

## APORTACION AL ESTUDIO DE LOS SUELOS DE LA SIERRA DE GUADARRAMA

J. L. MARTÍN DE VIDALES<sup>1</sup>, V. CALA RIVERO<sup>1</sup>, A. M. ALVAREZ GONZÁLEZ<sup>1</sup> y R. JIMÉNEZ BALLESTA<sup>1</sup>

### RESUMEN

Se estudian tres perfiles representativos de suelos desarrollados sobre materiales litológicos similares en la Sierra de Guadarrama.

Se analiza el medio natural que incluye, geología, climatología y vegetación.

Se ha descrito su morfología siguiendo los criterios de la Soil Taxonomy.

Presentamos los datos químicos, físico-químicos y mineralógicos de tres perfiles de suelos característicos de la misma.

Los suelos se clasifican como Xerumbrept típicos y como Haplumbrept énticos.

### INTRODUCCION

A pesar de que la Sierra de Guadarrama ha sido intensamente analizada desde el punto de vista edáfico y bajo criterios muy diversos, quedan aún incógnitas que se resolverán conforme se avance en el conocimiento de más perfiles de suelos en la misma.

Con el fin de conseguir describir la influencia de los factores formadores, decidimos realizar este estudio por tratarse de una zona heterogénea con distintos dominios bioclimáticos altitudinales.

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental aportar nuevos datos a la caracterización morfológica, físico-química, mineralógica y genética de los suelos de la Sierra de Guadarrama, mediante el estudio de tres perfiles de suelos situados en el triángulo Miraflores, Puerto de la Morcuera y Puerto de Canencia.

### FACTORES ECOLOGICOS

La zona objeto de estudio se encuentra ubicada en la vertiente Sur de la Sierra de Guadarrama.

Geológicamente, la zona se sitúa en el borde meridional de la Cordillera Central, siendo los materiales que constituyen ésta, fundamentalmente Hercínicos, a base de rocas ígneas y metamórficas.

En cuanto a su estructura geológica, se enmarcan dentro del Sistema Central que es un ejemplo de tectónica en bloques, generada por las fracturas de la orogenia Alpina, y que se manifiesta en una serie de bloques elevados y hundidos en disposición sensiblemente paralela.

Las rocas ígneas son, fundamentalmente, granitos, adamellitas, granodioritas y granitos calcoalcalinos; siendo las granodioritas las más abundantes. En general, la composición mineralógica de todas ellas es similar, diferenciándose, fundamentalmente, en los contenidos de plagioclasas y de ortosa. Granitos y granodioritas son rocas de grano grueso que contienen biotitas, plagioclasas, cuarzo y feldespatos alcalinos; raramente poseen moscovita.

<sup>1</sup> Cátedra de Edafología. Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid.

Estas rocas han sufrido fenómenos de alteración que afectan sobre todo a los feldespatos, los cuales sufren sericitización; las biotitas presentan cloritización parcial o total.

Las rocas metamórficas rodean a las anteriores y están constituidas, fundamentalmente, por gneises, micacitas y rocas de silicatos cálcicos.

Los materiales descritos se hallan afectados por metamorfismo regional, que puede llegar a producir anatexia o granitización, ésta sería la causa de algunos de los granitos anteriormente citados, así como de las migmatitas.

El clima incide en el grado de evolución que puede alcanzar un suelo; asimismo, existen procesos edáficos determinados que están estrechamente ligados a la presencia de un tipo de clima concreto.

En la Tabla I aparecen las estaciones y años disponibles; en las Tablas II y IV, las clasificaciones; en la Tabla III, el balance hídrico, y en la Figura 1, los diagramas climáticos.

Según los criterios de la Soil Taxonomy (1975), los regímenes de temperatura correspondientes a los suelos pueden considerarse «crico» para la estación de Navacerrada (temperatura entre 0 y 8° C), poseyendo, además, una media estival inferior a 15° C, y régimen «mésico» en las demás estaciones, puesto que la temperatura media anual del suelo es de 8° C o superior, pero no menor de 15° C y la diferencia entre las medias de verano e invierno supera los 5° C a 50 cm de profundidad.

Los regímenes de humedad, según la Soil Taxonomy (1975), que habrían de establecerse en función de los datos obtenidos del estudio de la sección control del suelo, al no poseerlos, consideramos que por encima de 1.600 m, como es el caso de Navacerrada, sería un régimen de humedad «údic», y el régimen de humedad será «xérico» en el resto de las estaciones.

**TABLA I**  
**ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y AÑOS DISPONIBLES**

Estaciones meteorológicas	Período disponible (años)		Altitud (m)
	Datos pluviométricos	Datos termométricos	
Buitrago .....	1954-69	1954-69	974
Rascafría .....	1960-70	1960-70	1.159
Alameda del Valle .....	1963-70	1963-70	1.105
Navacerrada .....	1935-70	1935-70	1.860

**TABLA II**  
**CLASIFICACIONES CLIMÁTICAS**

Estaciones meteorológicas	CLASIFICACIONES CLIMÁTICAS SEGUN		
	LANG (I <sub>L</sub> )	MARTONNE (I <sub>M</sub> )	DANTIN Y REVENGA (I <sub>D</sub> )
Buitrago	68,39 zonas húmedas de bosques claros	35,19 zonas áridas	1,46 zonas húmedas
Rascafría	88,61 zonas húmedas de bosques claros	44,52 zonas húmedas de estepa y sabana	1,12 zonas húmedas
Alameda del Valle	77,49 zonas húmedas de bosques claros	37,29 zonas áridas	1,36 zonas húmedas
Navacerrada	182,81 zonas suprahúmedas con prados y tundras	71,39 zonas húmedas de bosques y claros	0,54 zonas húmedas

Siendo:

$$I_L = \frac{\text{Precipitación media anual (mm)}}{\text{Temperatura media anual (°C)}} \quad (\text{Lang})$$

$$I_M = \frac{\text{Precipitación media anual (mm)}}{\text{Temperatura media anual (°C) + 10}} \quad (\text{Martonne})$$

$$I_D = \frac{\text{Temperatura media anual (°C)}}{\text{Precipitación media anual (mm)}} \times 100 \quad (\text{Dantin y Revenga})$$

El factor *vegetación* está caracterizado en esta zona por el piso Oromediterráneo, aunque también aparecen especies del piso Criomediterráneo (céspedes Psicroxerófilos, así como cervunales secos y hú-

medos). En la base la vegetación potencial son encinas y/o robles pasando a pinares con piornales a mayor altitud.

TABLA III  
BALANCE HIDRICO

PROVINCIA: MADRID. ESTACION: BUITRAGO. Long.: 3°38'W. Lat.: 41°00'. Alt.: 974 m

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Media/ total
Tm (°C) .....	3,4	3,4	6,0	8,2	12,4	16,0	19,9	19,7	16,5	11,4	6,0	3,7	10,6 M
P (mm) .....	84	72	71	57	80	64	16	20	43	58	102	58	725 T
ETP (mm) .....	12	12	25	40	71	94	122	114	81	49	20	12	652 T
V. de la reserva .....	0	0	0	0	0	-30	-70	0	0	9	82	9	
Reserva .....	100	100	100	100	100	70	0	0	0	9	91	100	
E. Real .....	1	12	25	40	71	94	86	20	43	49	20	12	484 T
Exceso de agua .....	72	60	46	17	9	0	0	0	0	0	0	37	241 T
Déficit de agua .....	0	0	0	0	0	0	36	94	38	0	0	0	168 T
Desagüe .....	45	52,5	49,2	33,1	21	10,5	0	0	0	0	0	18	

Fórmula: B1 B'1 S b'4

TABLA III (continuación)

PROVINCIA: MADRID. ESTACION: RASCAFRIA. Long.: 3°53'W. Lat.: 40°53'. Alt.: 1.159 m

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Media/ total
Tm (°C) .....	3,3	3,8	5,9	8,4	12,5	15,6	19,0	18,1	15,3	10,8	5,7	2,9	10,1 M
P (mm) .....	122	74	87	75	74	46	21	24	54	70	120	128	895 T
ETP (mm) .....	10	12	28	43	71	94	118	104	75	46	20	10	631 T
V. de la reserva .....	0	0	0	0	-3	-48	-49	0	0	24	76	0	
Reserva .....	100	100	100	100	97	49	0	0	0	24	100	100	
E. Real .....	10	12	28	43	71	94	70	24	54	46	20	10	482 T
Exceso de agua .....	112	62	59	32	0	0	0	0	0	0	24	118	407 T
Déficit de agua .....	0	0	0	0	0	0	48	80	21	0	0	0	149 T
Desagüe .....	88,5	75,2	67,1	49,5	24,7	12,3	0	0	0	0	12	65	

Fórmula: B2 B'1 s b'4

TABLA III (continuación)

PROVINCIA: MADRID. ESTACION: ALAMEDA DEL VALLE. Long.: 3°50'W. Lat.: 40°55'. Alt.: 1.105 m

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Media/ total
Tm (°C) .....	3,7	3,6	6,2	8,7	12,8	15,6	19,0	18,6	15,4	11,1	5,6	2,5	10,3 M
P (mm) .....	86	80	67	67	62	49	17	20	47	58	98	106	757 T
ETP (mm) .....	12	12	28	43	75	94	118	19	78	49	20	7	643 T
V. de la reserva .....	0	0	0	0	-13	-45	-42	0	0	9	78	23	
Reserva .....	12	12	28	43	75	94	111	20	47	49	20	7	518 T
E. Real .....	74	68	39	24	0	0	0	0	0	0	0	76	281 T
Exceso de agua .....	0	0	0	0	0	7	87	29	0	0	0	0	123 T
Déficit de agua .....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Desagüe .....	56	64	50,5	37,2	18,6	0	0	0	0	0	0	38	

Fórmula: B1 B'1 s b'4

TABLA III (continuación)

PROVINCIA: MADRID. ESTACION: NAVACERRADA. Long.: 4°00'W. Lat. 40°47'. Alt.: 1.860 m

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Media/ total
Tm (°C) .....	-1,2	-0,3	2,0	4,1	6,9	12,4	16,3	15,9	12,4	7,0	2,8	-0,1	6,4 M
P (mm) .....	132	114	127	134	127	68	25	28	76	121	134	84	1.170 T
ETP (mm) .....	0	0	12	27	53	87	110	104	72	40	15	0	520 T
V. de la reserva .....	0	0	0	0	0	-19	-81	0	4	81	15	0	
Reserva .....	100	100	100	100	100	81	0	0	4	85	100	100	
R. Real .....	0	0	12	27	53	87	110	28	72	40	15	0	444 T
Exceso de agua .....	132	114	115	107	74	0	0	0	0	0	104	84	730 T
Déficit de agua .....	0	0	0	0	0	0	0	76	0	0	0	0	76 T
Desagüe .....	100	167	111	109	91,5	45,7	22,8	0	0	0	52	68	

Fórmula: A1 C'2 r b'2

TABLA IV  
CLASIFICACION SEGUN THORNTHTWAITE

Estación	Ia	Ih	Im	ETP	Ie	Clasificación
Buitrago .....	27,56	39,96	21,50	65,2	50,61	B <sub>1</sub> B' <sub>1</sub> s b' <sub>1</sub>
Rascafría .....	23,61	64,50	50,33	63,1	50,07	B <sub>2</sub> B' <sub>2</sub> s b' <sub>2</sub>
Alameda del Valle .....	19,12	43,70	32,28	64,3	49,61	B <sub>1</sub> B' <sub>1</sub> s b' <sub>1</sub>
Navacerrada .....	14,61	140,33	131,61	52,0	57,88	A <sub>1</sub> C' <sub>1</sub> r b' <sub>1</sub>

**METODOLOGIA**

Se han descrito y tomado muestras de tres perfiles de suelos, siguiendo las normas de la Soil Taxonomy (1975).

Sobre las muestras de suelo, una vez desecadas al aire y pasadas por un tamiz de 3 mm, se realizaron las siguientes determinaciones: Grado de acidez, en agua y cloruro potásico 1N en relación 1:2,5, mediante potenciómetro Beckman con electrodo de vidrio.

El análisis mecánico se realizará mediante el método de la pipeta según descripción de KILMER y ALEXANDER (1949). La determinación de la materia orgánica, según el método de Walkey Black (1947), recomendado por JACKSON (1964). El nitrógeno total por el método de Kjeldahl (1947) con posterior valoración en sistema autoanalizador Technicon, CADAHIA (1973). Capacidad de cambio y cationes de cambio mediante el método de Mehlich (1948). La caracterización de los minera-

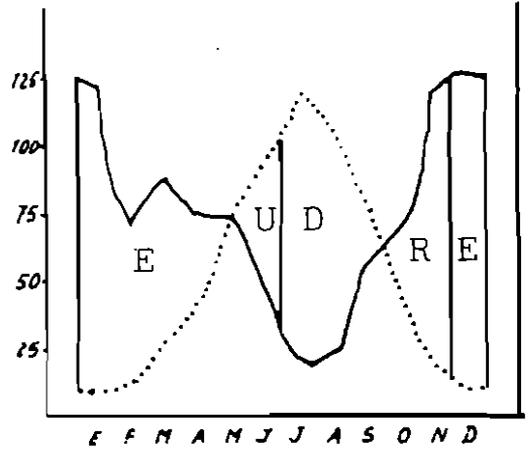
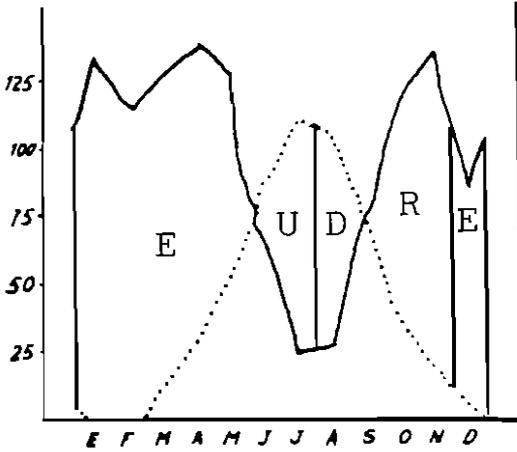
les de la fracción arcilla se efectuó según el método indicado por GUITIAN y CARBALLAS (1970). El análisis mineralógico de la fracción arena se realizó previo tamizado y separación de las fracciones de arena fina y gruesa. El Fe y Al libres mediante el método de DEB (1950), mientras Fe y Al totales se determinaron mediante ataque triácido de FULLER *et al.* (1976).

La caracterización de los minerales de la fracción arcilla se efectuó por difracción de rayos X. Se separó inicialmente la arcilla en medio acuoso y se realizaron los diagramas de difracción en polvo de todas las muestras de arcilla. En una muestra de cada perfil se realizaron los agregados magnésico, glicerina, potásico y calcinado.

Se utilizó un generador y un difractor de rayos X Philips con tubo de Cu, operando a 40 Kv, 20 MA, filtro de Ni, multiplicación 16 X 1, ranura de divergencia 1 grado/minuto y constante de tiempo cuatro segundos.

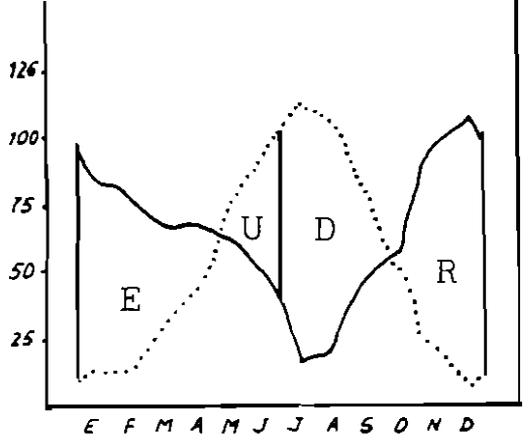
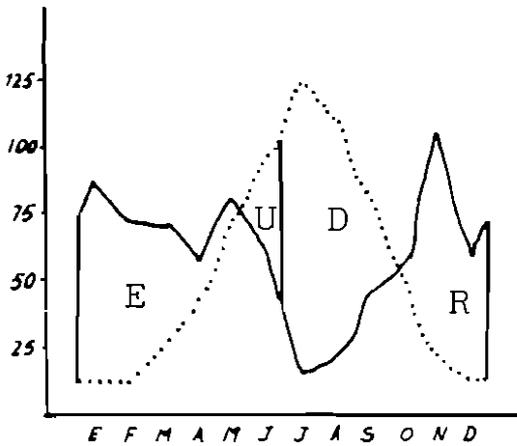
NAVACERRADA

RASCAFRIA



BUITRAGO

ALAMEDA DEL VALLE



P ———  
ETP .....  
E: Exceso  
U: Utilización  
D: Déficit  
R: Reserva

Fig. 1. Diagramas bioclimáticos.

## RESULTADOS

## Descripción macromorfológica de los perfiles

## PERFIL I

*Clasificación general:* Tierra parda subhúmeda.

*Situación:* Junto al km 3,5, a la derecha, en la carretera de Miraflores, en la subida al Puerto de la Morcuera.

*Altitud:* 1.370 m.

*Orientación:* Oeste.

*Orientación:* Oeste.

*Posición fisiográfica:* Pendiente escarpada convexa.

*Forma del terreno circundante:* Montañoso.

*Microtopografía:* Inclinada.

*Pendiente:* 20%.

*Uso del suelo:* Forestal.

*Vegetación:* Bosque de robles y pinos.

*Erosión:* Hídrica superficial.

*Drenaje:* Externo e interno bien drenado.

*Material originario:* Gneis algo alterado.

*Desarrollo del perfil:* A1/B2/C.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A1	0-30	Color 10 YR 3/3 en seco; estructura moderada, migajosa y fina; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y blando; presenta abundantes raíces de todos los tamaños, frecuentes poros finos y medianos, discontinuos, caóticos y de tipo vesicular; pedregosidad a base de cantos de gneis; el límite con el horizonte inferior es neto e irregular.
B2	30-60	Color 10 YR 6/4 en seco; estructura moderada en bloques subangulares medianos, es poco adherente, poco plástico, friable y blando; presenta pocas raíces gruesas y medianas; frecuentes poros finos y pocos medianos, discontinuos, oblicuos, de tipo intersticial; sin pedregosidad; el límite con el horizonte inferior es neto e irregular.
C	>60	Color variable en función del grado de alteración: 7,5 YR 5/6 ó 5 YR 4/6 en seco. Se trata de gneis alterado zonalmente; en aquellas zonas donde la alteración es mayor, se observan delgados cutanes de arcilla de color rojizo recubriendo los fragmentos de gneis.

## PERFIL II

*Clasificación general:* Tierra parda subhúmeda.

*Situación:* En el km 8, a la izquierda, en la carretera de Miraflores al Puerto de Canencia.

*Altitud:* 1.560 m.

*Orientación:* Oeste.

*Posición fisiográfica:* Escarpe en pendiente convexa.

*Forma del terreno circundante:* Montañoso.

*Microtopografía:* Inclinada.

*Pendiente:* 30%.

*Uso del suelo:* Forestal.

*Vegetación:* *Pinus sylvestris* y helechos.

*Erosión:* Hídrica superficial.

*Drenaje:* Externo e interno bien drenado.

*Material originario:* Granito muy alterado.

*Desarrollo del perfil:* A11/A12/B2/C.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A11	0-13	Color 10 YR 5/2 en seco; estructura moderada, migajosa de ramaño fino; no adherente, no plástico, friable y suelto; abundantes raíces de todos los tamaños; muchos poros finos y medianos, discontinuos, caóticos de tipo vesicular; no presenta pedregosidad; el límite con el horizonte inferior es difuso e irregular.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A12	13-40	Color 10 YR 5/4 en seco; con características similares al horizonte anterior, pero menos raíces gruesas y menor porosidad; el límite con el horizonte inferior es neto e irregular.
B2	40-65	Color 10 YR 7/4 en seco; estructura moderada, en bloques subangulares de tamaño mediano; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y ligeramente duro; escasas raíces finas y alguna media; frecuentes poros finos, discontinuos, oblicuos, de tipo intersticial; sin pedregosidad; el límite con el horizonte inferior es neto e irregular.
C	>65	Color variable dependiente del grado de alteración, mezcla de 10 YR 7/6 y 10 YR 6/4; se trata de granito alterado.

## PERFIL III

*Clasificación general:* Ranker.

*Situación:* En el km 10 de la carretera de Miraflores al Puerto de la Morcuera.

*Altitud:* 1.760 m.

*Orientación:* Norte.

*Posición fisiográfica:* En lo alto de la cumbre.

*Forma del terreno circundante:* Montañoso.

*Microtopografía:* Suavemente inclinada.

*Pendiente:* 2%.

*Uso del suelo:* Repoblación de pinos y pastizal.

*Vegetación:* Pradera de montaña y piornal.

*Erosión:* Hídrica superficial.

*Drenaje:* Externo moderadamente drenado, interno aceptable.

*Material originario:* Gneis.

*Desarrollo del perfil:* A11/A12/C.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A11	0-10	Color 10 YR 3/2 en seco; estructura migajosa, moderada, de tamaño fino; no adherente, no plástico, friable y blando; abundantes raíces finas y muy finas; muchos poros finos, discontinuos, caóticos, de tipo vesicular; sin pedregosidad; el límite con el horizonte inferior es difuso e irregular.
A12	10-45	Color 10 YR 3/2 en seco; características similares al horizonte anterior, con algo menos de enraizamiento; el límite con el horizonte anterior es neto, regular y plano.
C	>45	Color 10 YR 4/4 en seco; estructura granular muy débil; ligeramente plástico, friable y suelto; muy pocas raíces finas; poros discontinuos, oblicuos de tipo intersticial; abundantes cantos de gneis de diferentes tamaños.

## Análisis granulométricos

De la Tabla V se deduce, en primer lugar, la analogía existente en la composición granulométrica de los horizontes de cada perfil. Por otra parte, se encuentra una considerable homogeneidad para los perfiles I y II, de textura arenosa, mientras que en

el perfil III, si bien continúa dominando la fracción arena, la textura es areno-limosa.

La composición mecánica de estos perfiles, y más concretamente de los perfiles I y II, pone de manifiesto la importante influencia del material originario, rico en cuarzo, el cual por ser inatacable químicamente se acumula en la fracción arena.

TABLA V  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Horizonte	% arcilla	% limo	% arena total	% arena gruesa	% arena fina	Clasificación textural (americana)
<b>PERFIL I</b>						
A1	8,1	10,5	81,3	23,4	57,9	Arenosa
B2	10,1	8,5	81,3	24,3	56,9	Arenosa
C	5,2	6,8	88,0	31,4	68,6	Arenosa
<b>PERFIL II</b>						
A11	7,1	5,5	87,3	46,4	40,9	Arenosa
A12	7,1	8,5	84,3	38,8	45,5	Arenosa
B2	7,1	7,5	85,3	37,2	48,1	Arenosa
C	7,1	4,5	88,3	41,2	41,1	Arenosa
<b>PERFIL III</b>						
A11	17,0	23,2	59,6	25,8	33,8	Areno-limosa
A12	14,0	30,2	55,6	28,5	27,1	Areno-limosa
C	19,0	35,2	45,6	15,8	29,8	Areno-limosa

Fracción arcilla: <2µm; fracción limo: 0,05-0,002 mm; arena total: 2-0,05 mm; arena gruesa: 2-0,5 mm; arena fina: 0,5-0,05 mm.

TABLA VI  
pH Y MATERIA ORGÁNICA

Horizonte	pH		% M.O.	% Corg.	% N	C/N
	H <sub>2</sub> O	CaK				
<b>PERFIL I</b>						
A1	5,6	4,4	3,49	2,03	0,087	23,33
B2	5,4	3,8	0,84	0,51	0,019	26,84
C	4,7	3,5				
<b>PERFIL II</b>						
A11	5,7	4,7	3,56	2,07	0,071	29,15
A12	5,5	3,9	0,89	0,52	0,024	21,67
B2	5,4	3,7				
C	5,4	3,8				
<b>PERFIL III</b>						
A11	3,9	3,3	12,81	7,44	0,495	15,04
A12	4,2	3,7	13,14	7,64	0,355	21,52
C	4,3	3,0				

### Acidez y materia orgánica

Los valores de pH, según se deduce de la Tabla VI,

corresponden a un grado de acidez medio en los perfiles I y II, mientras que en el perfil III se obtienen algunos grados altos.

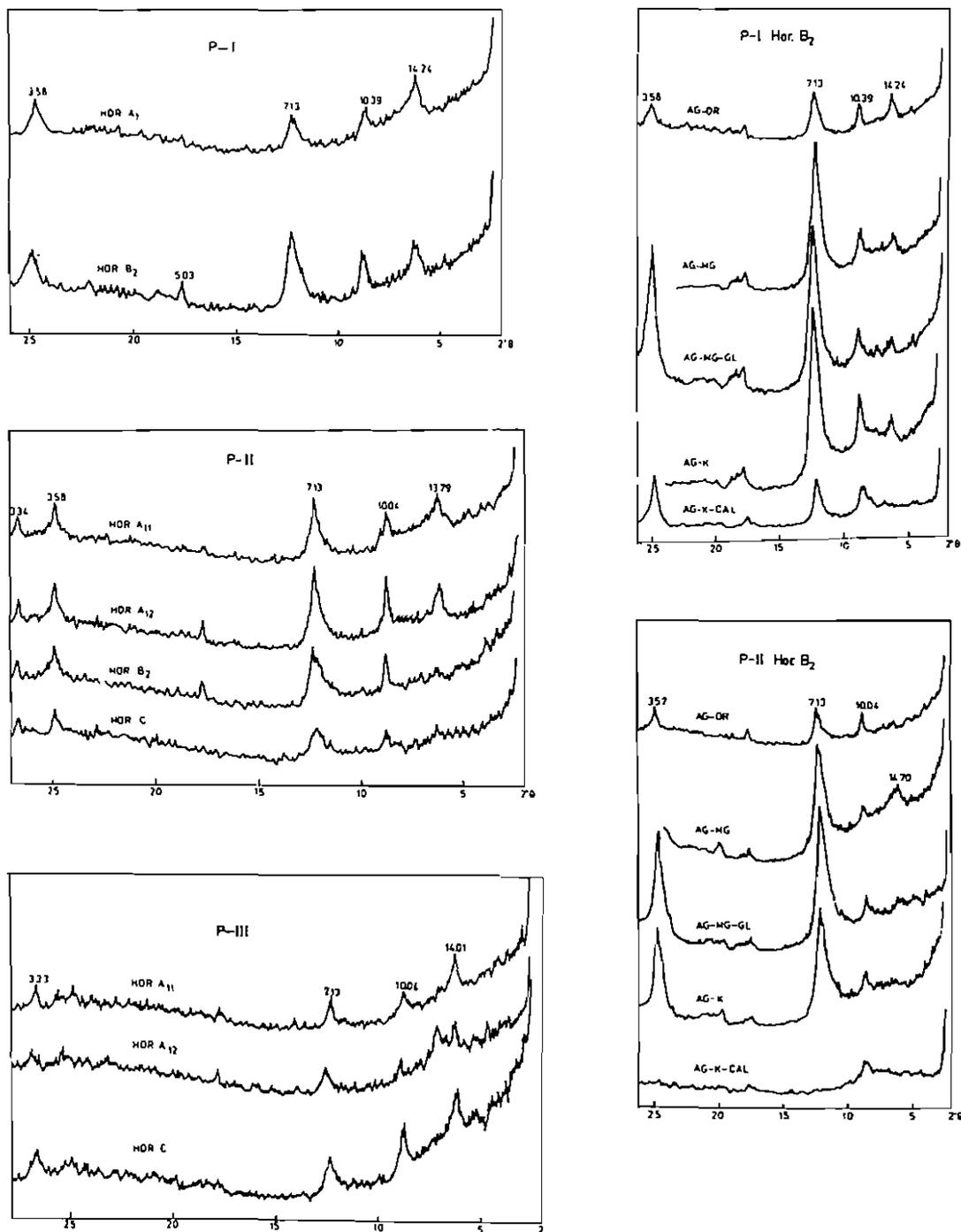


Fig. 2. Diagramas de difracción de Rayos X de la fracción arcilla.

Es fundamentalmente el material originario, de naturaleza silíceo, el que determina el pH de los suelos con la incidencia de la materia orgánica.

Los contenidos en materia orgánica son medios en los dos primeros perfiles y altos en el último; en este caso, la altitud y la vegetación condicionan una mayor acumulación de materia orgánica. En general, los valores concuerdan con los de otros trabajos realizados en la zona (HOYOS, 1969, 1980; JIMÉNEZ BALLESTA *et al.* 1981).

Los valores de la relación C/N muestran que la humificación es menor en los perfiles I y II, desarrollados bajo pino, mientras que en el perfil III, desarrollado bajo vegetación herbácea, la humificación es mayor. En este perfil, el incremento en el porcentaje de N con respecto a los otros dos perfiles, es más acusado que el incremento de carbono orgánico.

El tipo de humus, de acuerdo con todo lo expuesto en la Tabla II y según las referencias bibliográficas, se encontraría entre un mull ácido y un moder-mor.

### Capacidad de cambio

Los valores de capacidad total de intercambio catiónico son, en general, bajos, lo que es característico en este tipo de suelos.

Cabe señalar los bajos porcentajes de saturación en bases, por otra parte, característicos dadas las condiciones de acidez de los suelos.

En particular, el perfil III se encuentra prácticamente desaturado, siendo los cationes  $H^+$  y  $Al^{3+}$  los dominantes en el complejo de cambio. Todo ello se encuentra en concordancia con los valores de acidez obtenidos para este perfil.

### Contenidos de hierro y aluminio

En la Tabla VIII se indican los valores obtenidos de los contenidos de sesquióxidos de hierro y aluminio libres y totales en la fracción suelo (<2 mm), así como la relación libres a totales que es un índice de la alteración sufrida a lo largo del perfil.

De esta forma, la relación  $Fe_2O_3$ , libre a total de los perfiles I y II, indica una liberación de tipo medio.

En el perfil II, la relación  $Fe_2O_3$ , libre a total, alcanza sus mayores valores en los horizontes orgánicos, mientras que el horizonte B presenta menor liberación que el horizonte C.

En cuanto al aluminio, la relación  $Al_2O_3$ , libre a total en el perfil I aumenta en el horizonte A, debido probablemente a la acción de la materia orgánica. El perfil II muestra un máximo de  $Al_2O_3$ , li-

TABLA VII  
CAPACIDAD DE CAMBIO (meq/100 g DE SUELO)

Horizonte	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	T	S	V%
PERFIL I							
A1	1,09	2,50	2,60	0,48	26,00	6,67	25,6
B2	1,02	1,50	2,44	0,30	18,00	5,26	29,2
C	1,07	0,00	2,82	0,40	21,00	4,29	20,4
PERFIL II							
A11	1,09	4,00	2,52	0,58	20,00	8,19	40,9
A12	1,61	1,00	2,60	0,60	18,00	5,81	32,2
B2	1,46	1,00	2,36	0,54	19,00	5,36	28,2
C	1,68	0,00	2,80	0,46	16,50	3,94	23,8
PERFIL III							
A11	0,16	0,00	0,00	0,00	28,00	0,16	0,5
A12	0,10	0,00	0,00	0,00	25,00	0,10	0,0
C	0,03	0,00	0,00	0,00	14,00	0,08	0,0

T: capacidad total; S: suma de cationes; V: % de saturación (S/T × 100).

bre a total en el horizonte A y otro en C. Finalmente, en el perfil III se observa que el  $Al_2O_3$  está, en parte, liberado en el material originario.

**Análisis químico total**

En la Tabla IX se exponen los contenidos de óxidos totales en la fracción suelo (<2 mm), así co-

mo las relaciones molares sílice/sesquióxido y sílice/alumina.

En los tres perfiles estudiados puede observarse una gran similitud en lo que se refiere al porcentaje de Si O<sub>2</sub>, que mantiene valores entre el 70 y 77% en todos los horizontes, a excepción del horizonte A del perfil III. Este alto contenido en sílice se debe

**TABLA VIII  
DATOS DE HIERRO Y ALUMINIO EN SUELO**

Horizonte	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , libre	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , total	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , libre × 100/total	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , libre	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , total	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , libre × 100/total
<b>PERFIL I</b>						
A1	1,49	3,20	46,56	0,69	13,23	5,21
B2	1,51	3,20	47,18	0,51	14,36	3,55
C	1,62	3,60	42,63	0,45	16,78	2,68
<b>PERFIL II</b>						
A11	1,75	4,06	43,10	0,45	16,41	2,74
A12	2,14	4,52	47,34	0,71	15,57	2,56
B2	1,68	5,09	33,00	0,19	17,01	2,88
C	1,96	5,15	38,06	0,74	17,39	4,25
<b>PERFIL III</b>						
A11	1,81	2,63	68,82	0,91	20,56	4,41
A12	2,79	3,49	79,94	7,31	21,92	33,34
C	2,52	3,60	70,00	1,76	13,23	13,30

**TABLA IX  
ANÁLISIS QUÍMICO TOTAL (FRACCIÓN <2 mm)**

Horizonte	% SiO <sub>2</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% MgO	% CaO	% K <sub>2</sub> O	% Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub> /R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<b>PERFIL I</b>									
A1	77,15	13,23	3,20	0,59	0,05	4,46	1,32	8,53	9,85
B2	76,74	14,36	3,20	0,43	0,01	3,91	1,35	8,00	9,14
C	73,56	16,78	3,60	0,57	0,07	4,15	1,27	6,77	7,62
<b>PERFIL II</b>									
A11	71,76	16,41	4,06	0,58	0,05	4,87	2,27	6,61	7,43
A12	70,22	15,57	4,52	0,45	0,02	7,06	2,16	6,61	7,80
B2	70,23	17,01	5,09	0,64	0,05	5,09	1,89	5,85	6,88
C	70,37	17,39	5,15	0,50	0,01	4,61	1,97	5,85	6,88
<b>PERFIL III</b>									
A11	70,62	20,56	2,63	0,43	0,17	3,65	1,94	5,34	5,85
A12	64,29	21,92	3,49	3,17	1,39	3,43	2,31	4,65	5,09
C	74,85	13,23	3,60	0,87	0,14	5,47	1,84	8,27	9,54

Las relaciones SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> son molares.

fundamentalmente al cuarzo, constituyente fundamental de los materiales originarios de los suelos (gneis y granito).

Otro de los constituyentes fundamentales de ambas rocas son los feldespatos, que quedan patentes por el contenido en  $K_2O$ , aunque parte de este porcentaje corresponde a cationes K interlaminares de las micas e ilitas. Los porcentajes de  $Na_2O$  son bajos en todos los casos, manteniendo valores entre 1,2 y 2,3%; el sodio, procede, fundamentalmente, como catión de cambio en la fracción arcilla de los suelos, así como también, pero en menor proporción de las plagioclasas; comparados los porcentajes en  $Na_2O$  y Ca O, las plagioclasas son casi con exclusividad sódicas, es decir, de tipo albita.

Los porcentajes en  $Al_2O_3$ , son considerablemente altos, con valores comprendidos entre el 13 y 20%. Este aluminio procede de los feldespatos y micas dioctaédricas, y también de otras arcillas, fundamentalmente, dioctaédricas y silicatos aluminicos incluidos dentro de los minerales pesados.

Los porcentajes de  $Fe_2O_3$ , presentan valores moderados, entre 3-5%, destacando un ligero mayor contenido en los horizontes C. Este hierro, procedente fundamentalmente de las biotitas, constituyente esencial de granito y gneis, así como también de otros filosilicatos que lo presentan en posición octaédrica.

Las razones molares (en los perfiles I y II) indican un cierto lavado de sesquióxidos, aunque las condiciones del medio no son las más apropiadas para ello.

### Mineralogía de arcillas

En los tres perfiles estudiados puede observarse cierta similitud en cuanto a los filosilicatos se refiere, detectándose fundamentalmente caolinita e ilitas, así como vermiculitas, cloritas ricas en hierro, hidromicas e interestratificados regulares e irregulares.

El perfil II, a diferencia del caso anterior, la reflexión a 7,13 Å desaparece en el diagrama orientado con potasio después de su calentamiento a 550° C, por lo que en este caso la clorita segunda no se presenta, respondiendo dicha reflexión única y exclusivamente a caolinita.

TABLA X  
ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA FRACCIÓN  
ARCILLA (<2 $\mu$ )

Perfil/horizonte	K	I	V	Cl	Int	Hm
PI/A1 .....	xx	xx	x	x	tr	x
PI/B2 .....	xxx	xx	x	x	tr	x
PI/C .....	xx	xx	tr	x	tr	tr
PII/A11 .....	xxx	xx	xx	—	x	tr
PII/A12 .....	xxx	xx	xx	—	x	x
PII/B2 .....	xxx	xx	x	—	x	x
PII/C .....	xx	x	x	—	x	x
PIII/A11 .....	xx	xx	x	—	x	x
PIII/A12 .....	xx	x	x	—	x	xx
PIII/C .....	xx	xx	x	—	x	x

K: caolinitas.

I: ilitas.

Cl: cloritas.

V: vermiculitas.

Int: interestratificados.

Hm: hidromicas.

x: presente.

xx: frecuente.

xxx: abundante.

tr: trazas.

Las reflexiones entre 10 y 13 Å son debidas a interestratificados.

El perfil III tiene una composición mineralógica similar al anterior, con presencia de frecuente caolinita e ilita, así como escasas vermiculitas, hidromicas e interestratificados regulares e irregulares. En este caso, tampoco se detecta la presencia de minerales cloríticos.

### GENESIS

Al igual que en otros trabajos sobre la Sierra de Guadarrama (HOYOS, 1969, 1979, 1980; JIMÉNEZ BALLESTA *et al.* 1981; GARCÍA BAYÓN, 1978; GALLARDO y GARCÍA RODRÍGUEZ, 1973), se detecta que la edafogénesis se produce bajo el común denominador de los materiales silíceos y con la intervención del clima y la vegetación como principales responsables de los procesos formadores.

La génesis de los perfiles estudiados se lleva a cabo mediante procesos edáficos de moderada intensidad. Predomina la alteración física como se puede deducir de las propiedades que los suelos heredan del material originario.

La presencia de ilita y caolinita es común a los tres perfiles, como puede deducirse de la Tabla VI. Ambos filosilicatos son esencialmente heredados del material originario, bien a partir de las micas o de

los feldespatos, por lo que su origen es, fundamentalmente, geológico.

Según la Tabla X, en el perfil I la ilita es abundante en todos sus horizontes. En el perfil II, es escaso en C y abundante en el resto del suelo. Evidentemente, en este caso, además, de herencia debe considerarse la existencia de procesos de transformación a partir de las biotitas, con lo cual la ilita tendría un doble origen: geológico (heredado) y edáfico (transformación). Análogamente en el último perfil existe ilita heredada y procedente de transformación.

Un proceso de transformación frecuente en las biotitas es la vermiculitización. La presencia de vermiculita en los tres perfiles descritos (Tabla VI) es manifiestamente edáfica en los dos primeros y cabe suponer que también lo es en el último, debido a las condiciones que actualmente actúan sobre este perfil.

Numerosos autores han estudiado esta transformación. Dadas las distintas conclusiones a que han llegado, se deduce que no existe una vía única por la que discurra. JIMÉNEZ BALLESTA *et al.* (1981) la explican en suelos similares a éstos.

Las hidromicas son filosilicatos que proceden de las micas, en este caso biotita, mediante extracción de K interlamina que es sustituido por moléculas de agua. Esta sustitución produce hinchamiento por doble causa: por una parte, el tamaño de la molécula sustituyente y, por otra, el «enfrentamiento» de cargas negativas de las dos capas tetraédricas que se encuentran ahora descompensadas eléctricamente como consecuencia de la pérdida de K interlamina.

Finalmente, cabe destacar la presencia de cloritas única y exclusivamente en el perfil I en la fracción arcilla. Se trata de un mineral heredado del material originario.

Para concluir, queremos resaltar que la procedencia de los minerales de la arcilla en los suelos estudiados es debida a la herencia y a la transformación. En este último proceso, las biotitas son el mineral de partida y dan lugar a una serie de filosilicatos en los que se ha producido distinto grado de transformación de la estructura inicial, desde las hidromicas hasta los interestratificados vermiculita-clorita.

## CLASIFICACION

### Perfil I

El horizonte superficial se clasifica como epipedón Umbrico, ya que cumple todas las condiciones que caracterizan a éstos: posee 30 cm de profundidad, su contenido en materia orgánica es de un 3,5% y el porcentaje de saturación en bases es inferior al 50%. Asimismo, presenta una estructura migajosa fina, no es duro ni masivo y su color según las tablas Munsell es 10 YR 3/3 en seco.

El horizonte B presenta suficientes muestras de alteración físico-química con respecto al material originario como para considerar que se trata de un horizonte Cámbico.

Para determinar el gran grupo al que pertenece, se ha considerado el régimen de humedad de la zona «xérico».

Finalmente, y dada la ausencia de otras características de diagnóstico a lo largo del perfil, se clasifica como *XERUMBREPT TIPICO*.

### Perfil II

El epipedón posee 40 cm de espesor; el contenido en materia orgánica varía a lo largo del horizonte desde un 3,5% hasta casi un 1%; el porcentaje de saturación en bases se mantiene inferior al 50%; el color es 10 YR 5/3 en seco, y, finalmente, no es duro ni masivo. Por todo ello se considera como epipedón Umbrico.

Existe, asimismo, un horizonte B que presenta signos de alteración del material originario como son: el color y la aparición de una estructura moderada que corresponde a procesos edáficos.

Al igual que el perfil anterior, se trata de un *XERUMBREPT TIPICO*.

### Perfil III

Este perfil presenta una morfología de tipo A/C, con un epipedón muy desarrollado, con una profundidad de 45 cm, contenidos en materia orgánica muy altos, aproximadamente del 13%, saturación en bases prácticamente nula, estructura migajosa, suelto, friable y color 10 YR 3/2 en seco.

Todas estas características permiten clasificarle como epipedón Umbrico.

Este perfil puede quedar incluido dentro del gran grupo Cryumbrept, si realmente posee el régimen cryico de temperatura. No obstante, si no fuese así, considerando el régimen de humedad como «údic», quedaría clasificado como Haplumbret.

Nos inclinamos más por esta segunda clasificación, ya que, según la mayor parte de los autores, el régimen de temperatura «cryico» únicamente se alcanza en la Península Ibérica, por encima de los 2.000 metros de altitud, por lo que este perfil se trata posiblemente de un *HAPLUMBREPT ENTICO*.

## CONCLUSIONES

El clima de la zona es de carácter microtérnico y perhúmedo con poca o ninguna falta de agua para alturas superiores a 1.600 m. Para altitudes inferiores, el clima es mesotérnico y húmedo con falta de agua en verano.

Para altitudes inferiores a 1.600 m, la existencia de un período xerofítico es el condicionante de la edafogénesis y, por tanto, de la morfología. Por encima de dicha cota la baja temperatura es el elemento climático que determina el proceso genético.

La vegetación de la zona de tipo boscoso, para altitudes inferiores a 1.600 m, proporciona contenidos medios en materia orgánica. Para cotas superiores, la vegetación es herbácea y aporta elevados contenidos en materia orgánica. Este factor, junto con el clima, son los que más influyen en la morfología de los suelos.

Los suelos que van desde típicos Litosuelos hasta incluso Histosoles, pasando por abundantes Rankers y Cambisoles, presentan, fundamentalmente, en los perfiles estudiados una secuencia de horizontes A/B/C o A/C con moderado espesor en algunos casos, siendo el horizonte A típicamente negruzco.

Frecuentemente, presentan un horizonte transicional BC desarrollado ampliamente.

La roca madre no actúa como factor diferenciador de los tres perfiles, dada su relativa homogeneidad mineralógica. Los suelos heredan de la roca: la riqueza en cuarzo, por lo que su textura está dominada por la fracción arena; el pH ácido; la escasez en cationes básicos y los minerales que componen las fracciones arena y arcilla.

La edafogénesis de la zona se halla dominada por los procesos de alteración física. La alteración química producida durante la edafogénesis es moderada.

El análisis mineralógico de la fracción arcilla indica la presencia de illita y caolinita como minerales predominantes en los tres perfiles; vermiculita, interestratificados regulares e irregulares, e hidromicas aparecen en menor cuantía y, finalmente, clorita, únicamente en el perfil I.

Los minerales iliticos *son heredados* y proceden de la transformación de las micas por pérdida de potasio interlaminar. La caolinita es, asimismo, heredada, su formación se debe a la hidrólisis de los feldspatos y constituyentes de las rocas, *este proceso de caolinización se produjo en condiciones distintas de las actuales*. Probablemente la vermiculita se originó durante la edafogénesis por transformación de las biotitas (vermiculitización), mediante intercambio de K interlaminar por otros iones hidratados y oxidación de hierro de las capas octaédricas. Los minerales interestratificados y las hidromicas proceden, asimismo, de la transformación que, en distinto grado, han sufrido las biotitas durante la edafogénesis. Las cloritas de perfil I son heredadas del material originario. Se formaron a expensas de las biotitas (cloritización), que, en condiciones distintas a las actuales, dieron lugar a cloritas de segundo orden.

Según la sistemática americana, los perfiles I y II quedan clasificados como Xerumbrept Típicos, mientras que el perfil III es un Haplumbret Entico.

## SUMMARY

The study behold three representative profile soils developed on similar lithologic materials in the Sierra of Guadarrama.

A study of the natural environment was carried out which embraced their geology, climatology and vegetation.

We have described its morphology following the Soil Taxonomy System.

Chemical, physico-chemical and mineralogical data for three soil profiles characteristic of the Sierra are given.

The soils were classified as: Typic Xerumbrept and Entic Haplumbrept.

## BIBLIOGRAFIA

- APARICIO, A.; BARRERA, J. L.; CARBALLO, J. M.; PEINADO, M., y TINAO, J. M., 1975: *Los materiales graníticos hercínicos del Sistema Central Español*. IGME.
- ARIFIN, PERKINS, H. F., y TAN K. H., 1973: «Potassium fixation and reconstitution of micaceous structures in soils». *Soil Sci.* Vol. 116.
- BIROT, P., y SOLE SABARIS, L., 1954: *Investigaciones sobre la morfología de la Cordillera Central Española*. Inst. Juan Sebastián Elcano. CSIC.
- CADAHIA, C., 1973: «Determinación simultánea de nitrógeno y fósforo en suelos y plantas con un sistema autoanalizador». *An. Edaf. y Agrobiología*. XXXII (479-500).
- DEB, B. C., 1950: «Estimación of free iron oxides in soils and clays and their removal». *J. Soil Sci.* 1: (212-220).
- DeMUMBRUM, 1963: «Conversion of mica to vermiculite by potassium removal». *Soil Science*. Vol. 96. 275-277.
- FULLER, W. H.; KORTE, N. E.; NIEBLA, E. E., y ALESH, E. A., 1976: «Contribution of the soil to the migration of certain common and trace elements». *Soil Sci.* 122: (223-235).
- FAO: *Guía para la descripción de perfiles de suelos*.
- FUSTER, J. M., y GARCÍA CACHO, L., 1970: «Sobre el metamorfismo regional progresivo en el Guadarrama Oriental (Sistema Central Español)». *Estudios Geológicos*. XXVI. Inst. Lucas Mallada. CSIC.
- GALLARDO, J., y GARCÍA RODRÍGUEZ, A., 1973: «Estudio del perfil de materia orgánica en suelos de la región oeste de España». *An. Ed y Ag.* XXXII.
- GARCÍA BAYÓN, G., 1978: *Estudio de las formaciones edáficas en una área de la vertiente Norte de la Sierra de Guadarrama (Valle de Valsain)*. Tesina de Licenciatura. Universidad Autónoma de Madrid.
- GUITIAN, F., y CARBALLAS, F., 1970: *Técnicas de análisis de suelos*. Editorial Pico Sacro.
- HOYOS, A.; HERNANDO, J.; RUIZ, C., y EGIDO, F., 1980: «Caracterización de suelos del Sistema Central». *An. Ed. y Ag.* XXVII.
- HOYOS, A.; HERNANDO, J.; RUIZ, C., y EGIDO, F., 1980: «Caracterización de suelos del Sistema Central». *An. Ed. y Ag.* XXXIX.
- JACKSON, M. L., 1964: *Análisis químico de suelos*. Editorial Omega.
- JIMÉNEZ BALLESTA, R., y GUERRA DELGADO, A., 1975: «Evolución de suelos con la altitud en la vertiente Sur de la Sierra de Gredos». *An. Edaf., y Agrob.* XXXIV. 991-1.010.
- JIMÉNEZ BALLESTA, R.; GARCÍA, G.; POLO, A., y ALMENDROS, G., 1981: «Edogénesis catenal de las formaciones edáficas del valle de Valsain». *An. Ed. y Agr.* XL. 5-6. 833-848.
- KILMER, V. J., y ALEXANDER, L. T., 1949: «Methods of making mechanical analysis of soils». *Soil Sci.* 68 (15-24).
- LÁZARO, F.; ELÍAS, F., y NIEVES, M., 1978: *Regímenes de humedad de los suelos de la España Peninsular*. INIA. Ministerio de Agricultura.

- MEHLICH, A., 1948: «Determination of cation and anion exchange properties of soils». *Soil Sci.* 66 (429-445).
- MUXART, T., y BIROT, P., 1977: *L'alteration meteorique des roches*. Publications du Departamente de Geographie de L'Universite du Paris-Sorbonne. París.
- ROBERT, M., 1970: *Etude expérimentale de de l'evolution des micas*. Tesis. París.
- HOYOS, A., PALOMAR, M., y HERNANDO, J., 1979 «Estudio genético del suelo tipo del Alto de Los Leones (Madrid)». *An. Ed. y Ag.* XXXVIII.
- ROBERT, K., y RAZZAGHE-KARIMI, M., 1974: «Evolution des micas trioctaedriques en presence d'acides organiques». *Dul. Groupe fr. des Argiles*, 26 (2), págs. 307-318.
- SOIL SURVEY STAFF, 1975: *Soil Taxonomy. A basic system of soils classification for making and interpreting soils surveys (X Aproximation)*. USDA.