños.

En primer lugar hay que destacar la presencia casi constante de estaurolita en casi todas las muestras. Las muestras 03, 05 y 08 (Fig. 2, tabla I) son ricas en este mineral. En todas ellas se acumula en las fracciones de mayor tamaño, disminuyendo en las fracciones menores, con la consiguiente acumulación relativa de minerales resistentes (turmalina y circón).

En 01 y 08 (tabla I) aumenta la moscovita sobremanera en la fracción de menor tamaño. La moscovita es considerada como uno de los minerales más resistentes a los agentes atmosféricos. Estas moscovitas aparecen en láminas de bordes redondeados generalmente.

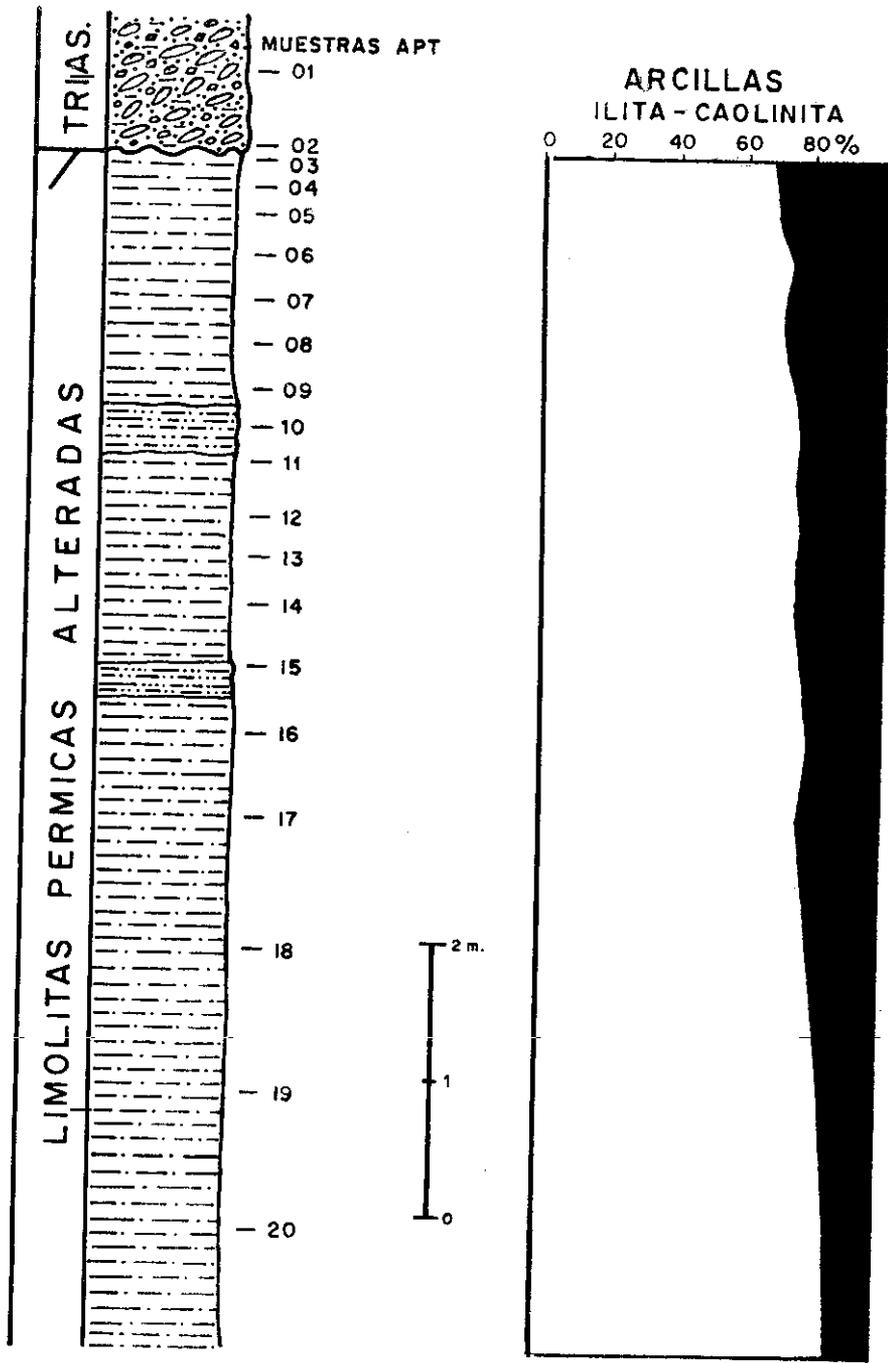
La mayor estabilidad de la moscovita frente a la estaurolita se debe a la presencia en esta última de hierro ferroso, que al oxidarse puede destruir la red. De hecho, en las muestras ricas en estaurolita aparecen muchas alteraciones de la misma, perdiendo los granos su pleocroísmo y ennegreciéndose. Si el hierro ferroso pasa a férrico por un proceso de óxido-reducción, habrá una inestabilidad electrónica en la red del mineral y algún catión deberá abandonarla para seguir siendo eléctricamente neutra, aumentando aún más la inestabilidad. Los cationes que sustituyen al hierro ferroso en la estaurolita son generalmente el magnesio y el manganeso.

En 04, 06, 07, 09, 10, 11, 17, 18 y 19 (tabla I) se presenta también bastante cantidad de estaurolita, aunque con menores porcentajes que en las muestras anteriormente citadas. Igualmente disminuye la cantidad de estaurolita a medida que la fracción se hace menor, debido, como en el caso anterior, a que al presentar mayor superficie al disminuir el tamaño puede ser más fácilmente atacada en las fracciones menores, pudiendo desaparecer de las mismas.

El ferromagnesiano más importante que se presenta en las muestras estudiadas es la biotita. Aparece con porcentajes medios en 06, 08, 12 y 20, y con

	0.2	-0.125	8	Turmalina	Cirón	Rutilo	Anatasa	Broquita	Titanita	Biotita	Moscovita	Mica verde	Estaurilita	Distena	Andalucita	Sillimanita	Glaucofana	Apatito	Castertita	Epidota	V. volcánico	Monacita	Hiperstena	Carbonatos	Hematites	Gochlita	Magnetita	Leucoxeno	Ilmenita	Ilmeno-Rutilo	Pirita	Alteritas
APT. 01	0.2	-0.125	8		P								92							2	2			7			2	14	13	1	5	
	0.125	-0.063	22	6	1					9	30	17	60											14			18	10		20		
	0.063	-0.037	16	32	3					3	9	82	84											P			e			30		
APT. 02	0.2	-0.125	5					1		2	2	52	78											3			P	P	P	14		
	0.125	-0.063	6	26	3	1					9	84	52											P			P	P	P	14		
	0.063	-0.037	14	26	3	1					2	78	52											3			6	8		8		
APT. 03	0.2	-0.125	20	1	1					2	2	18	18											5			30	9	7	3		
	0.125	-0.063	30	45	4	1					6	1	1											5			8			3		
	0.063	-0.037	3	83	6						7	14	14											8			30	9	7	3		
APT. 04	0.2	-0.125	57	29							7	18	18								5			17			5	6		1		
	0.125	-0.063	35	35																							5	6		1		
	0.063	-0.037	e	+																							5	6		1		
APT. 05	0.2	-0.125	2						1	2	1	2	95											4			2			30		
	0.125	-0.063	5	6	3				1	10	2	75	75											1			8	6	1	1	23	
	0.063	-0.037	86	4					2	2	2	6	6											1			20	12				
APT. 06	0.2	-0.125	9						26	50	6	9	9											1			3	1		4		
	0.125	-0.063	24	14	1				16	21	4	19	19			1								13			2	52	36	5		
	0.063	-0.037	2	69	12	10			4	4	3	3	3											6			19	8	4			
APT. 07	0.2	-0.125	20							69	11	11	11														9			4		
	0.125	-0.063	18	1	1			1		68	10	10	10			1											26	4	7			
	0.063	-0.037	19	65	5				11	11																	20	3	2			
APT. 08	0.2	-0.125	12						15	20	12	45	45			1											5	12	2			
	0.125	-0.063	16	12	8			4	3	18	36	36	36														24	8	73	66	12	
	0.063	-0.037	4	13	1				1	81	1	1	1														3	15	1			
APT. 09	0.2	-0.125	40							41	19	19	19														26	4	7			
	0.125	-0.063	35	25	4				30	30	6	6	6														35			6		
	0.063	-0.037	10	89					7	7	1	1	1														20			6		
APT. 10	0.2	-0.125	75								18	18	18														5	10		5		
	0.125	-0.063	41	35	11						12	12	12														50	20	4	24		
	0.063	-0.037	5	80	10				5	5																	60	19	10	6		

	Turmalina	Circon	Rutilo	Anatasa	Brooquita	Tiranita	Biotita	Moscovita	Mica verde	Estaurrolita	Distena	Andalucita	Sillimanita	Glaucofana	Apatito	Castierita	Epidota	V. volcánico	Monacita	Hiperstena	Carbonatos	Hematites	Goethita	Magnetita	Leucoxeno	Ilmenita	Ilmeno-Rutilo	Pirita	Alteritas
	0,2 -0,125	55	6	4						25	3	7										30	7	42	8			12	
APT. 11	0,125-0,063	19	38	15	3		7	13		3						2						25	15	36	14	3		9	
	0,063-0,037	24	70				1	5														12	12	30	8	4			
APT. 12	0,2 -0,125	72	18	8			20	1	6	6											1	4	8	28	28		14		
	0,125-0,063	29	85				12	19	6	3				1							2	1	27	34	11	2	2	5	
	0,063-0,037	10					5															7						7	
APT. 13	0,2 -0,125	1					64	16	18	1												+100	3	18	19				
	0,125-0,063	1	3				95			1												3			1				
	0,063-0,037	45	33				12	10		2												1	1	1	1				
APT. 14	0,2 -0,125	1					97															1	1	1	1				
	0,125-0,063	5		1			15	40	38						1							1	2	4	8	1		1	
	0,063-0,037	86		1			9	2								2						7	2	9	5			6	
APT. 15	0,2 -0,125	19	26	8			72		4	1					3					1		24	10	35	43	21		23	
	0,125-0,063	29	26	8	1		1			1					7							4		4	4	10			
	0,063-0,037	5	90	3			25															23		23					
APT. 16	0,2 -0,125	28	2				70																30		10				
	0,125-0,063	32	33				34																						
	0,063-0,037	30	70																										
APT. 17	0,2 -0,125	70	13					1		16					1							2	3	54	13			5	
	0,125-0,063	27	58	10						4												3	7	20	20	3	1	4	
	0,063-0,037	2	37	1																		1	10	6	2	1	1	24	
APT. 18	0,2 -0,125	50	13							25					12							1	25	7	10	15		10	
	0,125-0,063	18	47	10						3												2	6						
	0,063-0,037	11	84	5				15																				16	
APT. 19	0,2 -0,125	52	16							32												2	3	56	15			8	
	0,125-0,063	2	65	9				2		1												1	2	15	5	10		8	
	0,063-0,037	98		2																		1	1	4	3			2	
APT. 20	0,2 -0,125	36								5												18	3	54	34			17	
	0,125-0,063	12	51	2	1					5												3	3	48	39	18		22	
	0,063-0,037	2	94	2				12														3	3	3	8			6	



porcentajes altos en 13, 14 y 15 (tabla I). Ahora bien, en función del fraccionamiento le sucede lo mismo que a la estaurilita: desaparece en las fracciones menores, pasando, con probabilidad, a las fracciones finas a ilitas por pérdida de potasio interlaminar.

El hecho de que en algunas muestras aparezca biotita en proporciones elevadas, como hemos dicho anteriormente, parece indicar, frente a las muestras en que no aparece o lo hace con bajos porcentajes, que no han sufrido tanta alteración; pero, en realidad, se puede pensar que han resistido en los sedimentos por alguna causa específica capaz de su conservación: falta de humedad, capas impermeables, exceso de biotitas, o ser producto de transformación de otros minerales.

Las micas verdes aparecen esporádicamente con bajísimos porcentajes en estas muestras, mientras que en el resto del Pérmico su presencia es frecuente y con mayores porcentajes.

Tanto las biotitas como las micas verdes no se presentan frescas, sino en vías de alteración: biocolores, resquebrajadas, decoloradas en los bordes o en buena parte de las láminas, lo que indica una fuerte lixiviación de cationes; incluso se han observado biotitas decoloradas en casi su totalidad, reconocibles al microscopio por el pequeño valor del ángulo de los ejes ópticos.

Es preciso hacer notar la desaparición en estas muestras del granate, presente y abundante en ocasiones en el resto del Pérmico. El granate es un mineral bastante resistente a las acciones físicas; sin embargo, es alterable químicamente, tanto más, seguramente, cuanto más hierro ferroso presente. El análisis de almandino de andesitas (OLIVER, 1956) presenta un porcentaje de hierro ferroso de hasta 34,30 por 100 expresado en FeO; la espesartina pegmatítica (STROCK, 1930), de un 14,27 por 100, y el piropo, desde un 6,17 por 100 a 19,63 por 100, según sus orígenes (DEER, HOWIE and ZUSSMANN, 1962).

Opacos

Hematites: Se presenta en todas o casi todas las muestras, pero en APT-13 aparece con un porcentaje elevadísimo. En los sedimentos es un mineral común; se forma, a menudo de manera autigénica, como consecuencia de la alteración de viejas formaciones (aluviales u otras), cosa que podría haber sucedido en las muestras estudiadas, a partir del hierro liberado en la alteración de minerales con mayor o menor porcentaje de hierro en su composición.

Goethita-Estilpnosiderita: También se presenta en casi todas las muestras estudiadas, pero con menores porcentajes que las hematites. Se forma por alteración.

Tanto la hematites como la goethita-estilpnosiderita aparecen en granos de aspecto terroso, granudos, esféricos (hematites oolítica), pero nunca con aspecto cristalográfico.

Minerales de titanio: Los opacos más abundantes en estas muestras son leuxeno, ilmenita e ilmeno-rutilo (nigrina). El leucoxeno se presenta en todas las muestras y con porcentajes generalmente elevados. El leucoxeno es un producto de alteración de los minerales de titanio primarios o secundarios. Se parece al óxido de titanio más o menos hidratado a veces con óxido férrico, sílice, etc. La mayor parte de los leucoxenos, según KUKHARENKO (1961), parecen ser finos agregados de rutilo, a veces mezclados con anatasa y otros minerales finamente dispersos. La ilmenita puede alterarse a leucoxeno, pero es un mineral bastante estable, por lo que soporta condiciones de alterabilidad

muy grandes. El ilmeno-rutilo (nigrina) también es muy estable y resiste la alteración, que a veces le afecta, pasando a leucoxeno.

Alteritas: No aparecen con porcentajes elevados, pero siempre se acumulan en las fracciones de mayor tamaño y desaparecen, en la mayoría de las muestras, en las fracciones menores. En las muestras muy ricas en estauro-lita se observan alteraciones de este mineral. El hecho de que no aparezcan más alteritas puede deberse a que la alteración ha sido lo suficientemente poderosa para destruirlas, quedando las de algunos minerales, como las de estauro-lita citadas, por ser éste un mineral considerado como bastante estable.

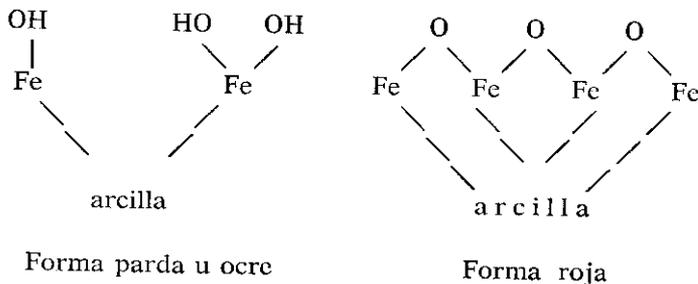
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos de los minerales pesados llegamos a la conclusión de que la alteración en estas muestras ha sido bastante intensa.

Por otra parte, estos materiales se encuentran rubificados. La rubefacción queda en parte enmascarada en las muestras estudiadas por el intenso color marrón de las mismas, pero en lugares cercanos adonde el Buntsandstein se apoya sobre materiales de otro color, sea cual sea su litología, esta rubefacción es muy intensa y bastante profunda (hasta 10 ó 12 metros).

Se sabe ahora que la rubefacción está ligada a un proceso de deshidratación de los óxidos de hierro, cualquiera que sea su estado: cristalino o amorfo (SCHWERTMANN y col., 1966; SOILEAU y col., 1967). El hierro en los materiales rubificados se puede encontrar en dos formas: una, ligada a la arcilla y considerada a menudo como «amorfa» (10-14 por 100 del peso de la arcilla como máximo). El excedente, si existe, tiene tendencia a evolucionar aisladamente y a tomar forma cristalina; constituye entonces el cemento de finas concreciones llamadas, a menudo, pseudo-limos (SEGALEN, 1964; ESWARAN y col., 1970; BOTNER, 1971).

Si la forma llamada «amorfa» ligada a las arcillas está hidratada da color pardo, mientras que si está deshidratada da color rojo. Estos dos estados se pueden esquematar así:



Esta deshidratación, más o menos completa (lo que explica los colores intermedios, al igual que la cantidad de hierro pelicular), está evidentemente ligada al clima. Pero intervienen igualmente factores bioquímicos: una cantidad elevada de calcio y también de materia orgánica en medio aireado frena la rubefacción.

La forma «cristalina» constituye, como hemos dicho, el cemento de los pseudo-limos, cuyo color está ligado igualmente al porcentaje de agua de los

óxidos de hierro cristalinos: la hematites deshidratada es roja, la goethita es ocre.

Para que se produzca el proceso de rubefacción en un material es preciso, pues, la presencia de hierro libre. Este hierro proviene en el caso que se presenta de la alteración de minerales que lo poseen en mayor o menor proporción: biotita, estauroilita, granates tipo almandino, espesartina, piropo, etc.

Podría pensarse que la disminución de porcentaje de algunos minerales, incluso algunos bastante estables, en las fracciones menores se debe a que en la roca original no existían en tamaños pequeños, pero en HERNANDO, S., y HERNANDO, J. (1976), se ve que esto no es cierto, sino todo lo contrario, por lo que hay que admitir que esos minerales han desaparecido por alteración, liberando hierro en este proceso alguno de ellos.

Para que se produzca una rubefacción es necesario un clima de tipo cálido contrastado con períodos húmedos y de sequía acentuada. La humedad y el calor son un factor dominante y fundamental en la alteración de los minerales, mientras que la sequía es factor fundamental en la deshidratación de los ácidos de hierro hidratados dando colores rojos.

Por otro lado, la alteración en climas cálidos es muy profunda, actuando fuertemente sobre los minerales primitivos. La alteración se produce generalmente por una hidrólisis neutra o poco ácida, por lo que se conservan los hidróxidos de hierro liberados. Desde el punto de vista de formación de arcillas se observa que en climas cálidos la neoformación de éstas es muy importante, de manera que la montmorillonita predomina en medios confinados neutros y con abundancia de cationes bivalentes, mientras que la caolinita es neoformada en los medios mejor drenados y pobres en dichos cationes (PAQUET, 1969). Este caso es en el que nos encontramos, ya que en un anterior trabajo (VIRGILL, PAQUET y MILLOT, 1974) hablan de que esta alteración es altamente caolinizante, dato que concuerda totalmente con lo anteriormente dicho sobre la rubefacción.

Aunque la alteración ha sido muy intensa en este caso, no ha llegado al extremo de que se borrara totalmente el espectro mineralógico original, de manera que se han conservado algunas especies minerales, tales como estauroilita, moscovita, algunas biotitas puntualmente, etc.

Respecto al problema de las biotitas hay que decir que el granate puede alterarse por acciones químicas y transformarse en otros minerales; así, el *almandino* presenta tendencia a recubrirse por alteración de una costra quelifítica. La quelifita es un producto verdoso de alteración, que es un entrelazado de anfíbol fibroso y feldespatos anortíticos; sin embargo, es más frecuente una transformación en clorita y epidota, y menos frecuente el paso a biotita, horblenda, feldespato, hematites, etc. La espesartina, por alteración, pasa a biotita. Y el piropo tiene tendencia a transformarse en quelifita y también da como producto de alteración minerales cloríticos (PÉREZ MATEOS, 3, 1965).

Según lo anteriormente dicho, podría suceder que las biotitas y cloritas de algunas de las muestras aquí estudiadas fuesen producto de la alteración química de los granates desaparecidos en las partes del Pérmico alteradas. Además, en HERNANDO, S., y HERNANDO, J. (1976), se dice que la mayor parte de los granates del Pérmico deben proceder de las andesitas de la parte baja, y, por otro lado, también se dice que en el área madre existían pegmatitas, rocas que aportan granates con alto porcentaje de hierro ferroso. La presencia de este hierro supone la reducción de la estabilidad estructural de los minerales

que lo poseen, en este caso los granates, pues al oxidarse algún catión debe abandonar la estructura para mantener la neutralidad electrostática.

Resumiendo, se aprecia una clara alteración de los minerales pesados de los materiales pérmicos que se encuentran en contacto con el Buntsandstein. También se aprecia una rubefacción de dichos minerales, de manera que puede casi asegurarse que el hierro que colorea los sedimentos dentro de zona de alteración procede de la descomposición de los minerales más ricos en hierro, tales como biotitas, estaurolititas y las diversas variedades de granates desaparecidas.

Por otro lado, la presencia de minerales tipo mica, fácilmente alterables, que teóricamente no deberían aparecer, puede ser debida a que proceden de la alteración de otros minerales.

El estudio complementario de los materiales por rayos X ha dado efectivamente un enriquecimiento en caolinita, de manera que cuando están sin alterar tienen como máximo de 6 al 8 por 100, mientras que cuando están alterados su porcentaje se eleva del 20 al 30 por 100 (Fig. 2), siendo el resto en ambos casos fundamentalmente ilitas, algunas de las cuales deben provenir de la pérdida del potasio interlaminar de las micas en los materiales alterados. Bajo otro punto de vista, se ha observado que en estos materiales, tanto por rayos X, como en fracción ligera, han desaparecido las ortosas tan abundantes en los materiales sin alterar, por lo que hay que suponer que parte del exceso de caolinita que contiene debe proceder de la descomposición de las ortosas primitivas.

BIBLIOGRAFIA

- BOTTER, P. (1971): «These Fac. Sci. Montpellier».
- DEER, W. A., HOWIE, R. A., y ZUSSMAN, J. (1962): «Rock-Forming Minerals».
- DUCHAUFOUR, Ph. (1972): «Procesus de Fortation des Sols. Biochimie et Geochimie». C.R.D.P. Nancy.
- ESWARAN, H. y SYS, C. (1970): *Pedologie, Gand*, XX (1), 62.
- KUKHARENKO, A. A. (1961): «Mineralogie des girements alluviomaires». Gosgdtekhizdat. Moscou.
- HERNANDO, S. (1975): Pérmico y Triásico de la región Ayllón-Atienza (provincias de Segovia, Soria y Guadalajara). Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Complutense. Madrid.
- HERNANDO COSTA, S. y HERNANDO COSTA, J. (1976): Estudio de las fracciones pesadas del Pérmico de la región Ayllón-Atienza (Segovia, Soria y Guadalajara). *Estudios Geológicos*, 32, 77-94.
- PÉREZ MATEOS, J. (1965): «Análisis mineralógico de arenas». Patronato «Alonso de Herrera». C.S.I.C. Madrid.
- RAMOS, A. y SOPEÑA, A. (1976): «Estratigrafía del Pérmico y Triásico en el sector Tamajón-Pálmaces de Jadraque (Guadalajara)». *Estudios Geol.* 32, 61-76.
- SCHWERTMANN, U., y LENTZE, W. (1966): *Zeitsch. f. Pflanz, u. Boden*, 115 (3), 209.
- SEGALEN, P. (1964): *Initiations documentations techniques*. ORSTOM. París.

- STROCK, L. W. (1930): «Spessartintite from avondale, Delewere County, Pensylvania». Amer. Min. vol. 15.
- OLIVER, R. L. (1956): «The origin of grannets in the Borrowdale Wolcanin Series and associated rocks, Englis Lake District» Geol. Mag. vol. 93.
- VIRGILI, C.; HERNANDO, S.; RAMOS, A. y SOPEÑA, A. (1973 a): Nota previa sobre el Pérmico de la Cordillera Ibérica y bordes del Sistema Central. Acta Geol. Hispánica, 8, 1-9.
- VIRGILI, C.; HERNANDO, S.; RAMOS, A., y SOPEÑA, A. (1973 b): La sedimentation permienne au centre de l'Espagne C. R. Somm. Soc. Géol. France, 15, 109-112.
- VIRGILI, C.; PAQUET, H. y MILLOT, G. (1974): Alterations du Soubassement de la Couverture Permo-Triasique en Espagne. Bull. Groupe Franc. Argiles, t. XXVI, págs. 277-285.