

# CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y MINERALÓGICAS DE SUELOS DESARROLLADOS SOBRE MATERIAL BÁSICO DEL GRAN DIQUE DE ALENTEJO-PLASENCIA

M.<sup>a</sup> L. CEMBRANOS PÉREZ\*

**RESUMEN.**— En este trabajo se ponen de manifiesto las características químicas y mineralógicas de cinco suelos desarrollados sobre el material básico del dique de Alentejo-Plasencia, en dos áreas diferentes —extremos NE y SW—. Son suelos ligeramente ácidos, con texturas equilibradas y moderadamente ricos en materia orgánica. La saturación está de acuerdo con el pH, superior al 50%; y con gran liberación de óxidos de hierro y aluminio libres, mientras que el contenido en sílice libre es bajo.

La arena se caracteriza por la escasez de fracción pesada, con un valor medio de un 13%, y la asociación mineralógica de dicha fracción es: piroxenos-magnetita-epidota. En la fracción arcilla los componentes fundamentales son Illita y Caolinita.

**SUMMARY.**— The main chemical and mineralogical features of five soils developed on basic rocks in the big dike of Alentejo-Plasencia, in two different areas —NE and SW extremes— are described in this paper. The soils are lightly acid, with balancing textures and moderate rich in organic matter. The saturation is in agreement with the pH, wich is higher than 50%; and with large liberation of free iron and aluminium oxides, but the content in free silice is low.

The sand is poor in heavy fraction, with a middle value of 13%, and the mineralogical association in this fraction is: pyroxenes-magnetite-epidote. In the clay fraction the essentials components are Illite and Kaolinite.

**Palabras clave:** Alteración, estructura suelo, roca ígnea, arcilla mineral, Castilla-León (Ávila), Extremadura.

**Key words:** Weathering, Soil-structure, Igneous-rock, Clay-mineral, Castilla-Leon (Avila), Extremadura.

\* Dpto. de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias. Salamanca.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo forma parte de un conjunto dedicado al estudio de las características químicas y mineralógicas de suelos desarrollados sobre diferentes materiales, CEMBRANOS, M. L. (1978).

## SITUACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL DE ESTUDIO

Los suelos objeto de este estudio se han desarrollado sobre el gran dique básico de Alentejo-Plasencia, en dos áreas diferentes. (Figura 1, tomada de GARCÍA DE FIGUEROLA y TEIXEIRA, 1975). Tres de ellos (MC-3, 8 y 9) en el extremo

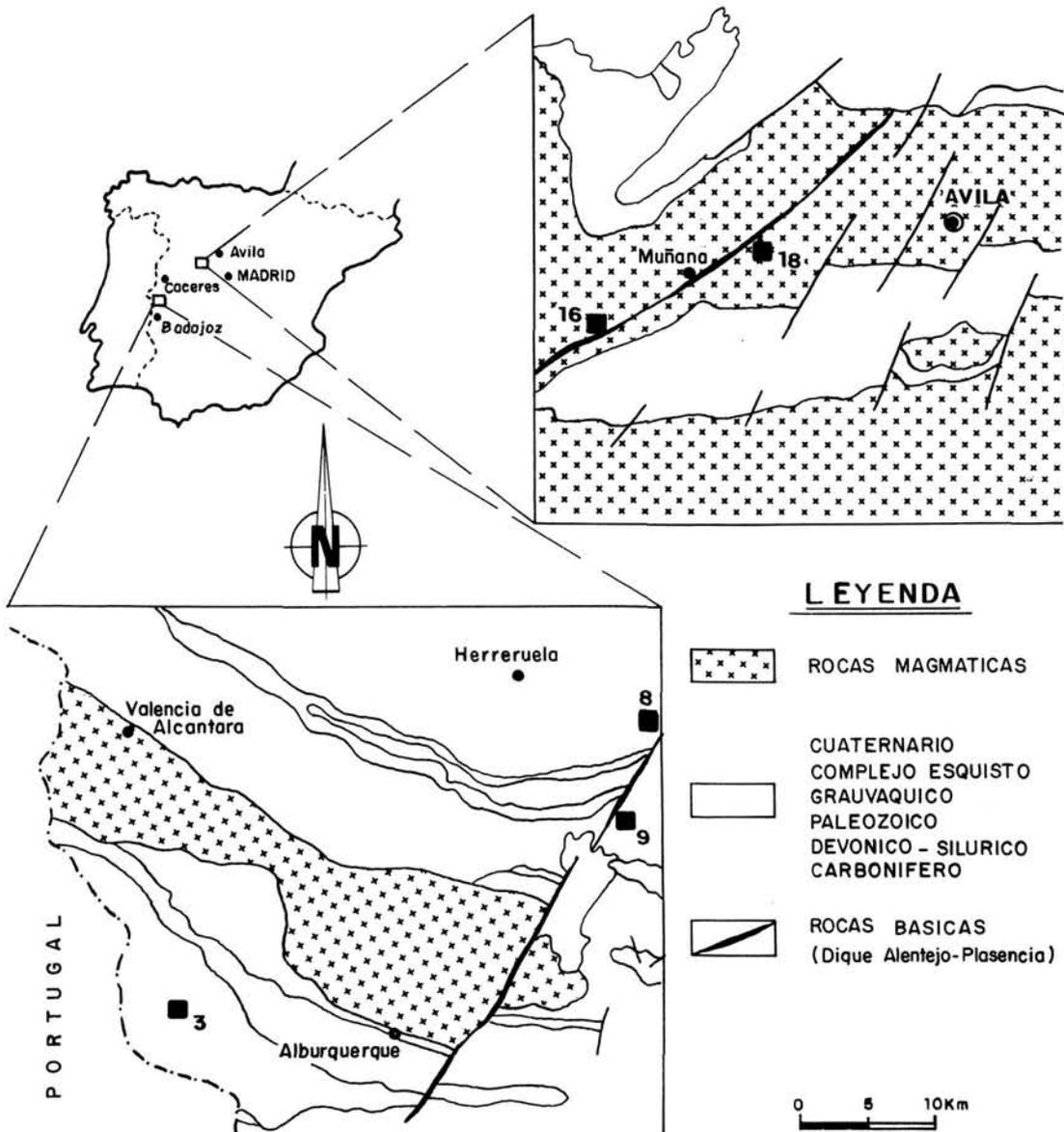


Figura 1. Situación de las muestras.

SW del citado dique, en las provincias de Cáceres y Badajoz, zona de altitud inferior a 500 m., de clima continental mediterráneo y vegetación *Quercus ilex* y gramíneas. Otros dos (MC-16 y 18) en la provincia de Ávila, en el extremo NE del dique, con altitudes superiores a los 1.000 m., clima húmedo frío y vegetación de gramíneas, compuestas y labiadas.

A continuación se exponen las características de los suelos estudiados.

### PERFIL MC-3

*Situación:* Codosera (Badajoz).

*Altitud:* 250 m.

*Topografía:* Colinas onduladas.

*Orientación:* Oeste.

*Clima:* Continental mediterráneo.

*Roca madre:* Diabasas.

*Drenaje:* Externo: bueno.

Interno: regular o malo.

*Vegetación:* Gramíneas, compuestas, *Q. ilex*, *Cistus sp.*

*Agricultura:* Pastos.

*Tipo de suelo:* Suelo pardo rojizo lixiviado (Luvisol Cámbrico).

Profundidad en cm.	Horizonte	Morfología
0-20	A	5 YR 3/3 pardo rojizo oscuro, semihúmedo, arenoarcilloso, subangular, moderada, con cutanes, algo poroso, con placas de pizarras alóctonas, colonizado, bastantes raíces finas y medianas, límite plano y neto a.
20-60	B <sub>t</sub>	5 YR 5/6 rojo amarillento, abigarrado de 2.5 y 6/6 amarillo oliva, húmedo, arcillosa, sin estructura, masivo, muy adherente, pocos poros, pocas raíces muy finas, límite difuso e interrumpido con
+ 60	R	Roca alterada, con fractura amarillenta y diabasas en profundidad. Diabasa, intercalaciones de pizarras y liditas, de potencia máxima 60 cms. Ancho total 30 m.

## PERFIL MC-8

*Situación:* Aliseda (Cáceres).

*Altitud:* 350 m.

*Topografía:* Ladera suave 3%.

*Orientación:* Oeste.

*Clima:* Continental mediterráneo.

*Roca madre:* Rocas básicas (Paleozoico).

*Drenaje:* Externo: bueno.

Interno: lento.

*Vegetación:* *Q. ilex*, *Cistus ladaníferus*, labiadas.

*Agricultura:* Monte.

*Tipo de suelo:* Suelo rojo (Cambisol Crómico).

<u>Profundidad en cm.</u>	<u>Horizonte</u>	<u>Morfología</u>
0-20	A	10 R 3/4 rojo oscuro, húmedo, limoarcilloso, grumoso (en superficie) a subpoliédrico (en profundidad), fuerte. Se aprecian concreciones negras (de manganeso), actividad biológica, con abundantes raíces finas.
+ 20	(B)/C <sub>1</sub>	10 R 4/6 rojo, con fractura amarillenta, húmedo granular, arenoarcilloso, muy friable, más masivo en profundidad, pero conservando la estructura original de la roca, la alteración es muy profunda. Concreciones negras (de Mn) abundantísimas. Concutanes muy finos. Raíces gruesas frecuentes verticales y horizontales.

## PERFIL MC-9

*Situación:* Lomas de Santino (Badajoz).

*Altitud:* 550 m.

*Topografía:* Ladera 10%.

*Orientación:* Este.

*Clima:* Continental mediterráneo.

*Roca madre:* Rocas básicas (Paleozoico).

*Drenaje:* Externo: bueno.

Interno: malo.

*Vegetación:* Gramíneas, *Q. ilex*, *Cistus sp.*, *Q. suber*.

*Agricultura:* Pastos y monte.

*Tipo de suelo:* Suelo pardo gleyzado (Luvisol Gleyco).

<u>Profundidad en cm.</u>	<u>Horizonte</u>	<u>Morfología</u>
0-15	A	2.5 YR 3/4 pardo rojizo oscuro, semihúmedo, limoso, grumoso, muy enraizado, raíces finas, transición difusa a
15-40	B <sub>1</sub>	2.5 YR 4/4 pardo rojizo, húmedo, arcillolimoso, subangular poco estable, poco estructurado, pocas concreciones negras, algún cutan muy fino, con grava de roca básica negra, meteorizada.
40-60	B <sub>2g</sub>	5Y 5/4 oliva, muy húmedo, arcilloso, masivo, concreciones negras, manchas rojas, con alguna grava de roca básica. Con transición neta sobre el horizonte C <sub>1</sub> .
+ 60	C <sub>1</sub>	Roca ígnea básica muy alterada, formando gravas redondeadas de unos 5 cm de longitud.

## PERFIL MC-16

*Situación:* Muñana (Ávila).

*Altitud:* 1.200 m.

*Topografía:* Ladera, 5%.

*Orientación:* Suroeste.

*Clima:* Húmedo frío.

*Roca madre:* Dique de roca básica.

*Drenaje:* Externo: bueno.

Interno: lento a malo.

*Vegetación:* *Thymus sp.*, *Lavandula sp.*, gramíneas, compuestas.

*Agricultura:* Pastos.

*Tipo de suelo:* Suelo pardo lixiviado (Luvisol Orthico).

<u>Profundidad en cm.</u>	<u>Horizonte</u>	<u>Morfología</u>
0-30	A	7.5 YR 4/4 pardo, húmedo, limoso, granular, moderado, ligeramente adherente, ligeramente plástico, frecuentes poros, con gravilla frecuente, poco colonizado, con raíces medianas y finas, transición gradual a
30-80	B <sub>t</sub>	10 YR 3/4 pardo amarillento oscuro, húmedo, angular, adherente, muy plástico, con cutanes continuos, poco poroso, algunas raíces muy finas y pocas gruesas.

## PERFIL MC-18

*Situación:* Sanchorreja (Ávila).

*Altitud:* 1.340 m.

*Topografía:* Inclinado, 7%.

*Orientación:* Suroeste.

*Clima:* Húmedo frío.

*Roca madre:* Rocas básicas (Diabasa).

*Drenaje:* Externo: excesivo.

Interno: bueno.

*Vegetación:* Césped de gramíneas, labiadas.

*Agricultura:* Pastos.

*Tipo de suelo:* Suelo pardo (Cambisol Crómico).

<u>Profundidad en cm.</u>	<u>Horizonte</u>	<u>Morfología</u>
0-20	A	5 YR 2.5/2 pardo rojizo oscuro, algo húmedo, arenolimoarcilloso, grumoso fino, suelto, muy poroso, con fragmentos grandes de rocas angulares, abundantes raíces medianas y finas, sin reacción al CIH, transición gradual a
20-60	(B)/C <sub>1</sub>	5 YR 3/3 pardo rojizo oscuro, seco, arenolimoso, granular, moderado, friable, cutanes localizados, pocas raíces gruesas y muy finas, sin reacción al CIH, transición difusa a roca madre alterada.

**Características de la roca madre de los suelos de la provincia de Ávila:**

*MC-16.* Este suelo se desarrolla sobre un *Gabro*, de textura compacta, grano fino, constituido esencialmente por: cristales subidiomorfos de plagioclasas de diferente tamaño, parcialmente sericitizados, caolinizados y ligeramente sausuritizados, la mayoría de estos cristales presentan texturas mirmequíticas y abundantes crecimientos gráficos de cuarzo muy desarrollados. Las medidas efectuadas con la platina universal indican una composición de An que oscila entre un 45 y 47%. Cristales idiomorfos o subidiomorfos de augita, algunos en parte cloritizados y uralitizados y hornblenda. Cuarzo con aspecto esquelético y calcita en cristales irregulares como minerales accesorios y sericita, caolinita, calcita, clorita, serpentina y uralita como secundarios.

*MC-18.* También se ha desarrollado sobre un *Gabro* de características mineralógicas similares al anterior, pero de grano grueso y textura diabásica o subofítica.

**Características de la roca madre de los suelos de las provincias de Cáceres y Badajoz:**

*MC-3.* Este suelo se desarrolla sobre un *Gabro* de grano fino, de textura diabásica o subofítica, constituido esencialmente por: plagioclasas, con abundantes microlitos de tamaño medio a fino, y frecuentes maclas tipo Ab y Carlsbad. Las medidas efectuadas con la platina universal dan un porcentaje de An alrededor del 45%. Estos cristales presentan una ligera sausuritización. Y piroxenos, parcialmente uralitizados. Opacos como minerales accesorios y calcita, clorita y uralita como secundarios.

*MC-8.* Este suelo se desarrolla sobre un *Gabro*, de estructura compacta, textura holocristalina subofítica, constituido esencialmente por: cristales subidiomorfos de plagioclasas ligeramente sericitizados y sausuritizados, con frecuente maclas tipo Ab y Carlsbad. Las medidas efectuadas con la platina universal indican un porcentaje de An alrededor del 40% y augita. Ilmenita con frecuencia alterada a leucoxeno como mineral accesorio y calcita, clorita y uralita como secundarios.

Los espacios dejados por las plagioclasas y los piroxenos están ocupados por una masa clorítica entre la que a veces se pueden distinguir láminas de biotita y más frecuentemente carbonatos.

*MC-9.* Este suelo se desarrolla sobre una *Andesita hornbléndica*, de estructura compacta de grano muy fino y textura hipocristalina afanítica microlítica, constituida esencialmente por: microlitos tabulares de plagioclasas, parcialmente sericitizados, bien terminados, de tamaños desde casi submicroscópicos a 0,6 mm de longitud y sin que aparezca ninguna ordenación paralela de los mismos, y cristales idiomorfos de piroxenos totalmente reemplazados por calcita. Epidota como mineral accesorio.

La roca aparece atravesada por venillas de calcita, clorita y esfena. La matriz de la roca es un vidrio mostrando ligera recristalización. Las secciones hexagonales de los minerales ferromagnesianos alterados, parecen corresponder a anfíboles, por lo que se puede definir la roca como una andesita hornbléndica.

## MÉTODOS EXPERIMENTALES

Para este estudio se llevaron a cabo determinaciones en suelos y análisis mineralógicos de la fracción arena y la fracción arcilla según los métodos ya descritos en un trabajo anterior, CEMBRANOS (1985). Los resultados se expresan en las tablas 1 y 2 respectivamente.

## CONSIDERACIONES SOBRE LA MINERALOGÍA DE ESTOS SUELOS

Todos estos suelos se caracterizan por la escasez de fracción densa en la arena, (tabla 2), con un valor medio de un 13%.

En el perfil MC-3 el análisis mineralógico de la fracción pesada demuestra un proceso de alteración muy intenso, debido a esto no se hizo el análisis cuantitativo de dicha fracción, pero se identificaron los siguientes minerales pesados: circón, turmalina y piroxenos en una proporción no superior al 1%.

Para el resto de los suelos se ha calculado la frecuencia relativa de los minerales con los valores de la concentración relativa de los diferentes minerales de cada perfil.

La suma de las concentraciones relativas de un mineral dividida por el total de perfiles es la «concentración media» de cada especie mineral en el grupo estudiado.

Ordenados según el valor de su «concentración media», los minerales se disponen así:

Piroxenos ...	36,3%	Apatito .....	2%
Magnetita ..	23,8%	Biotita .....	2%
Epidota .....	17,5%	Turmalina ..	1,4%
Topacio .....	8,1%	Anfíboles ...	0,8%
Andalucita .	6,9%	Moscovita ..	0,4%
Circón .....	2,6%	Granate .....	0,3%
Rutilo .....	2,3%		

Tabla 1. Determinaciones en los suelos (Sg = arena gruesa, Sf = arena fina, L = limo, A = arcilla, A.F. = ácidos fúlvicos, A.H. = ácidos húmicos, Hna E = humina extraíble, R = residuo, n.d. = no determinado).

Perfil Horizonte	MC-3		MC-8		MC-9			MC-16		MC-18	
	A	B <sub>t</sub>	A	(B)/C <sub>1</sub>	A	B <sub>t</sub>	B <sub>2g</sub>	A	B <sub>t</sub>	A	(B)/C <sub>1</sub>
pH H <sub>2</sub> O	6.2	5.9	6.2	6.2	6.0	5.9	6.0	6.0	5.6	6.3	6.6
pH ClK	5.0	4.7	4.8	4.6	4.8	4.5	4.6	4.5	4.1	5.0	5.0
C%	0.98	0.41	2.12	0.47	3.23	1.16	0.36	1.60	0.42	2.91	0.48
N%	.081	.041	.140	.047	.252	.101	.036	.153	.085	.239	.050
C/N	12.1	10.0	15.1	10.0	12.4	11.4	10.0	10.4	4.9	12.1	9.6
Sg%	23.0	17.5	17.5	46.5	15.0	18.0	33.0	42.0	10.0	20.5	35.0
Sf%	33.0	21.0	36.5	17.0	24.0	21.0	15.0	23.0	33.4	32.5	30.5
L%	23.0	18.5	18.2	11.5	22.7	15.3	13.0	14.2	26.5	16.0	11.6
A%	22.0	41.0	24.4	24.2	33.0	43.0	39.0	16.6	26.0	24.2	19.4
T (meq/100g)	15.3	18.1	19.5	22.9	29.5	37.2	40.6	25.1	54.5	22.1	28.3
S (meq/100g)	15.0	15.0	16.3	22.5	19.4	24.9	23.1	20.0	31.1	18.3	21.0
V%	97.9	82.8	83.5	98.3	65.7	67.0	56.9	79.9	57.0	83.0	71.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1%	4.0	4.1	3.0	3.1	3.0	3.0	4.3	2.5	4.4	3.7	3.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1%	2.5	2.1	1.7	1.9	2.2	3.0	2.5	1.3	2.5	2.0	2.0
SiO <sub>2</sub> 1%	0.7	0.2	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.4	0.4	0.5
A.F. %	8.2	n.d.	4.7	n.d.	9.9	12.1	n.d.	8.8	n.d.	10.0	n.d.
A.H. %	4.0	n.d.	3.7	n.d.	6.5	4.2	n.d.	2.8	n.d.	4.8	n.d.
Hna E. %	10.0	n.d.	8.5	n.d.	11.8	11.2	n.d.	13.8	n.d.	10.6	n.d.
R %	77.5	n.d.	70.3	n.d.	57.3	68.1	n.d.	53.1	n.d.	61.8	n.d.

Tabla 2. Análisis mineralógico (i = indicios, n.d. = no determinado).

Perfil Horizonte	MC-3		MC-8		MC-9			MC-16		MC-18	
	A	B <sub>t</sub>	A	(B)/C <sub>1</sub>	A	B <sub>t</sub>	B <sub>2g</sub>	A	B <sub>t</sub>	A	(B)/C <sub>1</sub>
Ligeros	88.6	95.7	79.1	83.2	97.6	98.7	99.9	96.8	87.7	65.0	73.4
Pesados	11.4	4.3	20.9	16.8	2.4	1.3	0.1	3.2	12.3	35.0	26.6
Cuarzo	18	20	5	1	10	10	1	18	20	40	61
Feldespatos	44	25	68	35	38	34	—	49	58	50	30
Biotita	3	2	3	—	20	26	—	5	2	6	6
Alteritas	32	30	24	64	32	30	99	28	20	4	3
Circón	i	i	1	1	10	11	2	2	1	—	—
Turmalina	i	i	—	—	6	6	3	1	1	2	1
Andalucita	n.d.	n.d.	—	—	5	13	10	2	1	20	14
Rutilo	n.d.	n.d.	1	1	6	3	15	—	—	—	—
Granate	n.d.	n.d.	—	—	—	—	—	1	1	—	—
Topacio	n.d.	n.d.	—	—	—	—	—	—	—	16	49
Apatito	n.d.	n.d.	—	—	—	—	—	4	12	—	—
Biotita	n.d.	n.d.	—	—	—	—	—	15	1	—	—
Moscovita	n.d.	n.d.	—	—	—	—	—	2	1	—	—
Anfiboles	n.d.	n.d.	1	1	—	—	—	—	—	3	1
Piroxenos	i	i	97	97	—	—	—	28	22	8	4
Magnetita	n.d.	n.d.	—	—	—	—	—	45	60	51	31
Epidota	n.d.	n.d.	—	—	73	67	70	—	—	—	—
Opacos	n.d.	n.d.	148	277	3	17	8	2	1	—	—
Alteritas	n.d.	n.d.	72	193	132	150	210	20	58	125	137
Óxidos	n.d.	n.d.	—	—	40	53	41	5	2	—	—
Esmectita	9	—	17	20	8	9	46	44	49	—	—
Illita	10	42	27	19	42	38	23	28	25	43	33
Caolinita	51	26	27	39	28	32	17	8	8	24	41
Gibbsita	i	—	—	—	i	i	i	i	—	—	—
Goethita	i	2	i	i	i	i	i	i	—	i	2
Cuarzo	23	18	17	11	11	10	9	11	7	25	16
Ortosa	i	i	3	i	3	4	2	4	5	3	4
Plagioclasas	2	i	3	2	4	4	i	2	5	3	4
Clorita	—	8	4	4	—	—	—	—	—	—	—

Consideramos como minerales «abundantes» aquellos cuyas concentraciones superan el valor medio.

### *Piroxenos-Magnetita-Epidota*

También estos suelos muestran un índice de ataque (HOYOS, A. y col, 1981) muy intenso, pues en todos ellos el contenido en alteritas es elevado.

A la vista de la tabla 2, se observa la presencia de magnetita únicamente en los suelos de la provincia de Ávila, frente a la total ausencia en los otros tres, a pesar de que la roca madre contiene el citado mineral.

En la fracción ligera de la arena, en general predominan los feldespatos sobre el cuarzo, existen también algunas micas, todo biotita. La morfología que ofrecen los granos minerales, en general, es subangular y subredondeada y los feldespatos aparecen con zonas turbias superficiales, signos de alteración a minerales arcillosos.

En la fracción arcilla los componentes fundamentales son Illita y Caolinita, apareciendo también minerales de la familia de la Esmectita, cuya concentración aumenta con la profundidad del perfil. La hidrólisis de este tipo de rocas con concentraciones en bases y pH relativamente altos favorece la formación de este mineral arcilloso, como indican HELGENSON, BROWN y LEEPER (1969) en los diagramas de equilibrio para minerales de la arcilla.

Para la representación de la mineralogía de la arcilla se ha empleado el diagrama triangular representado en la figura 2 (a), ajustándose a 100 los porcentajes correspondientes a los tres minerales. En él se observa que el área de dominio de estos suelos es el lado Illita-Caolinita, pero aparecen también valores altos de concentración para minerales del tipo Esmectita, destacando el perfil MC-16 sobre todos los demás, que posee un ambiente favorable para la formación de dichos minerales.

## INTERPRETACIÓN

En Codosera (Badajoz) asentado sobre un Braunlehm y diabasas se desarrolla un suelo pardo rojizo lixiviado (MC-3), que posee un horizonte B<sub>t</sub> fuertemente texturado. La roca madre es dura, pero fácilmente alterable, rica en hierro y calcio. El suelo es débilmente ácido y se encuentra prácticamente saturado, más en superficie (ciclo biogeoquímico), pobre en materia orgánica, bien humificada (mull). Aunque se observa potente migración de arcilla, no así de los abundantes sesquióxidos; hay que notar un moderado contenido en sílice libre en el horizonte superficial (tabla 1).

Los suelos de Aliseda (MC-6) y Sanchorreja (MC-18) de color rojizo, pertenecen a un suelo rojo y suelo pardo respectivamente, en general jóvenes. Ambos poseen un pH próximo a la neutralidad y son moderadamente ricos en materia orgánica. En el suelo de Aliseda la humificación es profunda, siendo la proporción de fracciones fúlvicas escasa. Sin embargo, el de Sanchorreja posee una alta proporción tanto de fracciones fúlvicas como de húmicas extraíbles. Las concentraciones de sesquióxidos libres, hierro y aluminio son altos, dándoles color rojizo a los suelos, pero sin movilización alguna; el contenido en sílice libre por el contrario aparece moderado. Esto es, no hay movimiento alguno de arcillas ni de amorfos en estos suelos. La capacidad de cambio es acorde con el pH, indicando que los suelos están en gran parte saturados.

Los otros dos suelos de este estudio: suelo pardo gleyzado de Lomas de Santino (MC-9) y suelo pardo lixiviado de Muñana (MC-16) son suelos más evolucionados que los anteriores. Los suelos son débilmente ácidos, con concentraciones altas de sesquióxidos libres, que parecen emigrar junto con la arcilla, pero la sílice libre es baja. La capacidad de cambio es elevada, la saturación es sólo mediana, algo superior en el perfil de Muñana. La materia orgánica, bien humificada y abundante (mull), es rica tanto en fracciones fúlvicas como en humina extraíble.

En la figura 2 (b) se ha representado el diagrama de texturas para este grupo de suelos, observándose texturas variables, con predominio de las equilibradas, a continuación las arenos arcillosas y arcillosas y por último las arenos limosas. No se aprecian diferenciaciones acusadas entre los horizontes de un mismo perfil.

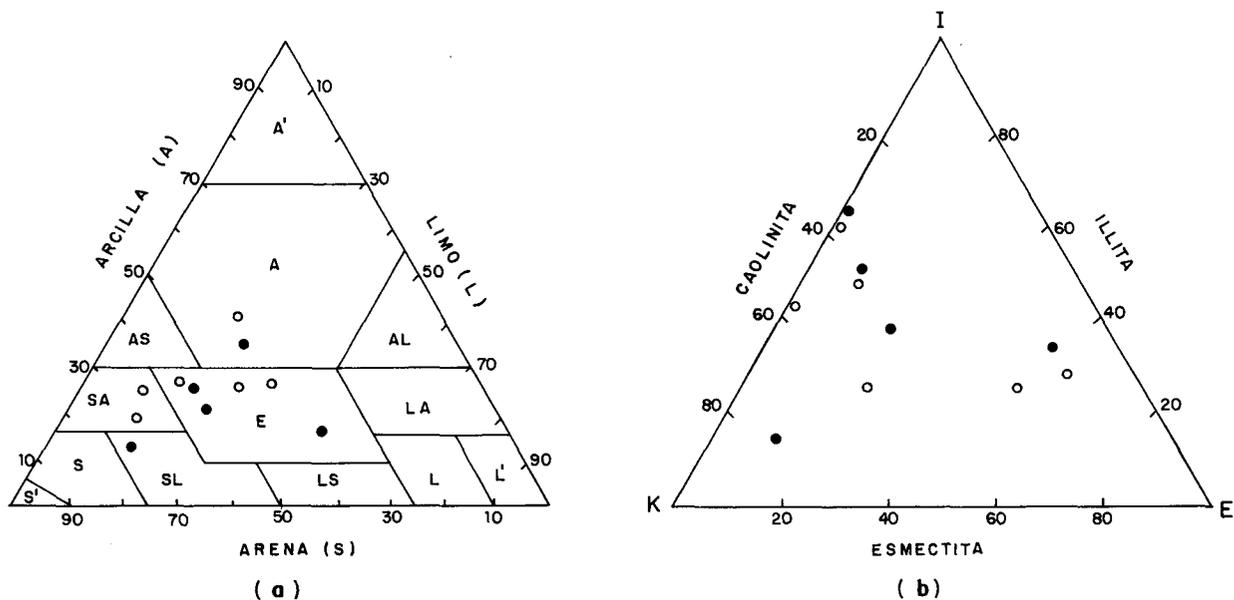


Fig- 2

a) Diagrama de texturas

b) Mineralogía de la fracción arcilla

● HORIZONTES SUPERFICIALES

○ " SUBSUPERFICIALES

Figura 2.

## BIBLIOGRAFÍA

- CEMBRANOS, M.<sup>a</sup> L. (1978). «Influencia de la roca madre en la constitución química y mineralógica de diferentes tipos de suelos del Centro-Oeste de España». *Tesis Doctoral. Univ. de Salamanca*.
- CEMBRANOS, M.<sup>a</sup> L. (1985). «Características químico-mineralógicas de suelos desarrollados sobre granodioritas y granitos en la provincia de Ávila». *Anal. Edaf. y Agrobiol.* (en prensa).
- GARCÍA DE FIGUEROLA, L. C. y TEIXEIRA, C. (1973). «Esquema geológico del Macizo Hespérico del Sudoeste de la Península Ibérica». *Univ. de Salamanca*.
- HOYOS DE CASTRO, A., PALOMAR, M. L. y FERNÁNDEZ BERMEJO, M. C. (1981). «Estudio mineralógico y alteración de la fracción arena de dos suelos sobre material silíceo». *Anal. Edaf. y Agrobiol.* XL, 817-832.
- HELGENSON, H. C.; BROWN, T. H.; LEEPER, R. H. (1969). «Handbook of theoretical activity diagrams depicting chemical equilibria in geologic systems involving and aqueous phase and one atm O° to 300° C». *Preman, Cooper and Company. San Francisco*.