

VERMICULITA EN SUELOS DESARROLLADOS SOBRE GNEIS

I. HERNANDO MASSANET*, J. HERNANDO COSTA*, A. BARBA CARRETERO* y C. BARBA SOLANA**.

* Departamento de Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. Ciudad Universitaria. Plaza Ramón y Cajal s/n. 28040 Madrid.

** Centro de Microscopía Electrónica de la Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid.

Abstract. The chemical composition of vermiculites in parent material and in the clay size fraction of soils are studied by Analytical Transmission Electron Microscopy (T.E.M.). The soils are: dystric, eutric, umbric and mollic Leptosols; eutric and dystric Cambisols; and haplic Phaeozems (FAO, 1998). The parent material is a gland gneis. The gneis vermiculite is dioctahedral with hydroxy aluminium inter-layered. The vermiculites of the clay size fraction into the soils horizons are di-trioctahedral and in some cases are the same to vermiculite of the gneis.

In temperate climate and lightly acid environments, in Lozoya river Valley (Guadarrama Ridge. Madrid), the di-trioctahedral vermiculite of the soils is formed by biotite weathering or from chlorite by the following sequence: Biotite Chlorite Vermiculite.

Key words: Vermiculite, gneiss, soils, T.E.M.

Resumen. Se establece la composición química de vermiculitas mediante microscopía electrónica de transmisión (M.E.T.), en la fracción arcilla de suelos desarrollados sobre gneis glandular en distintas vertientes del Valle del río Lozoya, en la Sierra de Guadarrama: puerto de Morcuera, puerto de Navafría y Cerro de la Cruz. Los suelos son Leptosoles dísticos, eútricos, úmbricos y móllicos; Cambisoles eútricos y dísticos y Phaeozems háplicos (FAO, 1998). Las vermiculitas del gneis son dioctaédricas con hidróxidos de aluminio interlaminares (identificadas en gneis reducido a tamaño inferior a 2 μm), mientras que las vermiculitas de la fracción arcilla de los suelos son, predominantemente di-trioctaédricas.

En climas templados y medios ligeramente ácidos, la biotita del suelo se transforma en vermiculita di-trioctaédrica por pérdida progresiva de potasio interlaminares y de magnesio de la capa octaédrica; además, se produce una oxidación del hierro ferroso, con destrucción de dicha capa y posterior reorganización. En esta nueva capa octaédrica, el hierro oxidado y el aluminio reemplazan al hierro ferroso y al magnesio en algunas posiciones.

Palabras clave: Vermiculita, gneis, suelos, M.E.T.

INTRODUCCIÓN

En la fracción arcilla, la vermiculita aparece en numerosos tipos de suelos bajo diversas condiciones de alteración, desde las zonas polares a las tropicales, pasando por zonas templadas y subtropicales, en las que es de

los minerales de arcilla más abundantes. En España, son comunes en los suelos desarrollados a partir de granitos, granodioritas, adamellitas, esquistos, gneis y migmatitas, que contienen considerable cantidad de micas. Estas zonas españolas se caracterizan por un clima mediterráneo templado fresco.

Se conocen diversas clases de vermiculita: trioctaédrica, trioctaédrica con hidróxidos interlaminares, dioctaédrica, dioctaédrica con hidróxidos interlaminares (Kirkland y Hajek, 1972) y di-trioctaédrica (Barshad y Kish, 1969).

Vicente et al. (1977), en un modelo experimental de alteración de biotita en medio ácido, identifican vermiculitas y vermiculitas con hidróxidos de aluminio interlaminares. Consideran que estos últimos provienen de la alteración de biotita por pérdida de aluminio de la red del filosilicato y su posterior incorporación al espacio interlaminar, en el que, parcialmente hidroxilado, queda retenido. Righi y Meunier (1995), en suelos templados europeos, a partir de rocas ácidas, en el Macizo Central francés, identifican vermiculitas dioctaédricas y trioctaédricas en el material de partida y en las fracciones finas de los suelos desarrollados a partir de dicho material. Estas vermiculitas pueden ser heredadas o provenir de la alteración de las micas. Dichos autores consideran que en la fracción más gruesa de la arcilla y en el limo los filosilicatos son heredados (micas, cloritas, vermiculitas e interestratificados mica-vermiculita y clorita-vermiculita), mientras que en la fracción más fina de la arcilla identifican vermiculitas e interestratificados micas-vermiculitas de transformación de micas. Ezzaim et al. (1999), en suelos pardos ácidos de la región de Beaujolais (Francia) encuentran interestratificados mica-vermiculita con hidróxidos interlaminares, generados a partir de la alteración de biotita; dichas vermiculitas pueden ser trioctaédricas con hidróxidos de aluminio interlaminares. En trabajos de Barba et al. (1993, 1995 a y 1995 b) y de Hernando et al. (1990), en suelos generados a partir de gneis glandular, establecen la composición mineralógica de las fracciones densas y ligeras de la arena fina, así como la composición mineralógica de la fracción arcilla en los distintos horizontes de los suelos, poniendo de manifiesto la evolución de los filosilicatos en

el paso roca-suelo y señalan la abundancia de vermiculita en los mismos.

El objeto de este trabajo es el de establecer la composición química y la génesis de los distintos tipos de vermiculita existentes en la fracción arcilla de suelos desarrollados a partir de un gneis glandular, en los que la vermiculita es el producto final de la alteración de biotita en las condiciones ambientales del medio.

MATERIAL Y METODOS

El estudio se ha realizado en Leptosoles, Cambisoles y Phaeozems, así como en el gneis glandular (material de partida común a todos ellos) reducido a tamaño inferior a dos μm .

Los suelos se distribuyen en las laderas del Valle del río Lozoya (Morcuera, Navarra y Cerro de la Cruz), a unas altitudes comprendidas entre los 1100 m y los 1780 m. La vegetación varía en función de la altitud y de la orientación de la ladera. En Morcuera: piornal, melojar y en el fondo del valle, pradera; en Navarra: pinar y melojar; y en el Cerro de la Cruz aparece un bosque mixto de sabinas, enebros y encinas.

La Sierra de Guadarrama constituye una barrera continua de 1500 m de altitud, con algunos picos que sobrepasan los 2000 m. El tipo climático de las zonas de estudio es mediterráneo templado fresco, con un régimen térmico pirenaico y un régimen de humedad, mediterráneo húmedo.

Las propiedades morfológicas y la clasificación de suelos se realizaron según F.A.O. (1977, 1998); el color se determinó con la Soil Color Chart (Munsell, 1975); el estudio en lámina delgada de la roca por microscopía petrográfica; el contenido en materia orgánica, según Walkley y Black (1974); la textura, contenido en nitrógeno total, pH en agua y en solución de cloruro potásico, capacidad de cambio total, bases de cambio y extracción de la fracción arcilla, siguiendo la metodología propuesta por I.S.R.I.C. (1993).

Los análisis de vermiculita se han realizado por microscopía electrónica de transmisión (M.E.T.), utilizando un Espectrómetro AN 10000 Link con detector de Si-Li, de ventana ultrafina, instalado en un microscopio analítico JEOL, modelo JEM 2000 FX (220 Kv), siguiendo las indicaciones de Beaman et al. (1972), Albee (1977), Tanaka et al. (1989) y Barba et al. (1991), previa preparación de la muestra de arcilla suspendiéndola en agua y dispersándola por sonicación; posteriormente se deposita sobre una rejilla de cobre cubierta con una película de carbono con orificios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las propiedades morfológicas, físicas y químicas de los suelos se presentan en las tablas 1 y 2. Se trata de suelos poco profundos, en general, de colores pardos, con bajos valores de los "values" en los horizontes organominerales. Las texturas van de arenosa a arenosa franca, con bajos contenidos de arcilla, y la estructura es granular, de moderada a débil. El contenido en materia orgánica es más alto que la media de los suelos españoles. Las relaciones C/N indican procesos de humificación de mediana intensidad. El pH suele ser ligeramente ácido, ligado a las condiciones climáticas, vegetación y material de partida. En algunos suelos el grado de saturación en bases es alto, impartiendo un carácter mólico. En el Cerro de la Cruz, a pesar del material originario ácido, el grado de saturación elevado permite el desarrollo, o al menos permanencia del sabinar, que aparece generalmente sobre materiales carbonatados.

En las tablas 3 a 6 se indica la composición química de las distintas vermiculitas analizadas por M.E.T. en la fracción arcilla de algunos horizontes de los suelos y en el gneis reducido a tamaño inferior a dos μm . Los datos se expresan en porcentajes de óxidos de los distintos elementos.

El estudio en lámina delgada del gneis muestra un metamorfismo regional profundo, en función de su textura y composición mineralógica: abundantes minerales aluminicos (moscovita, biotita, granate, silimanita, etc.), junto a los mayoritarios cuarzo y feldespatos, que forman cristales de tamaño grande y medio. La biotita, más abundante que el resto de las micas, en ocasiones se transforma total o parcialmente en clorita verde (I.G.M.E., 1980), también identificada en dicho estudio. En un estudio anterior, Barba (1993) identifica junto a los minerales anteriormente citados, vermiculita, caolinita, illita e interstratificados mica-clorita y clorita-vermiculita. El posible origen metamórfico de la vermiculita ha sido indicado por Black (1975), Velde (1978, 1985) y McDowell y Elders (1985). Dichos autores consideran la vermiculita como un mineral accesorio que coexiste con clorita y biotita.

La vermiculita del gneis es dioctaédrica con hidróxido de aluminio interlaminaar, de acuerdo con la composición química dada por Kirkland y Hajek (op.cit.), con porcentajes de óxido de aluminio comprendidos entre el 37,28% y el 45,10%. También se identifican vermiculitas con hidróxidos de hierro interlaminaares (tabla 3).

Las vermiculitas de la fracción arcilla de los distintos Leptosoles, Cambisoles y Phaeozems analizadas presentan una composición química a medio camino entre la vermiculita dioctaédrica y la trioctaédrica, con un alto contenido en aluminio, pero no tanto como para clasificarlas como dioctaédricas con hidróxidos de aluminio interlaminaares, y con menor contenido en magnesio que las vermiculitas trioctaédricas de Douglas (1989). Por lo tanto, las vermiculitas encontradas se pueden clasificar como di-trioctaédricas, muy similares en su composición a las citadas por Barshad y Kishk (op.cit.) en suelos desarrollados a partir de gneis.

Las vermiculitas di-trioctaédricas se forman a partir de la alteración de biotita del

TABLA 1. Propiedades morfológicas y clasificación de los suelos.

Horizonte	Profundidad (cm)	Color		Textura	Estructura	Clasificación (*)
		húmedo	seco			
Puerto de la Moarcuera:						
Perfil P.1	Pendiente del	15%; orientación E-NE.				
Ah1	0-20	10YR 3/1	10YR 3/2	Ar.	2gra.f.	Cambisol dístrico
Ah2	20-30	10YR 4/1	10YR 4/2	Fco.-Ar.	2gra.f.	
Bw	30-35	10YR 5/4	10YR 6/4	Ar. Fca.	2 p. f.	
Perfil P.2	Pendiente del	25%; orientación NE.				
Ah1	0-20	10YR 3/1	10YR 3/3	Ar.	1gra.m.	Leptosol úmbrico
Ah2	20-30	10YR 3/3	10YR 5/3	Ar.	1gra.f.	
Perfil P.3	Pendiente del	25%; orientación N.				
Ah	0-40	10YR 3/1	10YR 3/3	Ar. Fca.	2gra.f.	Phaeozem háplico
Perfil P.4	Pendiente del	10%; orientación SO.				
Ah1	0-10	10YR 3/3	10YR 4/3	Ar.	1gra.f.	Leptosol dístrico
Ah2	10-35	10YR 4/4	10YR 5/3	Ar. Fca.	1gra.f.	
Perfil P.6	Pendiente del	25%; orientación N.				
Ah1	0-10	10YR 2/2	10YR 3/1	Fco.-Ar.	1gra.m.	Phaeozem háplico
Ah2	10-20	10YR 3/1	10YR 4/2	Fco.-Ar.	1gra.f.	
Ah3	20-70	10YR 3/2	10YR 4/1	Ar. Fca.	1gra.f.	
Perfil P.7	Pendiente del	25%; orientación N.				
Ah	0-40	10YR 3/2	10YR 4/2	Fco.-Ar.	1gra.m.	Cambisol eútrico
Bw	40-80	10YR 4/3	10YR 6/3	Ar. Fca.	2 p. m.	
Perfil P.8	Pendiente del	1%; orientación E.				
Ah	0-5	10YR 4/2	10YR 6/3	Fco.-Ar.	1gra.m.	Cambisol eútrico
Bw	5-55	10YR 4/4	10YR 7/3	Fco.-Ar.	1gra.m.	
Perfil P.10	Pendiente del	1%; orientación SE.				
Ah1	0-10	10YR 3/1	10YR 4/2	Fco.-Ar.	2gra.f.	Phaeozem háplico
Ah2	10-30	10YR 3/2	10YR 5/2	Fco.-Ar.	2gra.f.	
Bw	30-60	10YR 5/2	10YR 6/3	Fco.-Ar.	2gra.f.	
Puerto de Navafría:						
Perfil P.11	Pendiente del	5%; orientación N-NE.				
Ah	0-15	10YR 3/2	10YR 3/3	Ar. Fca.	2gra.f.	Leptosol úmbrico
Perfil P.12	Pendiente del	20%; orientación N.				
Ah	0-30	10YR 3,5/2	10YR 4/2	Fco.-Ar.	1gra.f.	Leptosol úmbrico
Perfil P.13	Pendiente del	15%; orientación N.				
Ah	0-30	10YR 3/3,5	10YR 4/4	Ar. Fca.	1gra.f.	Cambisol dístrico
Bw	30-50	10YR 7/4	10YR 7/3	Ar. Fca.	2p. m.	
Perfil P.14	Pendiente del	30%; orientación E-NE.				
Ah	0-6	10YR 3/3	10YR 4/3	Fco.-Ar.	2gra.f.	Cambisol eútrico
Bw	6-30	10YR 4/3	10YR 4/4	Fco.-Ar.	2p. m.	
El Chaparral:						
Perfil P.15	Pendiente del	2%; orientación E.				
Ah	0-35	7,5YR 4/2	7,5YR 5/4	Fco.-Ar.	2gra.f.	Leptosol eútrico
Perfil P.16	Pendiente del	10%; orientación E.				
Ah	0-15	7,5YR 3/2	10YR 4/3	Ar. Fca.	2gra.f.	Leptosol úmbrico
Perfil P.17	Pendiente del	1%; orientación NE.				
Ah	0-40	10YR 3/3	10YR 5/3	Ar. Fca.	2gra.f.	Leptosol móllico

TEXTURA: Ar.- arenosa, Fco.-Ar.- francoarenosa, Ar. Fca.- arenosa franca.

ESTRUCTURA: 1.- débil; 2.- moderada; 3.- fuerte; gra.- granular; p.- particular; f.- fina; m.- media; g.- gruesa

TABLA 2. Propiedades físicas y químicas de los suelos.

Horizonte	C (%)	M.O. (%)	N (%)	C/N	pH		T (*)	S (*)	V (%)	Ca ²⁺ (*)	Mg ²⁺ (*)	K ⁺ (*)	Na ⁺ (*)
					H ₂ O	ClK							
Puerto de la Morcuera:													
Perfil P.1													
Ah1	7,80	13,45	0,52	15,01	5,00	4,61	23,60	6,19	26,65	3,76	0,87	0,35	1,21
Ah2	7,37	12,70	0,62	11,88	4,90	4,11	21,56	5,92	27,46	3,86	0,82	0,25	0,99
Bw	1,63	2,81	0,20	8,15	4,58	3,76	12,46	2,91	23,35	0,48	0,47	1,12	0,84
Perfil P.2													
Ah1	7,24	12,48	0,42	17,23	5,65	5,08	10,35	4,80	46,38	1,60	0,73	1,41	1,06
Ah2	4,20	7,24	0,28	15,00	5,50	4,53	10,02	7,63	76,15	3,74	1,71	1,34	0,84
Perfil P.3													
Ah	14,48	24,96	1,02	14,19	5,80	5,09	23,65	12,92	54,63	7,07	2,16	2,68	1,01
Perfil P.4													
Ah1	6,08	10,47	0,44	13,79	5,67	5,11	8,85	6,45	72,80	2,62	1,21	1,79	0,83
Ah2	2,37	4,08	0,26	9,11	4,87	4,39	10,83	4,11	37,95	0,94	0,81	1,45	0,91
Perfil P.6													
Ah1	4,31	7,43	0,45	9,58	6,26	5,34	30,54	22,25	72,86	16,60	2,41	1,99	1,25
Ah2	2,36	4,06	0,25	9,42	6,19	5,67	26,99	15,63	57,91	11,20	1,82	1,71	0,90
Ah3	2,80	4,83	0,36	7,77	6,05	5,25	15,52	8,54	55,06	5,25	1,18	1,39	0,72
Perfil P.7													
Ah	2,98	5,13	0,28	10,64	6,50	5,72	18,12	16,57	91,44	12,80	1,12	1,39	1,26
Bw	0,13	0,23	0,11	1,20	5,77	5,56	9,41	4,36	46,29	1,75	0,95	0,94	0,72
Perfil P.8													
Ah	2,95	5,09	0,33	8,89	6,25	5,94	16,49	7,89	47,85	3,74	2,65	0,80	0,70
Bw	0,98	1,69	0,16	5,99	5,54	4,56	10,64	5,39	50,66	3,12	1,36	0,36	0,55
Perfil P.10													
Ah1	3,67	6,33	0,42	8,66	6,13	5,70	14,95	8,25	55,18	3,99	3,08	0,48	0,70
Ah2	1,60	2,76	0,32	5,04	5,91	5,43	11,87	7,29	61,41	3,98	2,37	0,25	0,69
Bw	1,02	1,76	0,20	5,20	6,70	5,88	10,97	7,58	69,09	3,93	2,74	0,22	0,69
Puerto de Navafra:													
Perfil P.11													
Ah	7,25	12,45	0,34	21,10	5,35	4,70	25,15	6,26	24,87	4,00	1,38	0,41	0,47
Perfil P.12													
Ah	5,17	8,88	0,26	19,86	5,29	4,45	21,05	5,20	24,70	4,75	0,21	0,13	0,11
Perfil P.13													
Ah	4,30	7,38	0,22	19,54	5,40	4,55	19,10	6,74	35,29	5,50	0,56	0,40	0,28
Bw	2,08	3,57	0,15	13,80	4,80	4,00	14,20	6,88	48,45	6,00	0,31	0,25	0,32
Perfil P.14													
Ah	7,03	12,07	0,36	19,79	5,85	4,95	25,20	22,87	90,75	18,00	3,45	1,26	0,16
AB	3,38	5,81	0,17	19,37	4,90	3,80	16,37	6,91	42,21	4,75	0,93	0,40	0,83
El Chaparral:													
Perfil P.15													
Ah	2,84	4,88	0,19	15,07	6,40	5,34	6,99	5,73	81,97	4,45	0,30	0,67	0,31
Perfil P.16													
Ah	2,45	4,21	0,21	11,46	5,90	4,69	9,00	4,32	48,00	3,08	0,26	0,70	0,28
Perfil P.17													
Ah	2,06	3,54	0,17	12,05	6,44	5,36	6,06	4,91	81,02	3,42	0,30	0,66	0,53

M.O.- Materia orgánica; C- Carbono; N- Nitrógeno; C/N- Relación Carbono/Nitrógeno;

T- capacidad total de cambio; S- suma de bases, V- grado de saturación; (*)- Expresado en cmol.kg⁻¹.

TABLA 3. Composición química de vermiculitas identificadas por M.E.T. en gneiss, reducido a tamaño inferior a 2 μm (en %).

SiO ₂	47.01	42.50	45.83	40.33	46.16
Al ₂ O ₃	38.18	39.79	41.04	39.68	33.89
K ₂ O	5.80	6.89	8.90	1.43	4.62
FeO+Fe ₂ O ₃	5.31	9.19	2.68	13.04	10.14
MgO	3.70	1.62	1.56	3.17	5.19
CaO	—	—	—	0.56	—
TiO ₂	—	—	—	1.78	—

gneis en un clima templado y medio moderadamente ácido. Esta alteración conlleva una pérdida de potasio interlaminar y de magnesio de la capa octaédrica; en dicha capa se produce una oxidación del hierro ferroso, con destrucción de la misma y posterior reorganización. En esta nueva capa octaédrica, el aluminio y el hierro trivalentes reemplazan al magnesio y al hierro divalentes en algunas posiciones, por lo que un filosilicato, en principio trioctaédrico, se convierte en di-trioctaédrico, lo que se pone de manifiesto por la composición química de las vermiculitas de los suelos (tablas 4, 5 y 6). Esta nueva vermiculita es muy común en suelos y fue citada por Velde (1985).

En un suelo de Navafría (P.14) se identifica vermiculita alumínica con hidróxido de aluminio interlaminar, como la que aparece en el gneis, que puede ser heredada del gneis o bien formarse por aporte de aluminio hidroxilado dada su posición de piedemonte, por lo que se recogen las soluciones que provienen de más arriba en la ladera. Rich (1968) indica que las condiciones óptimas de formación de esta vermiculita se dan en medios moderadamente ácidos, bajos contenidos en materia orgánica, condiciones oxidantes y ritmos de humectación y sequía, condiciones que no se cumplen en Navafría, sobre todo en lo que se refiere al contenido en materia orgánica y los ritmos de humectación y sequía. Sin embargo estas condiciones no son del todo limitantes. Graham y Buol (1990), en suelos desarrollados sobre gneis y esquistos, con moscovita, biotita, clorita, cuarzo y plagioclasas, en el

Blue Ridge Front (North Carolina), identifican minerales tales como interestratificados biotita-vermiculita y vermiculita con hidróxidos interlaminares. Fitcher et al. (1998), en Dystrochreps bajo bosques, en los Vosgos (Noreste de Francia), desarrollados a partir de granito, encuentran transformaciones de illita en interestratificados illita-vermiculita por pérdida parcial de potasio, disminución de la carga por pérdida de aluminio de la capa tetraédrica y subsecuente ganancia en sílice. La posibilidad de formación de polímeros de hidroxialuminio interlaminares se debe a la presencia de compuestos amorfos de aluminio generados en un proceso actual; dicho proceso es similar al citado por nosotros en el caso de P.14 de Navafría. Chiang et al. (1999), en suelos ácidos de bosques alpinos de Taiwan, identifican vermiculita y vermiculita con hidróxidos interlaminares a partir de areniscas y pizarras, dando como condiciones favorables para su formación: pH moderadamente ácido (4,6-5,8), frecuentes ciclos de humectación y sequía, bajo contenido en materia orgánica y condiciones oxidantes. Estas vermiculitas con hidróxidos interlaminares son consideradas como productos intermedios del proceso de alteración de micas. Velde (1995) admite la transformación de minerales trioctaédricos en dioctaédricos y viceversa. Esto podría suponer que, en nuestro caso, las vermiculitas alumínicas con hidróxidos de aluminio interlaminares del gneis de partida pasaran en la fracción arcilla de los suelos como un estadio intermedio de vermiculitas di-trioctaédricas. Sin embargo,

TABLA 4. Composición química de vermiculitas identificadas por M.E.T. en la fracción arcilla (en %), Puerto de la Morcuera.

Suelo	P.1		P.2		P.3		P.4		P.6		P.7		P.8		P.10	
	Ah1	Ah1	Ah1	Ah2	Ah	Ah2	Ah2	Ah2	Ah3	Ah3	Ah3	Ah	Ah	Ah	Bw	Bw
Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15
SiO ₂	40.54	37.54	42.74	44.24	45.55	47.46	35.95	42.11	40.44	36.63	40.26	35.51	39.75	38.19	40.87	40.87
Al ₂ O ₃	29.74	29.20	35.58	33.37	33.33	32.81	32.24	33.37	34.30	30.22	28.74	22.14	22.31	30.88	33.64	33.64
MgO	4.53	6.69	2.63	1.93	-	-	2.88	1.41	1.68	4.00	2.63	8.11	10.89	7.30	4.74	4.74
K ₂ O	3.63	2.35	2.46	2.94	2.11	3.69	2.43	3.86	4.00	3.94	4.94	6.56	6.09	0.57	1.41	1.41
FeO+Fe ₂ O ₃	19.31	19.74	10.75	11.14	10.04	9.19	16.81	14.53	16.29	22.77	19.50	24.61	17.58	22.64	17.06	17.06
TiO ₂	2.23	2.23	0.25	-	5.99	0.47	9.39	-	0.23	2.44	1.61	3.08	3.48	-	1.51	1.51
CaO	-	1.14	1.81	2.09	2.15	2.43	0.58	1.32	1.77	-	2.03	-	-	0.42	0.77	0.77
Cl	-	1.09	0.30	0.54	-	0.37	-	0.80	-	-	-	-	-	-	-	-
P	-	-	2.08	1.56	-	1.92	-	1.68	-	-	-	-	-	-	-	-
S	-	-	1.38	1.42	-	1.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	-	-	-	0.88	-	-	-	0.91	1.30	-	0.29	-	-	-	-	-

TABLA 5. Composición química de vermiculitas identificadas por M.E.T. en la fracción arcilla (en %).
Puerto de Navarra

Suelo	P.11			P.12				P.13		P.14			
	Ah	AB	AB	AB									
Horizontes	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
SiO ₂	38.27	35.87	36.77	37.88	39.14	37.32	38.91	41.23	37.41	37.46	40.91	35.97	39.09
Al ₂ O ₃	28.12	27.13	28.89	32.77	35.55	31.97	22.99	33.64	27.64	29.09	37.95	38.43	31.05
MgO	8.19	8.61	9.43	6.07	4.51	8.04	8.78	2.69	7.65	9.67	5.15	3.61	8.08
K ₂ O	1.74	0.84	3.13	3.07	2.04	3.37	7.72	2.14	5.68	6.26	0.61	1.87	5.25
FeO+Fe ₂ O ₃	23.68	26.70	17.79	20.19	16.51	16.87	18.55	17.02	18.79	15.91	15.38	14.44	15.13
TiO ₂	-	-	2.53	-	2.25	2.57	3.15	0.84	2.00	1.68	-	0.33	1.24
CaO	-	0.47	0.55	-	-	-	-	-	-	-	-	0.70	-
Cl	-	0.37	0.68	-	-	-	-	-	0.57	-	-	0.31	-
P	-	-	-	-	-	-	-	2.44	-	-	-	4.30	-

TABLA 6. Composición química de vermiculitas identificadas por M.E.T. en la fracción arcilla (en %).
Cerro de la Cruz.

Suelo	P.15		P.16		P.17	
	Ah	Ah	Ah	Ah	Ah	Ah
Muestras	29	30	31	32	33	34
SiO ₂	35.23	36.90	37.55	35.94	36.96	40.15
Al ₂ O ₃	34.70	32.36	31.92	29.91	30.85	28.62
MgO	5.49	7.64	5.58	9.19	6.83	5.60
K ₂ O	2.88	3.50	4.32	3.04	2.69	6.12
FeO+Fe ₂ O ₃	15.68	15.05	14.98	18.49	16.36	15.45
TiO ₂	1.85	-	1.84	2.94	2.66	1.66
CaO	-	0.81	-	-	1.48	-
Cl	0.27	-	0.34	0.32	0.41	0.29
P	2.61	2.36	1.86	-	1.33	1.08
S	0.92	1.16	-	-	-	0.46
MnO	0.29	-	0.23	-	0.24	-
Na ₂ O	-	-	1.38	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	0.38

la estabilidad de las primeras es tanto mayor, incluso que la de la caolinita, según indican Zelazny et al. (1975) y Karathanasis et al (1983).

En los suelos de la Sierra de Guadarrama, la baja estabilidad de los minerales primarios ferromagnesianos, permite una liberación significativa de hierro; este elemento, más o menos hidroxilado, puede participar en la formación de minerales tales como vermiculita con hidróxido de hierro interlamina (Vicente et al., 1983) y en la formación de fases cripto-

cristalinas externas de Fe.OOH (Farmer et al. 1971), fenómeno que se traduciría, en nuestro caso, en una elevación del contenido en hierro como se refleja en los análisis químicos de las vermiculitas estudiadas (tablas 3 a 6).

La vermiculita fue seleccionada para este trabajo porque es el punto final de la alteración de biotita en estos ambientes, en los que los silicatos laminares esmectíticos son raros y las caolinitas presentes no provienen de la alteración de filosilicatos, sino de la alteración de feldespatos (Barba et al., 1993, 1995a).

CONCLUSIONES

Los suelos estudiados se encuentran en estado estacionario, es decir, en equilibrio con las condiciones ambientales en las que se desarrollan, por lo que evolucionan tan lentamente que sus propiedades apenas varían. Estos suelos son pobres en arcillas, y dentro de esta fracción, la vermiculita es un mineral abundante. Aparecen en los Solum dos clases de vermiculitas: las ditrioctaédricas, muy comunes, y puntualmente, dioctaédricas con hidróxidos de aluminio interlaminares. Las primeras proceden de la alteración de biotita, dado que en su composición química existe TiO_2 , K_2O y en algunas presencia de MnO_2 , elementos comunes en capas octaédricas (Ti y Mn) y entre las láminas (K); de aquí que en algunos casos, las vermiculitas presenten un exceso de K_2O . El elevado contenido de Fe va ligado a la formación de hidróxidos de Fe interlaminares o a la formación de fases criptocristalinas externas de $\text{FeO} \cdot \text{OH}$. No se puede descartar que en algunas ocasiones estas vermiculitas provengan directamente de la alteración de biotita, sino que se formen a través de cloritas intermedias: Biotita---Clorita---Vermiculita; cloritas se han identificado tanto en el gneiss, como en las fracciones arena y arcilla de los suelos, pero en pequeñas cantidades.

La vermiculita dioctaédrica con hidróxido de Al interlaminares, que aparece puntualmente en los suelos de Navafría, proviene de las vermiculitas del gneiss por microdivisión.

REFERENCIAS

- Albee, A.L. (1977). Quantitative analysis of petrographic properties and of mineral compositions with a computer-controlled energy-dispersive system. Proc. 8th. Intern. Conf. X-Ray Optics and Microanalysis. Proc. 12th MAS Conf., 181.
- Barba Carretero A. (1993). Estudio químico y mineralógico de suelos desarrollados sobre gneis y migmatitas. Variación en la composición de los minerales de arcilla en los procesos de alteración. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, España.
- Barba Carretero A., Hernando Massanet M.I., Hernando Costa J., Barba Solana C. (1993). Cloritas de suelos desarrollados sobre gneis en el Valle de El Poular. In Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Ed.). El estudio del suelo y de su degradación en relación con la desertificación. *XII Cong. Latinoam. de la Ciencia del Suelo*. Tomo III. Salamanca. España.
- Barba Carretero A., Hernando Massanet M.I., Hernando Costa J., Barba Solana C. (1995a). Caolinita en suelos ácidos. *XX Reunión Nacional de Suelos*. Tomo de Comunicaciones. Dep. Edafología. U.C.M. Madrid.
- Barba Carretero A., Hernando Massanet M.I., Hernando Costa J., Barba Solana C. (1995b). Composición de micas ilitas en suelos de montaña desarrollados bajo robledal y pinar. *Historia Natural* 93. 29-38. Jaca (Huesca, España).
- Barba Solana C., Baldonado Rodríguez J.L., García Álvarez F. (1991). Determinación de la resolución espacial y de los factores K de Cliff-Lorimer en un microscopio JEOL 2000 FX. *Revista de Metalurgia*, C.E.N.I.M., Madrid, 397-402.
- Barshad I., Kishk F.M. (1969). Chemical composition of soil vermiculite clays as related to their genesis. *Contrib. Mineral. Petrol.* 24:136-155.
- Beaman D.R., Solosky L.F. (1972). Accuracy of quantitative Electron Probe Microanalysis with Energy Dispersive Spectrometers. *Anal. Chem.* 44(9):1598-1610.

- Black P.M.(1975). Mineralogy of New Caledonian metamorphic rocks. IV. Sheet silicates from Onégoa district. *Contrib. Min. Petr.* 49:269-284.
- Douglas L.A.(1989). Vermiculites, 259-292. In Dixon & Weed (Eds.). Minerals in Soil Enviroments. *Soil Sci. Soc. of Am.* Madison, Wisconsin, U.S.A.
- Ezzaim A., Turpault M.P., Ranger J.(1999). Quantification of weathering processes in an acid brown soil developed from tuff (Beaujolais, France). Part II. Soil formation. *Geoderma* 87: 155-177.
- FAO(1977). Guía para la descripción de perfiles del suelo. Roma.
- FAO(1998).World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Report. 84. ISSS-AISS-IBG. ISRIC. 88 pp.
- Farmer V.C., Russell J.D., McHardy W.J., Newman A.C.D., Ahlrichs J.L., Rimsaite J.Y.H.(1971). Evidence of loss of protons and octahedral iron from oxidized biotites and vermiculites. *Mineral Mag.* 38: 121-137.
- Feldman S.B., Zelazny L.W., Baker J.C.(1991). High-elevation forest soils of the Southern Appalachians: II. Geomorphology, pedogenesis and clay mineralogy. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 55: 1782-1791.
- Fitcher J., Turpault H.P., Dambine E., Ranger J.(1998). Mineral evolution of acid forest soils in the Strengbach catchment (Volges Mountains, NE France). *Geoderma* 82.315-340. Elsevier.
- Ghabru S.K., Mermut A.R., Arnaud R.J.S.T.(1987). The nature of weathered biotite in sand-sized fractions of Gray Luvisols.(Boral) in Saskatchewan, Canada. *Geoderma*,40:65-82.
- Graham R.C., Buol S.W.(1990). Soil geomorphic relations on the Blue Ridge Front II: Soil characteristics and Pedogenesis. *Soil Science Soc. Am. Jorunal.*, 54, 1367-1377.
- Hernando I., Barba A., Barba C., Hernando J.(1990). Variación en las características de los suelos de una catena de la Sierra de Guadarrama (Puerto de la Morcuera, Madrid, España). *Memorias del XI Congreso Latinoamericano y II Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo.* Vol.II. La Habana. Cuba. pg. 423-425.
- Hsion-Chuah Chiang, Ming-Kuang Wang, Kun-Huang Houg, White N., Dixon J.(1999). Mineralogy of B horizon in alpine forest soils of Taiwan. *Soil Science.* 164: 111-122. Lippincott William & Wilkins, Inc. U.S.A.
- I.G.M.E.(1980). Mapa Geológico de España nº38. Segovia. Escala 1:200000.
- I.S.R.I.C.(1993). Procedures for Soil Analysis. Wageningen, The Netherlands.
- Karathanasis, Adams A.D.F., Hajek B.F.(1983). Stability relationships in Kaolinite, Gibbsite and Al-hydroxy interlayered Vermiculite soil sistems. *Soil Sci. Soc. Am.* 3, 47:1247-1251.
- Kirkland, D.L., Hajek, B.F.(1972). Formula derivation of Al-interlayered vermiculite in selected soil clays. *Soil Sci.* 114:317-322.
- MacDowell S.D., Elders W.A.(1985). Authigenic layer silicate minerals in Borehole Elmore 1, Salton Sea geothermal field, California, U.S.A. *Contrib. Min. Petr.*74:293-310.
- Munsell, (1975). Soil Color Charts. Edit. Kollmorgen Corp. Maryland, USA.
- Rich C.L.(1968). Hydroxy interlayers of vermiculite. *Soil Sci. Am.Proc.* 24, 15-30.
- Righi D., Meunier A. in Velde(1995). Origin and mineralogy of clays. Clays and the environment. Chap. 3. Springer 334pp.
- Soil Survey Staff.(1975). Soil Taxonomy. Soil Conservation Service of the U.S. Department of Agriculture.
- Soil Survey Staff.(1994). Keys to Soil Taxonomy. Crop and Soil Environmental Sciences Department, Virginia Polytechnic Institute and State University.

- Soil Conservation Service of the U.S. Department of Agriculture. Virginia. Sixth Edition.
- Tanaka M., Terauchi M., Kaneyama T.(1989). Convergent-beam Electron Diffraction II, JEOL Ltd.
- Velde, B.(1978). High temperature or metamorphic vermiculites. *Contr. Miner. Petr.* 66:319-323.
- Velde, B.(1985). Clay Minerals. A physico-chemical explanation of their occurrence. Developments in Sedimentology n° 40. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo.
- Velde, B.(1995). Origin and Mineralogy of Clays. Clays and the Environment. Springer.
- Vicente M.A., Razzaghe M., Robert M.(1977). Formation of aluminium hydroxy vermiculite (intergrade) and smectite from mica under acid conditions. *Clay Minerals* 12. pp.101-112.
- Vicente-Hernández J., Vicente M.A., Robert M., Goodman B.A.(1983). Evolution des biotites en fonction des conditions d'oxido-réduction du milieu. *Clay Mineral.* 18:267-275.
- Walkley A., Black I.A.(1974). A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soils. *Soil Sci.* 63, 251-254.
- Zelazny, J.W., Carlisle V.W., Calhoun F.G(1975). Clay mineralogy of selected Palendults from the Lower Coastal Plain. pg.180. In agronomy abstracts, ASA. Madison, WI.

