

①

JUAN GALLARDO LANCHO

EL PERFIL DE MATERIA ORGANICA
EN SUELOS DE LA REGION OESTE DE ESPAÑA

Acta Salmanticensis, 45, 113-134 (1973).

INTRODUCCIÓN¹

El objeto del presente trabajo es el estudio de las características (distribución, composición y evolución) de la materia orgánica a través del perfil, en suelos de la Región Oeste de España, así como su incidencia en el proceso edáfico, en el que interviene como causa y efecto.

Para ello se han tomado muestras de cada uno de los horizontes de 26 suelos (lo menos alterados posible) desarrollados sobre distinta formación geológica y bajo diferente vegetación, ubicados en las provincias de Avila, Cáceres, León, Palencia, Salamanca y Valladolid.

SCHEFFER y ULRICH (1960), definen el humus como «conjunto de residuos y sustancias muertas, de origen vegetal y animal, que se encuentran en el suelo o sobre él y que están sometidos a continuos procesos fisicoquímicos y bioquímicos de destrucción, evolución y neoformación». RUSSELL (1968), restringe el concepto al señalar como sustancias húmicas el material estable, amorfo, sin vestigios reconocibles del material que se deriva y responsable del color negrozco del suelo. Esencialmente, ambas acepciones se distinguen entre sí en considerar o no los grupos clásicos de la Química Orgánica como sustancias húmicas: carbohidratos, proteínas, ceras, grasas, resinas, flavonas, etc.

Las sustancias húmicas se acumulan generalmente sobre la superficie del suelo (horizontes orgánicos), donde, a su vez, se desarrolla la casi totalidad de la vida microbiana y se realiza el intercambio nutricional de las plantas: de ahí la importancia de su estudio. Así el humus ejerce una acción decisiva sobre la nutrición vegetal (como reserva de N, P y S), la actividad microbiana (como fuente de energía), la capacidad de cambio del suelo, así como sobre su estructura. También contribuye al lavado de elementos y a la eluviación de las arcillas, por lo que tiene fuerte incidencia en la dinámica del perfil (ANTIPOV-KARATEV, TSYURUPA; 1961).

Se ha intentado el estudio del humus desde un punto de vista químico, pero las más modernas revisiones editadas sobre el tema (la ya clásica de KONONOVA (1966), las de FELBECK (1965 y 1971), CARPENA (1969) y MÉNDEZ-LOJO (1972), coinciden en afirmar tanto su dificultad de estudio

¹ Esta tesis ha sido realizada en el Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca, bajo la dirección del Prof. Dr. D. Felipe LUCENA CONDE y del Dr. D. Antonio GARCIA RODRIGUEZ, a quienes expreso mi reconocimiento.

como la existencia de grandes lagunas respecto a su origen y formación y estado natural, a pesar de las modernas técnicas empleadas.

Clásicamente se han venido agrupando las sustancias húmicas según sus propiedades fisicoquímicas más notorias, tales como color y solubilidad:

- Ácidos fúlvicos: fracciones amarillo-rojizas, solubles en OHNa y ácidos.
- Ácidos himatomelánicos: fracciones solubles en OHNa, alcohol, insolubles en ácidos.
- Ácidos humínicos: fracciones pardo-grisáceas, solubles en OHNa, insolubles en ácidos y alcohol.
- Huminas: Insolubles en los anteriores reactivos.

FELBECK (1965) dio para estas sustancias una estructura constituida por una unidad central de tipo pirona, con presencia de N-heterocíclico y cadenas laterales unidas mediante enlaces peptídicos. Los ácidos fúlvicos provendrían, según dicho autor, de la escisión de restos moleculares a través de enlaces de fácil ruptura, v. g.: de tipo éster. Casi todos los investigadores del humus coinciden en el modelo estructural, señalando siempre la existencia de un núcleo central de tipo aromático, provisto de grupos metoxílicos, cetónicos, quinónicos, hidroxílicos, fenólicos, N-heterocíclico, etc., y cadenas laterales unidas mediante enlaces éter, éster, amido, etc., las cuales, a su vez, contendrían grupos aldehídicos, cetónicos, alcohólicos, aminos, etc.

Por tanto las propiedades de las sustancias húmicas son fácilmente deducibles: Alto peso molecular, muy variable (desde 5.000 a 100.000 o más); naturaleza amorfa y coloidal; carácter ácido; peso equivalente relativamente bajo y próximo a 100 (SCHNITZER y DESJARDINS, 1962) consideran que a la acidez de las micelas húmicas contribuyen tanto los grupos carboxílicos como los hidroxílicos fenólicos); alta capacidad de cambio (SEN, 1964), 450 meq/100 g.); etc.

Los ácidos fúlvicos tienen un carácter hidrófilo, con predominio de cadenas laterales y grupos ácidos y gran capacidad para la formación de quelatos con los cationes metálicos. ALEKSANDROVA (1967) supone que en el proceso intervienen los grupos carboxílicos e hidroxílicos aromáticos colocados en posición *ortho*. Su capacidad de cambio es elevada; los valores citados más frecuentemente en la bibliografía se aproximan a los 300 meq., por 100 g., pero actualmente se piensa que ofrecen fuertes errores por defecto. Estas fracciones son abundantes en suelos jóvenes y poco evolu-

cionados y en los podsolizados: rankers, rendsinas, vegas, aluviales, y, por supuesto, podsoles.

Los ácidos humínicos tienen un carácter más hidrófobo, debido sin duda a su mayor peso molecular y su naturaleza aromática. Establecen uniones con la parte mineral del suelo, y según las fuerzas de unión se les agrupa en humínicos ligados y libres, siendo las huminas aquellas formas de estas fracciones que no son susceptibles a extracción. Su capacidad de cambio es muy alta, de unos 500 meq./100 g. Aparecen en suelos donde existan condiciones favorables para la acumulación húmica; esto es, abundancia de arcillas, disponibilidad de bases alcalino-térreas y existencias de contrastes climáticos: chernozems, suelos pardos calizos, tierras negras, vertisuelos, etc.

La cantidad y calidad de la materia orgánica de un suelo está, por tanto, determinada por la roca original, propiedades fisicoquímicas del perfil, clima, biología y acción humana. Repasemos brevemente la acción de cada una de las variables citadas sobre el humus.

La roca ejerce una fuerte influencia sobre la evolución húmica, máxime en los suelos poco desarrollados (azonales): la liberación de bases y, a veces de arcillas, en su meteorización es de suma importancia en la fijación de los coloides húmicos.

Dentro de los factores fisicoquímicos, el pH es, para los autores ingleses, quien condiciona el tipo de evolución húmica. Dentro de las arcillas, son las del tipo 2:1 (de tipo íltico o montmorillonítico) quienes ejercen una mejor y más íntima unión con las sustancias humificadas. Por otra parte, en suelos con el complejo de cambio saturado, es el catión Ca II, por su relativa abundancia, quien establece los «puentes» de unión entre los minerales de la arcilla y el humus, a la vez que contribuye a mantener el sistema coloidal floculado. En defecto de éste, ocupa su lugar el ión Fe III, y en suelos más ácidos, también el Al III. El Na I, por el contrario, ejerce una acción perjudicial sobre el complejo arcillohúmico, ya que impide aquellas uniones y, por otro lado, peptiza los coloides.

El clima ambiental actúa eficientemente sobre la polimerización húmica: los autores franceses afirman que la existencia de contrastes climáticos contribuyen eficazmente en las condensaciones humínicas. THOMANN (1963) añade que la permanente humedad del suelo dificulta, por el contrario, tal evolución. También es de reconocer una acción indirecta del clima, ya que condiciona la biología reinante sobre o en el suelo.

Para DUCHAUFOUR (1962 y 1963) la vegetación es quien a largo plazo determina la calidad húmica de un suelo, influyendo tanto la cantidad como la velocidad de descomposición de los residuos vegetales, así como la riqueza de éstos en N y bases. En suelos evolucionados, cuando la razón

C/N es baja y medio o alto el contenido en alcalino-térreos, se forman distintos subtipos de mull. Si el contenido de éstos disminuye, se forma mull ácido o moder, según la riqueza del suelo en N; cuando bases y N escasean (relación C/N muy superior a 25), se obtiene moor. (DUCHAUFOUR, 1968 y 1970). Se consideran especies vegetales mejorantes, las pertenecientes a las familias de las leguminosas, gramíneas y fagáceas, mientras que son acidificantes, las ericáceas y las coníferas.

Aunque la acción de la micro-fauna y micro-flora telúrica ha sido poco estudiada, actualmente se están realizando grandes progresos merced al empleo de técnicas radioisotópicas en tales estudios. KONONOVA (1966) en el esquema I, atribuye a la acción microbiana un papel fundamental, en el proceso de formación húmica. SWABY y LADD (1963) consideran que los procesos de condensación se producen dentro de la misma célula, poco después de su muerte.

La acción de la macro y meso-fauna está aún menos estudiada, excepción de algunos estudios sobre el papel de las lombrices de tierra en la formación de agregados arcillohúmicos. Por último, poco hay que decir sobre la acción antropógena, en general degradativa, por todos bien conocida.

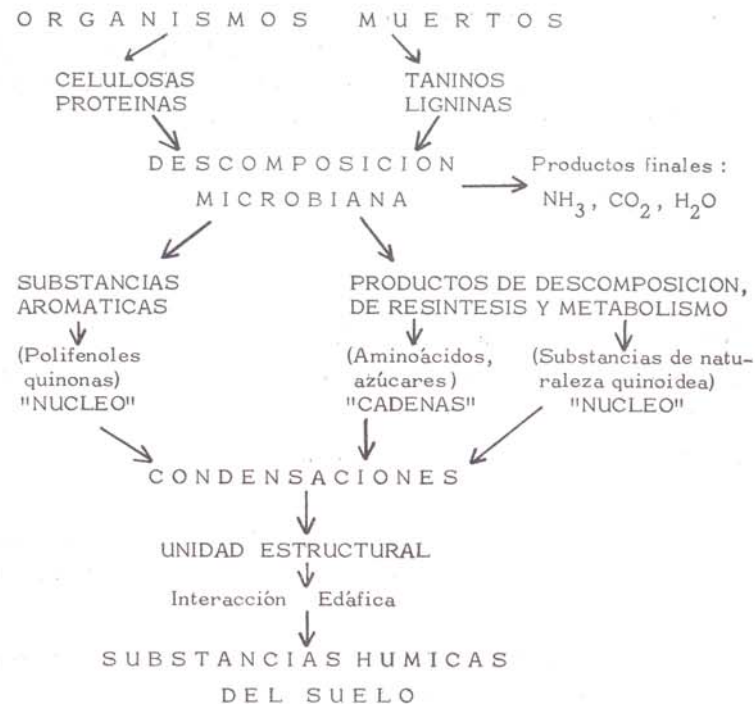
PARTE EXPERIMENTAL

Una de las mayores dificultades en el estudio del humus es lograr la extracción y posterior fraccionamiento sin producir alteraciones en su composición natural; se han venido buscando y ensayando diversas sustancias (ácidas y alcalinas, orgánicas e inorgánicas, etc.) comparando su acción sobre la materia orgánica respecto a, generalmente, el OHNa. De los extractantes hasta ahora ensayados parece ser que es el $P_2O_7Na_4$ el que ofrece mayores garantías de éxito (DABIN y THOMANN, 1970), de una parte, por el relativo bajo pH de trabajo, y por otra, por sus propiedades acomplejantes sobre los cationes metálicos.

Dentro de los distintos esquemas de extracción y fraccionamiento propuestos, se ha seguido esencialmente el de DUCHAUFOUR-JACQUIN (1963 y 1966), incluyendo la modificación efectuada por CARBALLAS-GUITIAN (1967), tanto por el alto número de fracciones obtenidas como por su relativa economía en medio materiales.

Descripción del método

La muestra, libre de residuos vegetales visibles, tamizada (luz: 2 mm) y triturada (tamaño medio: 0,2 mm), se somete a una extracción durante



ESQUEMA I

24 h. con una mezcla de etanol-benceno 1:1, en un aparato Soxhlet. Se obtiene así la fracción que denominamos *ácidos himatomelánicos* y que también engloba grasas, ceras y resinas del suelo. El residuo se trata durante una hora y con agitación con una disolución de $P_2O_7Na_4$ 0,1 M más SO_4Na_2 al 7 %, ajustando el pH a 7 y repitiéndose el proceso. El sobrenadante separado por centrifugación, se lleva a pH 1 por adición de SO_4H_2 y, tras dejarlo reposar toda la noche, se separan los *ácidos fúlvicos* (solución amarillo-rojiza) de los *ácidos húmnicos libres* (precipitado pardo).

El residuo anterior se vuelve a someter a la acción de una disolución de $P_2O_7Na_4$, 0,1 M (pH 9,8), dos veces y una hora de duración, procediéndose a precipitar, como en el caso anterior, los *ácidos húmnicos ligados* (pardogrisáceos) de pequeñas porciones de *ácidos fúlvicos* (los cuales se reúnen con los obtenidos previamente). Por último, el residuo anterior es sometido a una sola extracción con OHNa 0,1 M, de media hora de duración; el sobrenadante constituye la fracción denominada *humina extraíble*, ya que es parte de la *humina* que es susceptible a hidrólisis mediante este reactivo.

La determinación cuantitativa de cada una de las fracciones se ha realizado por su contenido en C por vía húmeda, mediante $\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$. Los factores de conversión utilizados para cada una de las fracciones son aquellos propuestos por ATTAR y DELECOUR (1964).

Material de estudio

Las muestras pertenecen a:

- Ranker, Tierra parda, Gley y Vega formados a partir de granitos y pizarras, bajo bosques o pastos, en ambas vertientes de la Cordillera Central.
- Suelo pardo sobre rocas ígneas básicas, bajo vegetación xerofítica, en la Altiplanicie de Cáceres.
- Suelo pardo calizo y Xerorrendsina sobre calizas y margas, bajo vegetación xerofítica, en los páramos y cuevas del Centro de la Meseta del Duero.
- Suelo pardo rojizo sobre calizas paleozoicas, bajo bosques o pastos en la Vertiente Meridional de la Montaña Leonesa.
- Suelos hidromorfos, ricos en sales o salinos, bajo vegetación herbácea, en depresiones de la Cuenca del Duero.

Resultados experimentales

Debido al carácter de resumen de esta publicación, sólo se indican las determinaciones más importantes realizadas en las muestras de los perfiles: pH en ClK; contenido en materia orgánica, arcilla, carbonatos y sales solubles (en tantos por ciento en suelo); razón C/N, así como la situación geomorfológica y tipología de los 26 perfiles.

Del fraccionamiento de la materia orgánica humificada sólo se presentan valores medios de los datos obtenidos (agrupando los suelos según la formación geológica y vegetación o clima): para las fracciones fúlvicas, humínicas y humina extraíble (en tantos por ciento sobre la materia orgánica total); de las relaciones Carbón-fúlvico/Carbón humínico y Carbón humínico ligado/Carbón humínico libre y del «nivel de extracción» (definido como suma total de todas las fracciones extraídas para una misma muestra de suelo) (Tabla I).

VALORES MEDIOS DE GRUPOS DE SUELOS Tabla I		MATERIA ORGÁNICA %		RAZÓN C/N		ÁCIDOS FÚLVICOS %		ÁCIDOS HUMÍNICOS %		HUMINA EXTRAÍBLE %		NIVEL DE EXTRACCIÓN %		RAZÓN Cf/Ch		RAZÓN AHlg/AHlb.	
		H. sup.	H. sub.	H. sup.	H. sub.	H. sup.	H. sub.	H. sup.	H. sub.	H. sup.	H. sub.	H. sup.	H. sub.	H. sup.	H. sub.	H. sup.	H. sub.
		SUELOS SOBRE GRANITOS	Forestales (6)	7.2	0.9	10.0	10.7	8.0	17.6	12.3	14.1	4.3	5.0	20.8	40.2	0.7	1.3
	Prados (3)	4.3	0.9	12.9	9.6	11.9	10.5	14.9	24.7	7.3	7.9	41.5	55.6	0.8	0.8	0.9	0.6
SUELOS SOBRE PIZARRAS	Forestales (3)	9.4	1.2	17.9	12.0	10.7	19.3	14.8	13.4	6.6	8.1	37.3	51.9	0.7	1.4	0.5	1.1
	Prados (1)	4.6	1.7	13.2	11.6	9.4	22.5	10.5	22.2	9.4	14.1	34.4	64.4	0.9	1.0	1.2	1.6
SUELOS SOBRE ROCAS BÁSICAS CALIZAS Y MARGAS	Climo-estepario (3)	5.1	2.7	13.6	9.8	5.0	8.6	3.9	4.6	2.1	1.8	13.8	20.5	1.3	1.9	1.2	1.9
	Clima húmedo (2)	10.0	2.7	14.3	10.5	3.4	5.1	3.3	2.0	6.0	2.0	15.4	12.5	1.0	2.5	2.1	4.0
	Hidromorfos (8)	4.1	0.9	10.6	6.9	8.0	10.0	8.0	9.5	6.5	3.8	27.2	31.2	1.0	1.1	1.1	1.6

TABLA I

No obstante, se ofrecen, en forma gráfica, los datos obtenidos en el fraccionamiento de cuatro tipos diferentes de suelos: Ranker pardo (gráfica 1), Vega parda (gráf. 2), Xerorrendsina (gráf. 3) y, por último, Vega caliza salina (gráf. 4).

Situación	Tipo de suelo	Horiz.	pH ClK	M.O.	C/N	Arcilla
El Piornal	Ranker pardo	Ao	4,1	11,29	21,2	14,2
Granito		A ₁	4,2	8,93	21,4	11,0
Ladera suave		A/(B)	4,3	3,90	18,8	8,0
		(B)/C ₁	4,3	1,27	11,2	11,0
		C ₁	4,3	0,88	12,7	8,6
Navacepeda	Tierra parda	A ₁₁	5,0	8,34	15,6	19,0
Granito		A ₁₂	4,2	2,52	12,0	17,9
Ladera 6 %		(B)	3,5	0,43	7,8	15,6
		(B)/C ₁	3,5	0,36	8,4	15,0
Hoyos Espino	Tierra parda	A	4,3	6,93	22,3	6,5
Granito		(B)	3,9	0,46	12,2	9,3
Ladera 8 %		C ₁ /C	3,8	0,33	9,5	8,0
Candeleda	Tierra parda	A	3,8	5,95	16,4	12,2
Granito		(B)	3,7	0,36	8,4	11,8
Ladera 3 %		C ₁	3,4	0,21	7,5	17,8
Candeleda	Tierra parda	A ₁	4,2	5,51	20,9	8,5
Granito		(B)/Cl	4,2	0,74	10,0	11,0
Ladera 15 %		C ₁	4,8	0,47	10,8	7,6
Peñaranda	Tierra parda	A	4,0	8,40	13,4	16,0
Granito		(B)	4,2	1,98	13,5	10,0
Ladera 4 %		C ₁	4,1	0,50	11,6	8,4
Peñaranda	Tierra parda	A	4,2	6,05	15,2	11,3
Granito		(B)	4,3	2,52	13,2	9,0
Ladera 4 %		C ₁	4,0	0,71	11,3	11,6
Navacepeda	Tierra parda	A ₁₁	4,5	6,69	12,4	14,0
Granito		A ₁₂	4,6	2,34	12,3	13,3
Ladera 3 %		B	4,6	0,67	9,2	10,8
Montalbán	Gley empardecido	A	4,1	2,22	11,7	9,0
Granito		(B)G	5,0	0,33	7,8	7,0
Vaguada		G	5,0	0,33	6,3	7,0

Situación	Tipo de suelo	Horiz.	pH ClK	M.O.	C/N	Arcilla	Carbo- natos
Villasrubias	Tierra parda	A	3,8	5,45	15,8	19,8	—
Pizarras		(B)	3,7	1,10	12,8	16,2	—
Ladera 2 %		C ₁	3,5	0,71	9,5	29,0	—
El Payo	Tierra parda	A	3,9	12,64	19,3	21,0	—
Pizarras		(B)	4,0	1,81	17,5	28,6	—
Ladera 3 %		C ₁	3,9	0,57	8,0	15,2	—
Gata	Tierra parda	A	4,0	10,20	24,5	19,5	—
Pizarras		(B)/C ₁	4,2	1,95	16,1	20,0	—
Ladera 3 %							
Perales	Vega parda	A	3,9	4,57	13,2	18,0	—
Aluviocoluvial		(B) ₁	4,2	1,42	10,9	16,0	—
Vaguada		(B) ₂	4,3	1,78	12,2	13,8	—
Garrovillas	Suelo pardo	A	5,9	4,27	14,6	30,6	—
Diabasas		B	5,3	1,34	8,8	42,7	—
Ladera 15 %		B/C ₁	5,2	0,67	8,8	24,9	—
		C ₁	4,8	0,17	6,2	6,7	—
Astudillo	Suelo pardo calizo	A	6,8	7,08	12,8	36,0	26,0
Llano		A/(B)	6,8	6,29	12,5	35,5	26,0
Calizas		(B)/Ca	6,6	5,76	13,0	—	35,4
Villagimena	Xerorrendina	A	6,8	3,96	13,5	—	60,0
Ladera 15 %		A/C ₁	6,8	2,67	10,3	—	56,0
Caliza y margas		C ₁	6,8	1,91	9,1	—	54,0
La Vid	Suelo pardo rojizo	A	6,1	11,89	13,9	34,0	—
Calizas		B	6,1	5,76	13,2	52,2	—
Ladera 40 %		B/C	6,4	3,07	14,8	60,0	2,7
Valporquero	Suelo pardo rojizo	A	6,5	8,01	14,6	45,0	—
Calizas		B ₁	6,4	2,52	10,4	68,0	—
Ladera 3 %		B ₂	6,4	1,95	8,8	76,0	—
		B/C ₁	7,1	0,33	5,4	16,0	—

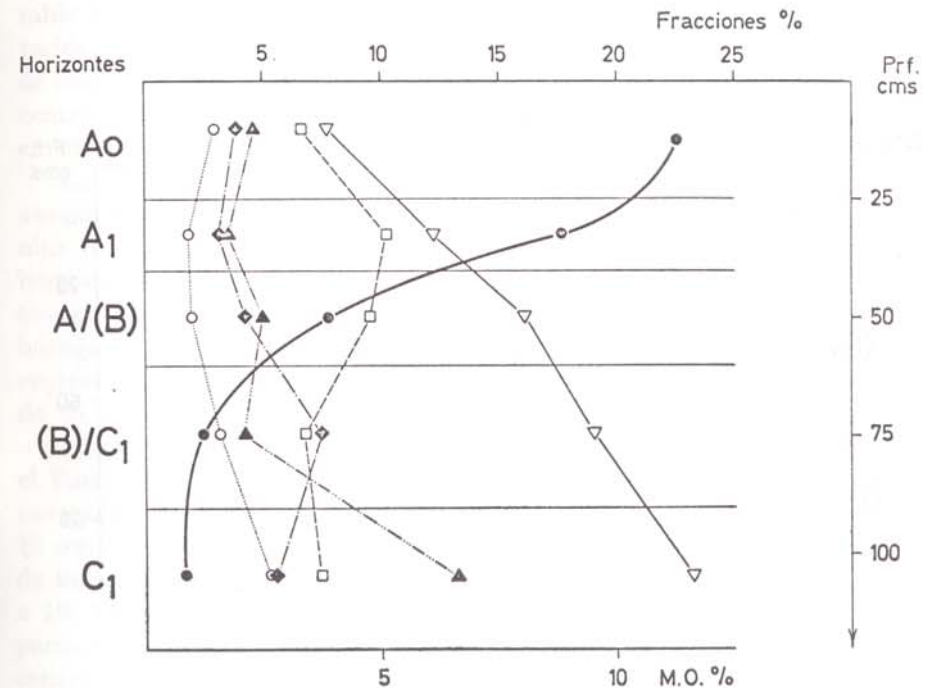
Situación	Tipo de suelo	Horiz.	pH ClK	M.O.	C/N	Arcilla	Carbo- natos	Sales
La Orbada Valle	Suelo arcilloso oscuro	A	7,2	6,62	9,9	45,5	5,8	0,11
		B	8,0	2,65	9,0	53,0	5,8	0,12
Aluviocoluvial								
Pedraza Alba Valle 2 % Arenisca	Vega alóctona gleyzada	A	7,4	5,45	11,6	19,5	4,2	—
		B _g	6,9	0,93	10,0	12,4	—	—
		HC _{1g}	6,9	0,40	8,5	16,0	—	—
		HC	7,1	0,17	4,5	11,3	1,0	—
El Oso Llano Mioceno	Suelo salino	A	6,4	5,07	12,5	18,0	—	0,11
		B _{1sa}	8,0	1,17	9,3	31,8	3,2	0,65
		B _{2sa}	8,6	0,40	7,4	25,0	4,6	0,55
Palacio Campos Llano Aluvial	Vega caliza salina	A	7,0	8,72	12,8	39,7	22,0	0,11
		B ₁	7,1	1,55	7,0	45,6	18,0	0,15
		B _{2sa}	6,9	1,43	8,3	38,0	14,0	1,03
		C ₁	7,0	0,53	5,5	—	37,4	0,25
El Solobral Depresión Cuaternario	Solonchack-solonetz	A _e	5,4	3,98	13,0	10,4	—	0,05
		B ₁₁	6,7	2,29	11,0	32,0	0,5	0,34
		B _{1c₁sa}	8,0	0,69	7,4	30,0	5,6	0,91
		B _{1a₂sa}	8,4	0,33	5,5	29,5	15,0	1,03
		C _{asa}	8,5	0,22	4,4	16,0	15,0	0,61
Fontiveros Depresión Cuaternario	Solonchack	A	6,7	8,10	11,6	38,0	9,3	0,15
		A _{eG}	6,8	1,53	9,0	29,5	9,3	0,10
		B	6,6	3,22	9,3	50,4	2,6	0,28
		B/C _{asa}	6,9	1,08	7,9	32,5	6,0	0,41
		C _a	7,0	0,36	9,5	—	58,0	0,32
Media Campo Vaguada Cuaternario	Solonchack-solonetz	A	6,1	1,43	10,6	7,7	—	0,04
		A _e	7,1	0,33	5,4	17,5	—	0,19
		B _{sa}	8,8	0,33	5,4	33,3	4,7	0,60
		B/C _{asa}	8,9	0,17	3,3	11,6	12,0	0,88
Pajares Laguna Vaguada Coluvial	Solonetz	A	4,2	2,96	12,7	8,7	—	0,03
		A _e	7,3	0,57	8,2	14,0	—	0,21
		A _e /B	8,0	0,36	7,5	14,5	t	0,38
		B _{11sa}	9,1	0,36	5,3	12,6	0,7	0,60
		B _{1a₂sa}	8,9	0,29	3,7	42,0	t	0,79
		B _{1b₂sa}	8,9	0,43	6,4	53,4	4,2	0,74

DISCUSIÓN

A continuación se ofrece la interpretación de los cuatro perfiles citados anteriormente.

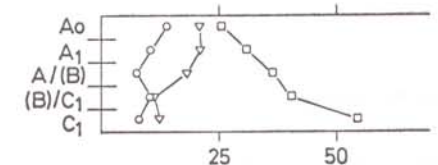
El Ranker pardo, situado en la Sierra del Piornal, con matorral de *Cytisus* sp., gramíneas y helechos, se ha desarrollado sobre granitos (gráf. 1).

G·1: Ranker pardo



CLAVE

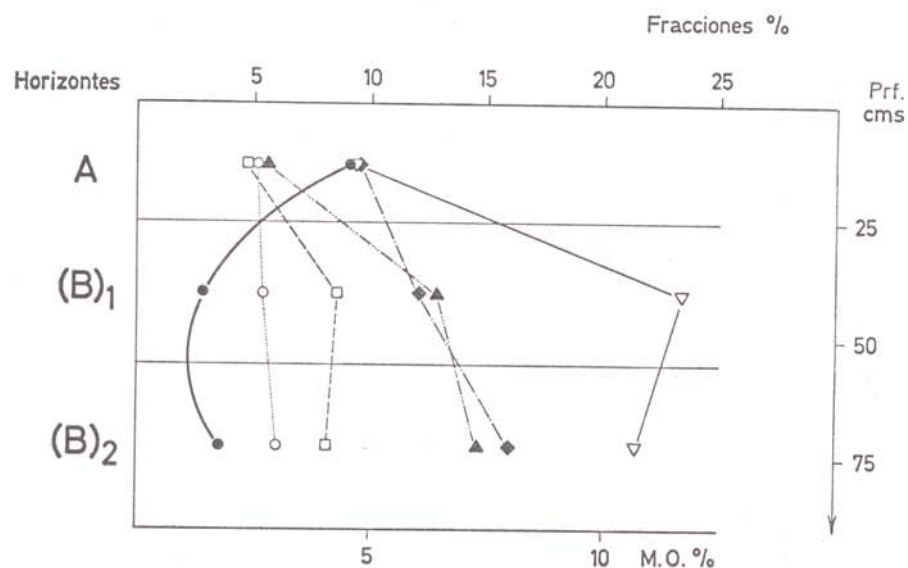
- Ac. Himatomelánicos
- ▽ Ac. Fúlvicos
- Ac. Humínicos Libres
- ▲ Ac. Humínicos Ligados
- ◆ Humina Extraíble
- Materia Orgánica Total



- Arcilla %
- ▽ Razón C/N
- Nivel Extracción %

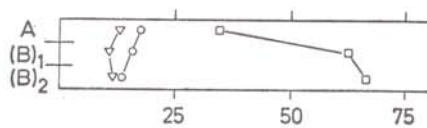
Presenta una brusca disminución del contenido de materia orgánica con la profundidad, y una razón C/N superior a 20 en los horizontes superficiales (el tipo de humus se ha catalogado como moder). Los ácidos fúlvicos son abundantes y ofrecen una fuerte emigración; la fracción himatomelánica, aunque escasa, también sufre algún lavado. Los ácidos humínicos libres, aunque tienen un pequeño incremento al pasar de un

G·12 : Vega parda



CLAVE

- Ac. Himatomelánicos
- ▽ Ac. Fúlvicos
- Ac. Humínicos Libres
- ▲ Ac. Humínicos Ligados
- ◆ Humina Extraíble
- Materia Orgánica Total



GRÁFICA 2

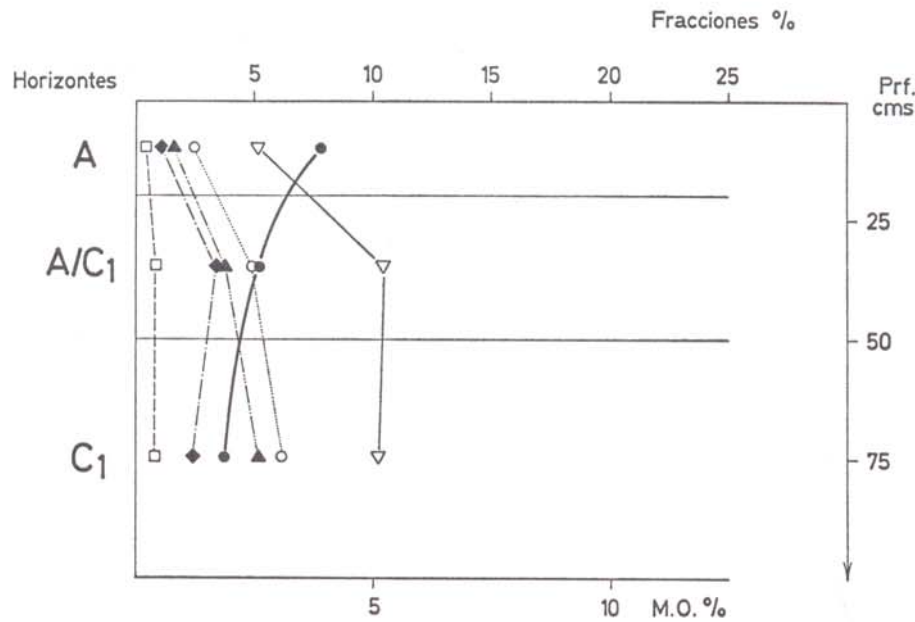
horizonte orgánico a otro, decrecen con la profundidad, seguramente por reconversión a otras formas más evolucionadas. Por el contrario, las fracciones humínicas ligadas y huminas (las cuales, como ya se ha señalado, no se diferencian entre sí nada más que en la diferente fuerza de unión a la parte mineral del suelo), aumentan su participación con la profundidad; es excepción el horizonte C₁ donde suceden fenómenos de óxido reducción (a causa de las altas precipitaciones de la zona y la impermeabilidad de la roca subyacente), con el consiguiente paso de hierro trivalente a la forma divalente. Debido a que el Fe III es, en mayor proporción, el responsable de las uniones arcillo-húmicas, aquel fenómeno conduce a la debilitación de las fuerzas de estos enlaces, lo que implica una más fácil liberación de fracciones: esto trae consigo el fuerte incremento observado en el porcentaje de ácidos humínicos ligados en el horizonte inferior del perfil, en detrimento de la fracción humina extraíble.

Las tierras pardas ofrecen un perfil de materia orgánica análogo: abundancia de fracciones fúlvicas y fuerte descenso de la materia orgánica total con la profundidad, menos acusado en el caso de vegetación herbácea. La razón C/N más baja en estos últimos suelos y los de cubierta forestal de fagáceas, refleja una humificación relativamente favorable, con humus pertenecientes a variedades de mull. Por el contrario, cuando la vegetación está constituida por coníferas, aquella relación supera el valor de 20, con humus de tipo moder en superficie.

La gráfica 2 ofrece el fraccionamiento de una Vega parda, ubicada en el Puerto de Perales (Cáceres), con vegetación constituida principalmente por gramíneas y leguminosas, y matorral abierto de labiadas y cistáceas. El contenido en materia orgánica es más elevado en profundidad, reflejo de los sistemas radiculares de la flora herbácea, y la razón C/N se acerca a 10. Las extracciones, sin embargo, son altas, ya que por la topografía particular del perfil (vaguada) y las altas precipitaciones de la zona, contribuyen a la continua humedad, e incluso hidromorfismo estacional de estos suelos. Por ello, tanto las condensaciones húmicas como su unión a las arcillas se encuentran dificultadas y las extracciones resultan fáciles. El origen de las sustancias más polimerizadas puede ser, por tanto, más bien biológico que químico. El hidromorfismo antes aludido, puede contribuir a la dificultad de emigración de las fracciones más lábiles, por otra parte abundantes.

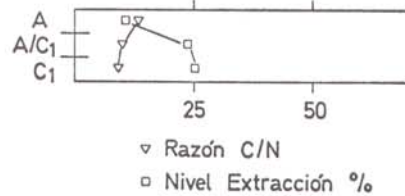
La vegetación de la Xerorrencia (gráf. 3) de Villagimena (Palencia), está constituida por bosque abierto de *Quercus lusitanica*, gramíneas y labiadas. El perfil de materia orgánica es casi vertical; dentro del fraccionamiento predominan los ácidos fúlvicos, los cuales sufren pronta reconversión en el descenso; las demás fracciones son de escasa importancia,

G· 21 : Xerorendsina



CLAVE

- Ac. Himatomelánicos
- ▽ Ac. Fúlvicos
- Ac. Humínicos Libres
- ▲ Ac. Humínicos Ligados
- ◆ Humina Extraíble
- Materia Orgánica Total



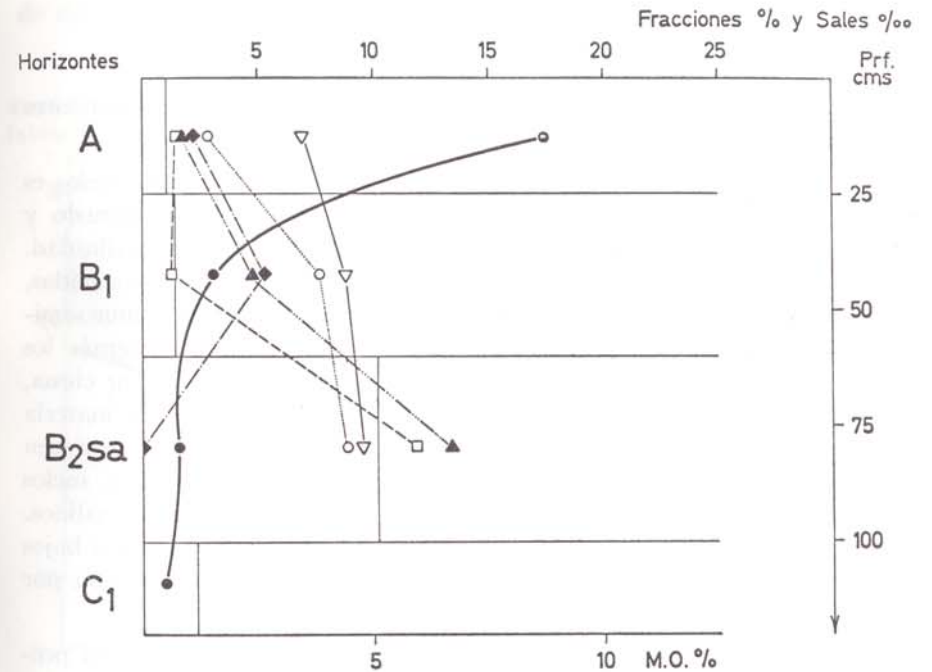
GRÁFICA 3

con valores máximos para los ácidos humínicos libres. Las débiles extracciones de estos suelos se explica teniendo en cuenta que se dan las condiciones óptimas para la evolución húmica: disponibilidad de Ca, alto contenido en arcilla y climatología caracterizada por fuertes contrastes climáticos. Ello hace que ante las fuertes uniones arcillo-húmicas estable-

cidas, los extractantes utilizados se muestren ineficaces, máxime tras el desecamiento estival.

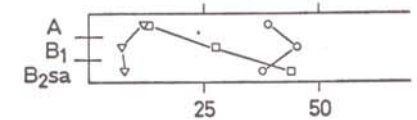
Por último, se da el resultado del fraccionamiento de una Vega caliza salina tomada en Tierra de Campos (Valladolid), con vegetación de gramíneas, leguminosas y compuestas (gráf. 4). Se observa una brusca disminución de la materia orgánica con la profundidad, debido al efecto negativo

G· 22 : Vega caliza salina



CLAVE

- Ac. Himatomelánicos
- ▽ Ac. Fúlvicos
- Ac. Humínicos Libres
- ▲ Ac. Humínicos Ligados
- ◆ Humina Extraíble
- Materia Orgánica Total



GRÁFICA 4

de las sales sobre la estructura del suelo y el desarrollo vegetal. La humificación a pesar de ello, progresa favorablemente, con humus de tipo mull, reflejo de las especies colonizantes; el fraccionamiento, aunque análogo al suelo anterior en el horizonte superficial, ofrece fuertes extracciones en los profundos, superándose el valor de 40 % en el horizonte salino. Esto es debido, sin duda, al influjo del catión Na I, que a pesar de la presencia del Ca II, libera las fracciones orgánicas de los complejos arcillohúmicos (ausencia de humina extraíble).

CONCLUSIONES

A partir de los datos expuestos en la Tabla I, se deducen las siguientes conclusiones:

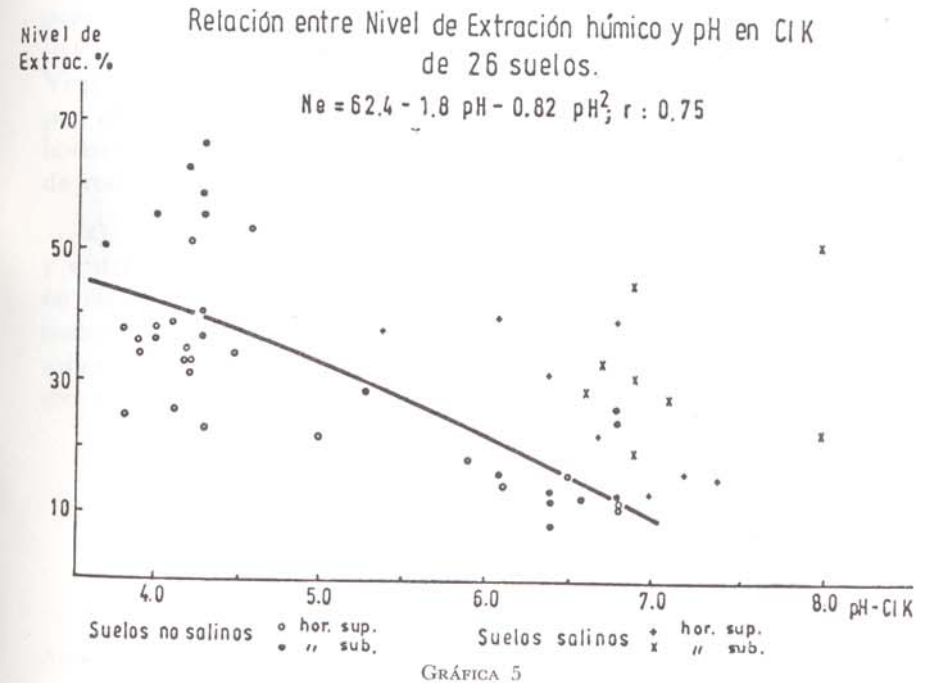
i) La riqueza superficial de materia orgánica total de estos suelos es máxima para los suelos desarrollados sobre calizas en clima húmedo y mínima para los suelos con dedicación a prados y afectados por salinidad. También ofrecen valores altos tanto los suelos forestales sobre rocas ácidas, como los suelos desarrollados sobre rocas básicas o calizas en clima semiárido. En los horizontes subsuperficiales destacan sobre los demás los suelos desarrollados sobre rocas calizas, independientemente de su clima, por sus relativos altos valores. Si nos referimos al contenido de materia orgánica total para los 80 cms superiores del suelo, los valores decrecen al seguir la secuencia: suelos sobre calizas, suelos forestales ácidos, suelos con dedicación a prado sobre material ácido y, por último, suelos salinos. Es indudable que los suelos con tapiz herbáceo, ofrecen valores más bajos de los que cabría esperar a causa de su mayor o menor explotación por parte del hombre y de los animales.

ii) La razón C/N, índice de la intensidad de humificación, es próxima a 10 en todos los suelos con cubierta herbácea, tanto más cuanto mayor presencia tengan las leguminosas. Esta relación es más alta en los suelos forestales, ya que se engloban en aquellos tanto los de coníferas (con humus de tipo moder) como los de fagáceas (con humus pertenecientes a variedades de mull).

iii) En cuanto al fraccionamiento es de destacar la abundancia de los ácidos fúlvicos en los suelos desarrollados sobre rocas ácidas. La emigración se hace patente y solamente se ve dificultada en los suelos hidromorfos. En los suelos calizos estas fracciones se transforman pronto en otras más evolucionadas.

iv) Los ácidos humínicos siguen una distribución paralela a los an-

teriores, como se observa en la relación Cf/Ch, alrededor de la unidad en todos los grupos, (Esto nos habla de la poca significación de este cociente para estos suelos). Ello es fácilmente explicable ya que en los suelos desarrollados sobre rocas ácidas y con abundancia de ácidos fúlvicos, las uniones arcillohúmicas se establecen a través de los cationes Fe III (y Al III), por lo que las extracciones húmicas son altas. Por el contrario, en los suelos calizos, es el Ca II el responsable de dichas uniones, por lo que junto a la escasez de fracciones fúlvicas, los extractantes utilizados se muestran poco menos que ineficaces, obteniéndose débiles porciones de ácidos humínicos.

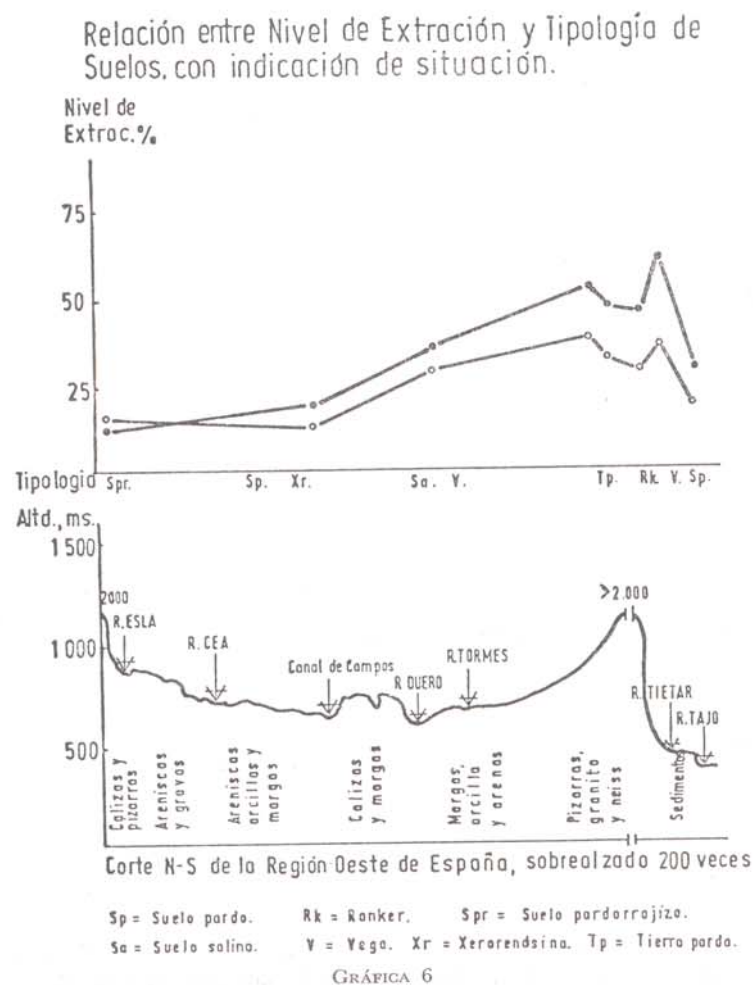


v) Por ello, más significativa que aquella relación es el cociente CHlg/CHlb, ya que su valor disminuye según la secuencia: suelos sobre calizas en clima húmedo, suelos sobre calizas en clima semiárido, suelos con cubierta herbácea sobre distintas formaciones geológicas y, por último, suelos forestales sobre material ácido. (Se observa pues, una tendencia inversa a la de la razón C/N). Esta relación aumenta con la profundidad.

vi) La humina extraíble, como parte hidrolizable del complejo arcillohúmico, sigue la misma tendencia que las fracciones humínicas.

vii) El nivel de extracción ofrece valores desde bajos a moderadamente altos (11,0 a 66,3 %). Contrastándolo con los obtenidos por autores franceses con técnicas y suelos análogos, se observan que son algo más bajos, quizás por la influencia más acusada de los contrastes climáticos en los suelos de la Región estudiada.

viii) El nivel de extracción tiene una correspondencia inversa con la calidad húmica. Así, si representamos en un gráfico (gráf. 5) el pH en CIK de las muestras de suelo frente al nivel de extracción, se observa una correlación alta (r superior a 0,7). Es sabido que el pH refleja el estado de saturación del complejo de cambio del suelo, por lo que se puede



GRÁFICA 6

establecer que al aumentar el porcentaje de Ca II en el complejo, disminuye la extracción de materia humificada. Se han excluido del cálculo los suelos salinos, ya que aquí interviene otro factor: la acción dispersante del catión Na I. Es de observar también la desviación de los valores de los horizontes superficiales de los profundos, respectivamente, por debajo y por encima de la curva ajustada, consecuencia de la emigración de fracciones. Estos hechos estarían en consonancia con la opinión de los autores ingleses que atribuyen a los factores fisicoquímicos del suelo un fuerte papel en los fenómenos de humificación.

ix) Se puede establecer también una relación entre nivel de extracción y tipología de suelos (gráf. 6). Así, en los suelos pardo-rojizos, suelos pardos y rendsinas se obtienen extracciones cuyos valores no alcanzan (o superan en poco) el 25 % de la materia orgánica total; en suelos salinos, Vega caliza, tierras pardas y Ranker los valores oscilan entre el 25 y 55%; por último, sólo se consiguen valores superiores a la última cifra, en los horizontes subsuperficiales de los suelos de Vega o Gley sobre sedimentos de rocas ácidas.

x) Los factores que inciden con mayor intensidad en la acumulación y distribución de la materia orgánica del suelo son: clima y vegetación en las tierras pardas sobre rocas ácidas; vegetación y edafoclima en los suelos hidromorfos y roca original y biología en los suelos desarrollados sobre margas o calizas. Por último, se puede establecer que tales factores son relativamente favorables para la Región objeto de estudio.

BIBLIOGRAFIA

- ALEKSANDROVA, L. N. (1967): *Organo-mineral humic acid derivatives and methods of studying them*. Soviet Soil Sci., 903.
- ANTIPOV-KARATEV, I. N.; TSYURUPA, I. G. (1961): *Forms and conditions of migration of organic matter in soil profile*. Ibid., 815.
- ATTAR, B.; DELECOUR, F. (1964): *Contribution à l'étude du dosage du Carbone par voie humide*. Pédologie, 14, 140.
- CARBALLAS, T.; GUITIAN, F. (1967): *Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo con pirofosfato-sulfato sódico*. An. Edaf. Agrobiol., 26, 1143.
- CARPENA, O. (1969): *Estado actual de la química de las sustancias húmicas*. Publicaciones Universidad de Murcia. Murcia.
- BABIN, B.; THOMANN, C. (1970): *Étude comparative de deux méthodes de fractionnement des composés humiques*. O.R.S.T.O.M. Paris.

- DUCHAUFOR, Ph. (1962): *El papel de la vegetación en la evolución de los suelos: I*. An. Edaf. Agrobiol., 21, 331.
- (1963): *II: Las relaciones suelo-vegetación*. Ibid., 22, 45.
- (1963): *III: La evolución de los suelos*. Ibid., 22, 147.
- (1968): *L'évolution des sols*. 1^e éd., Masson et Cie. Paris.
- (1970): *Précis de Pédologie*. 3^e éd., Masson et Cie. Paris.
- DUCHAUFOR, P.; JACQUIN, F. (1963): *Recherches d'une méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques contrôlée par l'électrophorèse*. Ann. Agron., 14, 885.
- (1966): *Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques*. Bull. ENSAN, 8, 3.
- FELBECK, G. T. Jr. (1965): *Structural chemistry of soil humic substances*. Adv. Agron., 17, 327.
- (1971): *Structural hypotheses of soil humic acids*. Soil Scien., 111, 42.
- KONONOVA, M. M. (1966): *Soil organic matter*. 2nd edn. Pergamon Press. Oxford.
- MÉNDEZ, J.; LOJO, M. I. (1972): *Humus*. Publicaciones Universidad de Salamanca. Salamanca.
- RUSSELL, E. J.; RUSSELL, E. W. (1968): *Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas*. 9.^a ed. ing., Aguilar. Madrid.
- SCHEFFER, F.; ULRICH, B. (1960): *Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde; III Teil: Humus und Humusdungung*. Band I. F. Enke Verlag. Stuttgart.
- SCHNITZER, M.; DESJARDINS, J. G. (1962): *Molecular and equivalent weights of the organic matter of a podzol*. Soil Scien. Soc. Am. Procc., 26, 362.
- SEN, B. C. (1964): *The effect of different constituents of soil humic acids in the formation of clay-humus complexes*. J. Indian Chem. Soc., 41, 145.
- SWABY, R. J.; LADD, J. N. (1963): *Stability and origin of soil humus*. Repport FAO/IAEA Techn. Meet., 153.
- THOMANN, Ch. (1963): *Quelques observations sur l'extraction de l'humus dans le sols: méthode au pyrophosphate de sodium*. Cahiers de l'ORSTOM Pédologie, 3, 43.