



MINERALOGÍA DE SUELOS DE LA SIERRA DE GUADARRAMA MADRID. ESPAÑA

Soils mineralogy of the Guadarrama ridge. Madrid. Spain

Hernando Massanet, M. I., Barba Carretero, A. M. y Hernando Costa, J.

Departamento de Edafología. Facultad de Farmacia. U.C.M. Plaza Ramón y Cajal s/n. 28040 Madrid

Resumen: Se estudia la composición mineralógica de las fracciones arena fina y arcilla en suelos del Sistema Central (Sierra de Guadarrama), desarrollados a partir de gneis glandular en clima templado, bajo una vegetación de piornal, melojar y pradera (Puerto de la Morcuera), pinar y melojar (Puerto de Navafría) y bosque mixto de sabinas, enebros y encinas (Cerro de la Cruz). Las unidades de suelos son Leptosoles dísticos, eútricos, úmbricos y móllicos; Cambisoles dísticos y eútricos; Luvisoles háplicos y Phaeozems háplicos (FAO 1998). La fracción ligera de la arena fina, formada por cuarzo, feldespatos y micas, caracteriza mineralógicamente estos suelos y refleja la composición mineralógica del material original. Los procesos de microdivisión, herencia y transformación generan la fracción arcilla, identificándose ilitas, vermiculitas, caolinita e interstratificados.

Palabras clave: Mineralogía, suelos, Sierra de Guadarrama, España.

Abstract: The mineralogy of fine sand (light and heavy fractions) and clay fractions of different soils are studied. The soils are distric, eutric, umbric y mollic Leptosols; distric and eutric Cambisols; haplic Luvisols and haplic Phaeozems (FAO 1998) in the Guadarrama ridge (Morcuera, Navafría and Cerro de la Cruz-El Chaparral) developed from gland gneiss and under different vegetation: shrublands of *Cytisus oromediterraneus-Genista florida* on Morcuera Port and Navafria Port, *Quercus pyrenaica* forest (in Morcuera) and *Pinus sylvestris* forest (in Navafría) on the middle slope and meadows on the valleys; on Cerro de la Cruz-El Chaparral there is a mixed woodland of *Juniperus oxycedrus*, *Quercus ilex* and *Juniperus thuriphora*. The climate of the study area is fresh temperate mediterranean, with 895 mm of precipitation and the mean annual temperature is 10.1 °C. In this study, we used polarization microscopy to identify the heavy minerals of the fine sand and X-ray diffraction to identify the light minerals of fine sand and the clay minerals. Loamy sand and sandy loam is the most common textural class in these soils. The light fraction of fine sand, the main mineralogical fraction of this soils, is constituted by quartz, feldspars and micas, this mineralogical assemblage also defines the mineralogical composition of parent material, gneiss. In the scarce heavy fraction of the fine sand micaceous minerals (mainly biotite and muscovite), metamorphic minerals (sillimanite, staurolite and garnet) and stable minerals (zircon and tourmaline) point out the same parent material, gneiss. The soils are autochthons. The inheritance and transformation processes are the origin of soil clays: illite, vermiculite, kaolinite and interlayered minerals like: micas-vermiculites, chlorite-vermiculite and micas-chlorite.

Key words: Mineralogy, soils, Sierra de Guadarrama, Central Spain.



M. I. Hernando Massanet, A. M. Barba Carretero y J. Hernando Costa (2004) Mineralogía de suelos de la Sierra de Guadarrama. Madrid. España. *Rev. C. & G.*, 18 (1-2), 67-71.

1. Introducción

Son numerosos los estudios que se han realizado y se siguen realizando sobre la identificación y

origen de la fracción mineral de suelos desarrollados sobre rocas ácidas en climas templados, y numerosas las controversias en cuanto a la interpretación del origen de los minerales sobre todo de

tamaño arcilla, ya que en dichos climas juega un papel fundamental la herencia, microdivisión y las posibles transformaciones muy limitadas; apareciendo conjuntamente minerales que se formaron en procesos hidrotermales, que afectaron a las rocas, con minerales de la misma o parecida composición mineralógica que se forman en el suelo, por ejemplo caolinita y vermiculita, de los que Deer *et al.* (1962) y Millot (1964) explican su posible origen hidrotermal. Allen y Hajek (1989), discuten ampliamente la existencia y significado de los minerales en los suelos a través de distintos autores, y en particular de los minerales propios de la fracción arcilla y su origen. Righi y Meunier (1995) realizan un estudio detallado sobre el origen y naturaleza de minerales de arcilla en suelos desarrollados en clima templado sobre granitos. Wilson (1999) en una recopilación sobre el pasado, presente y perspectivas futuras del origen y formación de minerales de arcilla en suelos, teniendo en cuenta las principales especies mineralógicas, indica distintas teorías sobre su aparición en los suelos bajo el punto de vista de los diferentes autores por él citados. Fichter *et al.* (1998) realizan un estudio mineralógico en suelos ácidos de bosque de los Vosgos, Francia, desarrollados sobre granitos en climas templados, poniendo de manifiesto la presencia de caolinita por transformación hidrotermal de biotita, pero también consideran la formación edáfica de dicho mineral en condiciones ácidas en horizontes superficiales, con buen drenaje. En la misma región de los Vosgos, dichos autores citan los estudios de suelos realizados por Tardy (1969) en los que indica la aparición de caolinita, asociada a albita, como producto de neoformación a partir de feldespatos.

Fichter *et al.* (1998), de acuerdo con Madsen y Nørnberg (1995), señalan la importancia que tiene el estudio de la fracción arena y limo de los suelos en clima templado, como precursores de las fracciones de tamaño más fino.

En este artículo se estudia la composición mineralógica de las fracciones arena fina y arcilla en suelos característicos de clima templado, desarrollados sobre material metamórfico, gneis, que presentan textura arenosa, y en los que la formación de arcilla es muy escasa. Su composición mineralógica indica su íntima relación con el material de partida, con ligeras transformaciones generadas en la edafogénesis.

2. Material y métodos

Para realizar el trabajo se utilizan las fracciones arena fina y arcilla de los distintos horizontes de Leptosoles dístricos (P.4), eútricos (P.15), úmbricos (P.2, P.11, P.12 y P.16) y móllicos (P.17); Cambisoles dístricos (P.1, P.5 y P.13), eútricos (P.7, P.8 y P.14); Luvisol háptico (P.9); Phaeozem háptico (P.3, P.6 y P.10) (FAO 1998) y del gneis descompuesto. Los suelos se encuentran en la Sierra de Guadarrama y se distribuyen en la vertiente norte del Puerto de la Morcuera, en la vertiente sur del Puerto de Navafría y en la vertiente sur del cerro de la Cruz. Se forman a partir de rocas metamórficas gneis, bajo vegetación de piornal, melojar y pradera (Puerto de la Morcuera); pinar y melojar (Puerto de Navafría) y bosque mixto de sabinas, enebros y encinas en el cerro de la Cruz. El clima de la zona es mediterráneo templado fresco, con una precipitación media anual de 895 mm, una temperatura media anual de 10.1 °C, y la evaporación potencial media anual es de 631 Elías del Castillo y Ruiz Beltrán (1977).

La preparación de la fracción arena fina para su estudio al microscopio petrográfico (fracción pesada) y para su estudio por difracción de rayos X (fracción ligera) se realiza siguiendo la metodología propuesta por I.S.R.I.C (1993). La fracción arcilla se extrae por sedimentación controlada (I.S.R.I.C 1993). La identificación de los minerales de arcilla y de la fracción ligera de la arena, así como del gneis descompuesto se realiza por difracción de rayos X en agregados orientados, calentados a 550 °C durante dos horas y solvatados con etilenglicol siguiendo las indicaciones de Brindley (1980) y Nemezc (1981).

3. Resultados y discusión

Texturalmente los suelos son franco-arenosos o arenosos-francos con escasa formación de fracción fina que se acumula en las zonas más estabilizadas: piedemonte, fondo del valle y vertientes cóncavas (Hernando *et al.* 2001).

La fracción ligera de la arena (dominante) es la que caracteriza mineralógicamente estos suelos, y está formada por cuarzo, feldespatos y micas (Tabla 1), reflejando la mineralogía del material original, gneis glandular. La presencia de caolinita,

Tabla 1. Minerales de la fracción ligera de la arena fina (2000 - 20 µm) y gneis descompuesto.
 Table 1. Mineralogical composition in light fraction of fine sand (2000 - 20 µm) and gneis.

Perfiles	Puerto de la Morcuera										Gneis	Puerto de Navafría				El Chaparral		
	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10		P-11	P-12	P-13	P-14	P-15	P-16	P-17
Micas	++	+++	+++	+++	+++	+++	++++	++	+++	++	+++	++	++	++	++	++	+++	
Vermiculitas	+	+	t	+	+	+	+	t	+	t	+	+	+	++	+	++		
IE Micas-Cloritas		t				t	+		t				+					
IE Micas-Vermiculitas	+		t					t										
IE Cloritas-Vermiculitas		t	t	+	+		+			+			++	+	t	t	t	
Cloritas						+	t				t		t	+	+	+	++	
Caolinita	+	+++	++	++	++	++	+++	+	+	t	++	++	++	++	+	++	+	
Cuarzo	+++	+++	+++	+++	++++	+++	+++	+++	+++	+++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	
Feldspatos	+	++	+++	++	++++	++	++	++	+++	+++	++++	+++	++++	+++	+++	+++	+++	

Abundancia estimada de minerales:

- t trazas
- + Muy escasos
- ++ Escasos
- +++ Abundantes
- ++++ Muy abundantes
- IE Interestratificados

vermiculita e interestratificados en la arena indica la alteración sufrida por los minerales primarios del gneis. Deer *et al.* (1962) contemplan la formación de caolinita a partir de la alteración de feldspatos, feldspatoides y otros ortosilicatos por procesos hidrotermales, principalmente; la formación de caolinita se produce a bajas temperaturas y condiciones ácidas por lo que las rocas que más fácilmente se alteran a caolinita son las de tipo ácido. Similar es la formación de vermiculita por alteración hidrotermal de biotita. La presencia de interestratificados en la fracción arena indica los estados intermedios de alteración de los minerales laminares. El origen hidrotermal de caolinita, considerado por Millot (1964), se opone totalmente bajo el punto de vista genético a la caolinita formada por procesos de alteración edáfica en clima tropical. Fichter *et al.* (1998), en suelos de clima templado desarrollados sobre granitos dan origen hidrotermal además de edafogenético a la caolinita.

La composición mineralógica de la fracción pesada de la arena (Tabla 2) (muy escasa) refleja la del material original. Los suelos de las tres zonas del valle están formados por micas (moscovita, biotita y, en ocasiones, clorita) y minerales propios del metamorfismo (sillimanita, estauroлита y granate), junto con minerales muy estables y muy representativos como son el circón y la turmalina, asociación acorde con la que muestra el gneis (tabla 2), material original de los suelos, lo que indica que los suelos son autóctonos. Apesar de que la situación topográfica de los perfiles es claramente diferente, son

muy homogéneos mineralógicamente. La presencia constante de biotita refleja que las condiciones ambientales no son agresivas: clima templado, vegetación mejorante en casi todos los enclaves, encontrándose los perfiles en fase de biostasia, en equilibrio con las condiciones ambientales.

Tabla 2. Asociaciones de minerales pesados de la arena fina y el gneis descompuesto.

Table 2. Heavy minerals in fine sand and gneis.

N.º de perfil	Asociación
<u>Puerto de la Morcuera</u>	
P-1	Biotita - Circón - Moscovita - Turmalina
P-2	Estauroлита - Circón - Biotita
P-3	Biotita - Turmalina - Moscovita
P-4	Granate - Sillimanita - Circón
P-5	Circón - Biotita - Sillimanita
P-6	Biotita - Sillimanita - Turmalina
P-7	Biotita - Moscovita - Granate
P-8	Circón - Granate - Turmalina
P-9	Granate - Circón - Turmalina
P-10	Circón - Turmalina - Granate
<u>Gneis descompuesto</u>	Circón - Turmalina - Granate
<u>Puerto de Navafría</u>	
P-11	Biotita - Clorita - Sillimanita
P-12	Moscovita - Biotita - Sillimanita
P-13	Biotita - Moscovita - Sillimanita
P-14	Biotita - Moscovita - Turmalina
<u>El Chaparral</u>	
P-15	Biotita - Moscovita - Turmalina
P-16	Turmalina - Biotita - Moscovita
P-17	Biotita - Sillimanita - Turmalina

Tabla 3. Minerales de la fracción arcilla (<2 µm).
Table 3. Mineralogical composition in clay fraction (<2 µm).

Puerto de la Morcuera																	
Perfiles	P-1			P-2		P-3	P-4		P-5		P-6			P-7		P-8	
Horizontes	Ah1	Ah2	Bw	Ah1	Ah2	Ah	Ah1	Ah2	Ah	Bw	Ah1	Ah2	Ah3	Ah	Bw	Ah	Bw
Ilitas	++	++	++	++	++	+	+	+	++	++	+	+	+	+	+	++	+++
Vermiculitas	++	++	++	++	++	++	++	++	t	+	++	+++	++	+++	+++	t	++
IE Micas-Cloritas				t	t	+		t		t						t	
IE Micas-Vermiculitas		+					t		t								
IE Cloritas-Vermiculitas			+								t		+		+	t	+
Cloritas																	
Caolinita	+	+	+	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+	t	++	+	+
Cuarzo	++	++	++	++	++	+	++	++	++	++	++	++	+	+	+	++	+++
Feldespatos	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	t	t	+	+

Puerto de la Morcuera						Puerto de Navarría					El Chaparral				
Perfiles	P-9			P-10			P-11	P-12	P-13		P-14		P-15	P-16	P-17
Horizontes	Ah1	Ah2	Bt	Ah1	Ah2	Bw	Ah	Ah	Ah	Bw	Ah	AB	Ah	Ah	Ah
Ilitas	+	++	+++	++	++	++	+	++	++	++	+	++	++	+	++
Vermiculitas	+	++	+++	++	++	++	+	++++	+++	t	+++	t	+	++	+++
IE Micas-Cloritas	t	+	+		+					t	+	t	t		t
IE Micas-Vermiculitas				+		t	t	t	++	t		t			
IE Cloritas-Vermiculitas					t								+		t
Cloritas							t	t	t		t	t	t	t	
Caolinita	+	++	+++	++	++	++	+	++	+	++	+	++	+	++	++
Cuarzo	+	+	+	+	+	+	+++	+++	++	+++	+	+++	++	+++	+++
Feldespatos	+	+	+	+	+	+	+	++	+	+	+	++	+	+	+

Abundancia estimada de minerales:

t trazas
+ Muy escasos
++ Escasos
+++ Abundantes
++++ Muy abundantes
IE Interestratificados

La formación de arcillas en clima templado es muy limitada, como se pone de manifiesto en estos suelos (Tabla 3), de manera que parte de los minerales de arcilla existentes en los mismos son heredados del material original que por microdivisión pasan a dicha fracción, ilita, vermiculita, interestratificados y caolinita ya presentes en la fracción arena (Tabla 1).

Brady y Weil (1996) indican que las micas finamente divididas (ilita), las cloritas y las vermiculitas se forman mediante una suave alteración de los aluminosilicatos primarios.

Singer y Munns (1992) consideran que las micas pasan a la fracción arcilla mediante procesos de hidrólisis, hidratación y oxidación. Según dichos autores, en la biotita, el Fe²⁺ puede oxidarse, libera K⁺ para mantener la neutralidad eléctrica y se debilita la estructura, posteriormente el Ca²⁺, Mg²⁺ y Na⁺ en la solución del suelo reemplaza al K⁺ perdido para formar vermiculita o montmorillonita. En nuestro caso, no se ha identificado montmorillonita.

Las ilitas y vermiculitas son el resultado de la alteración anteriormente citada a partir de moscovita y biotita, a su vez, las vermiculitas también pueden provenir de cloritas. Estas alteraciones se suman a los procesos de herencia para enriquecer las fracciones finas. Fanning *et al.* (1989), consideran las micas como precursores de vermiculita y esmectita; la transformación se realiza por reemplazamiento de cationes interlaminares “no cambiables”, generalmente K⁺, por cationes hidratados cambiables. Las micas, a menudo están formadas de partículas que han sido transformadas sólo parcialmente dando lugar a interestratificados. Los escasos interestratificados detectados en la fracción arcilla representan estadios intermedios de los procesos de alteración anteriormente citados. Fanning *et al.* (1989) consideran que además de la alteración química de las micas, existe una alteración física, por reducción del tamaño de partícula; la mayor parte de los minerales micáceos en los suelos son heredados del material original.

Millot (1964) explica la presencia de caolinita en zonas templadas como un mineral muy estable que aparece con mucha frecuencia. La caolinita en nuestros suelos se considera heredada del material original, ya que la formación edáfica de este mineral a partir de silicatos requiere condiciones de alteración extremas lo que no sucede en las zonas en las que nos encontramos.

En resumen: Los suelos son autóctonos. La presencia constante de biotita refleja que las condiciones ambientales no son agresivas. Los minerales que forman mayoritariamente la fracción ligera de la arena son los dominantes en la roca madre, gneis. La presencia de minerales propios de la arcilla en fracción ligera, son heredados del material de partida, originados por procesos hidrotermales.

Las ilitas de la fracción arcilla provienen directamente de la microdivisión de micas, fundamentalmente moscovita. Las vermiculitas provienen bien de la transformación de biotita o bien de moscovita a través de ilita. En este último paso se forman interestratificados micas-vermiculitas. Los interestratificados clorita-vermiculita señalan la transformación de clorita en vermiculita. Si la biotita se cloritiza se pueden generar interestratificados micas-cloritas presentes también en la arcilla. La caolinita, cuarzo y feldespatos son heredados del material de partida.

Referencias bibliográficas

- Allen, B.L. & Hajek, B.F. (1989). *Mineral occurrence in soils environment*, págs: 199-278. In Dixon and Weed (Eds.). *Minerals in soil environment*. Soil Science Society of America, Wisconsin, USA.
- Brady, N. C. & Weil, R. R. (1996). *The nature and properties of soils*. 11th Ed. 740 pp. Prentice Hall International Editions. New York.
- Brindley, G.W. & Brown, G. Eds. (1980). *Crystal structures of clay minerals and their X-Ray identification*, 495 pp. Mineralogical Society. London
- Deer, W., Howie, R. & Zussman, J. (1962). *Rock forming minerals*, Vol. 3. Sheet Silicates. 270 pp. Longmans, Green and Co. Ltd. London.
- Elias del Castillo, F. & Ruiz Beltrán, L. (1977). *Agroclimatología de España*. I.N.I.A. Cuaderno 7.
- FAO (1998). *World Reference Base for Soil Resources*. In: *World Soil Resources Report*, 84. ISSS-AISS-IBG.ISRIC. 88 pp.
- Fanning, D.S., Keramidas, V.Z. & El-Desoky, M.A. (1989). Micas, pp. 551-634. In Dixon and Weed (Eds.). *Minerals in soil environment*. Soil Science Society of America, Wisconsin, USA.
- Fichter, J., Turpault, M.P., Dambrine, E. & Ranger, J. (1998). Mineral evolution of acid forest soils in the Strengbach catchment (Vosges mountains, N-E France). *Geoderma*, 82: 315-340.
- Hernando Massanet, I., Hernando Costa, J., Barba Carretero, A. y Barba Solana, C. (2001). Vermiculita en suelos desarrollados sobre gneis. *Edafología*, 8: 9-19.
- I.S.R.I.C (1993). *Procedures for soil analysis*. Wageningen. The Netherlands.
- Madsen, H.B. & Nørnberg, P. (1995). Mineralogy of four sandy soils developed under heather, oak, spruce and grass in the same fluvio-glacial deposit in Denmark. *Geoderma*, 64: 233-256.
- Millot, G. (1964). *Géologie des argiles*, 499 pp. Masson et C^{ia}, Ed.
- Nemecz, E. (1981). *Clay minerals*, 547 pp. Edit Akadémic, Kiads. Budapest.
- Righi, D & Meunier, A. (1995). *Origin of clays by rock weathering and soil formation*, 43-161 pp. In: Velde, B. (Ed.). *Origin and mineralogy of clays. Clays and the environment*. Springer-Verlag, Berlín.
- Singer, M.J. & Muuns, D.N. (1992). *Soils. An introduction 2th Ed.* Maxwell International Company. 473. pp.
- Tardy, Y. (1969). *Géochimie des altérations stude des arènes et das eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique*. Thése, Université Louis Pasteur de Strasbourg, 199 pp.
- Wilson, M.J. (1999). The origin and formation of clay mierasls in soils: past, present and future perspectives. *Clay Minerals* 34: 7-25.

Recibido 12 de mayo de 2003
Aceptado 13 de octubre de 2003