

ESTUDIO ECOLOGICO Y BIOQUIMICO DE LA HUMIFICACION EN BOSQUES DE *QUERCUS* *ROTUNDIFOLIA* EN MEDIO CARBONATADO Y DESATURADO

M. R. RODRÍGUEZ¹ y F. VELASCO¹

RESUMEN

En diversos suelos «análogos» de *Quercus rotundifolia* Lam. desarrollados sobre calizas, margas yesíferas y arcosas se comprobó que, si bien la vegetación induce la convergencia del humus (*mull*), se pueden apreciar rasgos diferenciales en algunos caracteres que determinan la formación de humus integrados.

La descarbonatación y posterior aplicación de ultrasonidos en los suelos desarrollados sobre margas yesíferas permitió extraer la humina heredada «fuertemente secuestrada», comprobando la relativa importancia que desempeñan los procesos de humificación por vía directa a partir de la lignina en estos subsistemas.

Por cromatografía de filtración sobre gel se demostró que la fracción de ácidos húmicos con tamaño molecular >10.000 es minoritaria y la proporción de ácidos húmicos con tamaño molecular >100.000 varía de 7,1 a 14,3%.

INTRODUCCION

El criterio de zonalidad de los suelos de la Escuela Rusa, atribuyendo a los factores bioclimáticos generales la orientación de la edafogénesis, fue matizado por PALLMANN (1947) en su aplicación a países o áreas geográficas donde confluyen débiles variaciones del clima general y una gran complejidad de climas locales.

Se limita así la influencia de la vegetación climática (que a través del ciclo biogeoquímico modifica, según los autores rusos en las vastas extensiones de la URSS, las propiedades químicas del material geológico originario, homogeneizando las características del perfil edáfico) a conseguir a largo plazo la evolución convergente de los humus sobre materiales geológicos muy diversos.

El término «suelos análogos», de PALLMANN (1947), se refiere precisamente a los suelos clímax desarrollados bajo la misma asociación vegetal (con especies diferenciales) y substratos geológicos de composición geoquímica

diferente, que muestran homogeneización o similitud de las propiedades de los horizontes superficiales, desembocando en la formación del mismo tipo de humus.

La aplicación en este trabajo de los avances conseguidos en los últimos años en el fraccionamiento y caracterización del humus contribuirá al esclarecimiento de los procesos de humificación en bosques climáticos de *Q. rotundifolia* de la provincia de Madrid desarrollados en medio carbonatado y desaturado, permitiendo, además, comprobar si son extrapolables al área de estudio elegida las ideas de PALLMANN acerca de los suelos análogos.

Los suelos elegidos son representativos de series de vegetación (RIVAS MARTÍNEZ, 1982).

MATERIAL Y METODOS

Descripción de las muestras

PERFIL 1: Suelo pardo cálcico (Calcic cambisol, FAO) (Foto 1).

Situación: Nuevo Baztán. *Topografía:* Altitud (850 msm). *Inclinación:* Llano. *Material origi-*

¹ Instituto de Edafología y Biología Vegetal (CSIC), Madrid.



Foto 1. Reconstrucción en detalle del Perfil 1: suelo pardo cálcico (Calcic cambisol, FAO) con formación de humus mull.

nario: Calizas duras de páramo. *Vegetación*: Bosque de *Q. rotundifolia* enmarcado dentro del piso mesomediterráneo en la serie castellano-aragonesa basífila de la encina (*Bupleuro-rigidi-Quercetum rotundifoliae* S) de ombroclima seco (400-550 mm y temperatura media de 12,5-14,5° C). Faciación manchega.

Perfil-morfología:

Hor. A₀₀: 0-2,0 cm.

Hor. A₀: 2,0-3,0 cm.

Hor. A₁: 3,0-6,0 cm. 5 YR 2,5/2 (húmedo), 5 YR 3/2 (seco), estructura migajosa, raíces medias abundantes, límite neto, plano.

Hor. (B): 6,0-46,0 cm. 5 YR 3/3 (húmedo), 5 YR 4/4 (seco), clase textural franca, estructura en bloques subangulares, consistencia friable en húmedo, límite brusco, plano.

Hor. R: +46,0 cm.

PERFIL 2: Suelo pardo cálcico (Calcic cambisol, FAO).

Situación: Fuentidueña del Tajo. *Topografía*: Altitud (660 msm). Inclinación (3%). Orientación (E, SE). *Material originario*: Margas yesíferas. *Vegetación*: Bosque clímax residual de *Q. rotundifolia*.

Perfil-morfología:

Hor. A₀₀: 0-2,0 cm.

Hor. A₀: 2,0-6,0 cm.

Hor. A₁: 6,0-13,0 cm. 10 YR 2/2 (húmedo), 10 YR 3/2 (seco). Estructura migajosa débil, pocas raíces medias, límite neto, ondulado.

Hor. (B): 13,0-33,0 cm. 10 YR 3/2 (húmedo), 10 YR 5/2 (seco), franco-limosa. Estructura débil en bloques subangulares, abundantes raíces medias, pocas raíces gruesas, límite neto, ondulado.

Hor. C: +33,0 cm.

PERFIL 3: Suelo pardo lavado (Orthic luvisol, FAO).

Situación: Carretera de Villamanta a Villamantilla. *Topografía*: Altitud (630 msm). Inclinación (8%). Orientación (E). *Material originario*: Sedimentos arcósicos. *Vegetación*: Bosque adhesado de *Q. rotundifolia* correspondiente a la serie mesomediterránea guadarrámico-ibérica silicícola de la encina (*Junipero oxycedri-Quercetum rotundifoliae* S) sobre sustratos detríticos.

Perfil-morfología:

Hor. A₀₀: 0-1,0 cm.

Hor. A₀: Casi imperceptible.

Hor. A₁: 1,0-5,0 cm. 10 YR 3/2 (húmedo). 10 YR 4/2 (seco). Franco arenosa, estructura migajosa, raíces medias abundantes, límite gradual ondulado.

Hor. B₁: 5,0-29,0 cm. 10 YR 4/2 (húmedo). 10 YR 4/3 (seco), franco-arcillo-arenosa, estructura en bloques subangulares, friable en húmedo, raíces medias abundantes, límite gradual ondulado.

Hor. C: + 29,0 cm.

Observaciones: Probablemente la roturación a que fue sometido alguna vez mezcló el horizonte A₁ y el horizonte eluvial A₀, no pudiendo diferenciarse morfológicamente en el perfil abierto el horizonte de lavado.

Métodos

Para la determinación del pH se prepararon previamente suspensiones diluciones de suelo en pasta saturada con agua destilada y con CIK 0,1 N.

En la determinación del carbono orgánico se aplicó el método de ANNE (1945): oxidación por vía húmeda en medio sulfocrómico y valoración del exceso de dicromato con sal de Mohr; para la cuantificación del Nitrógeno total se realizó previamente el ataque de la materia orgánica de las muestras con SO₄H₂ en matraz Kjeldahl, valorando posteriormente el ion amonio por colorimetría con el autoanalizador TECHNICON.

Para la capacidad de cambio se aplicó el método de MEHLICH (1948), utilizando como solución reemplazante una mezcla de trietanolamina-cloruro bórico ajustada a pH 8,1 con CIH; posteriormente se valoraron los cationes de cambio por espectrofotometría previa precipitación del percolado con SO₄H₂ 0,6 N y filtrado.

En la determinación de los carbonatos se utilizó el calcímetro de BERNARD; para la caliza

activa se siguió el método de DROUINEAU o el de GEHU-FRANZ de acuerdo con DUCHAUFOUR (1970), en función, respectivamente, del bajo o elevado contenido en humus de las muestras de suelo.

Para el fraccionamiento de la materia orgánica se separó, en primer lugar, la fracción libre o ligera de la fracción ligada o pesada, mediante una mezcla de bromoformo-etanol de densidad 1,8 (MONNIER, *et al.*, 1962); el residuo se sometió a la acción del ultrasonido para separar las partículas de *humina heredada*. La aplicación posterior de los reactivos alcalinos extrae las fracciones solubles, ácidos fúlvicos y ácidos húmicos. Sobre el residuo insoluble, y de acuerdo con las indicaciones de MERLET (1971), se realizó la extracción y valoración de la *humina* de insolubilización extraíble.

En medio carbonatado se procedió a la extracción de la *humina heredada* «fuertemente secuestrada», de acuerdo con CHOULIARAS, *et al.* (1975), previa descarbonatación con C1H 2 N hasta pH 4 del residuo de cantrífuga.

La filtración a través de gel se llevó a cabo con Sephadex G-50 y G-100 en columnas «PHARMACIA», utilizando como eluyente agua destilada con flujo de 1,5 ml/min., aplicando una cantidad de muestra equivalente a 1,5 mg de C y registrando las correspondientes curvas densitométricas a 450 nm con un espectrofotómetro ZEISS PMQ II provisto de cubeta de flujo continuo y registrador KIPP-ZONEN BD 8.

Para la espectroscopia visible de los ácidos húmicos se optó por el método de KONNOVA *et al.* (1960).

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

La observación comparativa de los resultados analíticos expresados en la Tabla I, relativos tanto al pH como a la distribución de los cationes de cambio en el complejo adsorbente, permite comprobar (dentro del ciclo biogeoquímico de algunos elementos biógenos) en el suelo pardo lavado (Perfil 3) desarrollado sobre arcosas el efecto inducido por la vegetación que se manifiesta en la acumulación en superficie de Ca⁺⁺ y K⁺ de cambio.

TABLA I

Perfil	Hor.	Vegetación	pH		Complejo de cambio (meq/100 g de suelo)							% caliza activa		
			H ₂ O	ClK	H ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T		V	CO ² Ca
1	A ₀	<i>Q. rotundifolia</i>	7,30	6,90	7,77	44	3,78	0,77	0,35	48,90	56,67	86,29	5,18	0,96
1	A ₁	»	7,50	6,80	6,66	12	0,99	0,25	0,26	13,50	20,16	66,96	2,77	0,12
2	A ₀	»	7,35	7,00	9,25	48	3,37	0,77	0,26	52,40	61,56	84,99	10,98	1,70
2	A ₁	»	7,35	7,00	7,03	54	0,82	0,51	0,17	55,50	62,53	88,76	41,32	1,71
3	A ₁	»	5,00	4,60	12,92	7	4,35	1,02	0,35	12,72	25,74	49,61	—	—
3	B _t	»	4,30	3,50	17,93	5	4,28	0,51	0,35	10,14	28,07	36,12	—	—

S: Suma de bases de cambio. T: Capacidad total de cambio. V: Grado de saturación.

TABLA II
FRACCIONAMIENTO DE LA MATERIA ORGANICA (muestras de *Q. rotundifolia*)

Perfil	Horizonte	%C	%N	C/N	M. O. libre	M. O. ligada	AF	AH	AF + AH	H ₁	H ₂	H ₃	H ₃ '	H _t
1	A ₀	17,12	0,76	22,53	14,74 (86,10)	2,38 (13,90)	0,64 (3,74)	0,55 (3,21)	1,19 (6,95)	0,24 (0,23)	0,71 (11,95)	0,44 (2,57)		1,19 (14,75)
1	A ₁	1,64	0,14	11,71	0,29 (17,68)	1,35 (82,32)	0,58 (35,36)	0,23 (14,02)	0,81 (49,39)	0,12 (7,32)	0,40 (24,39)	0,02 (1,22)		0,54 (32,93)
2	A ₀	31,25	1,09	28,67	29,56 (94,59)	1,69 (5,41)	0,30 (0,96)	0,25 (0,80)	0,55 (1,76)	0,02 (0,06)	0,28 (0,90)	0,15 (0,48)	0,69 (2,21)	1,14 (3,65)
2	A ₁	5,64	0,41	13,76	2,18 (38,65)	3,46 (61,35)	0,67 (11,88)	0,57 (10,11)	1,24 (21,98)	0,09 (1,59)	1,56 (27,66)	0,29 (5,14)	0,28 (4,96)	2,22 (39,36)
3	A ₁	3,60	0,29	12,41	2,30 (63,89)	1,30 (36,11)	0,38 (10,55)	0,23 (6,39)	0,61 (16,94)	0,19 (5,28)	0,27 (7,50)	0,23 (6,39)		0,69 (19,17)
3	B _t	2,12	0,16	13,25	0,58 (27,36)	1,54 (72,64)	0,43 (20,58)	0,36 (16,98)	0,79 (37,26)	0,18 (8,49)	0,41 (19,34)	0,16 (7,55)		0,75 (35,38)

Porcentajes referidos en g de carbono en 100 g de suelo. Entre paréntesis: %C respecto al C orgánico del suelo. AF: ácidos fúlvicos. AH: ácidos húmicos. H₁: humina de insolubilización extraíble. H₂: humina de insolubilización no extraíble. H₃: humina heredada débilmente sustrada. H₃': humina fuertemente secuestrada. H_t: humina total.

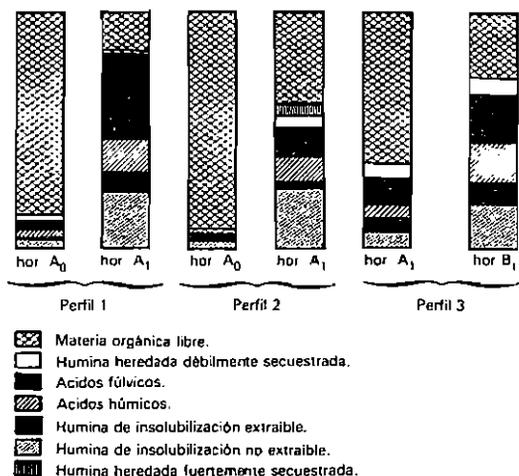


Fig. 1. Porcentaje de carbono de las distintas fracciones respecto al carbono orgánico de los suelos ($C_1 = 100$).

Si el horizonte textural (B₁) del Perfil 3 es fuertemente ácido (de acuerdo con el pH medido en C1K), en el horizonte A₁ la acidez ha disminuido, pasando a la consideración de ácido. Sobre sustrato calizo se aprecia el efecto de «dilución» de la vegetación (DUCHAUFOUR, 1962) para el calcio de cambio en el Perfil 2.

La observación de los datos analíticos expuestos en la Tabla II y de los diagramas rectangulares (Fig. 1) relativos a la distribución de la materia orgánica en vías de humificación y de la materia orgánica humificada, así como a los porcentajes de las distintas fracciones húmicas, permite comprobar, en primer lugar, la intensa descomposición de la materia orgánica fresca con la profundidad.

Si en los horizontes superficiales es considerablemente mayor la proporción de materia orgánica libre o ligera (con estructura más o menos organizada) que la proporción de materia orgánica pesada o ligada (humificada) se invierte, en general, esta relación a pocos centímetros de profundidad cuando se delimita ya morfológicamente el horizonte A, en los suelos «análogos» de *Q. rotundifolia* sobre calizas o margas yesíferas, o el horizonte B textural en el suelo pardo lavado sobre arcosas.

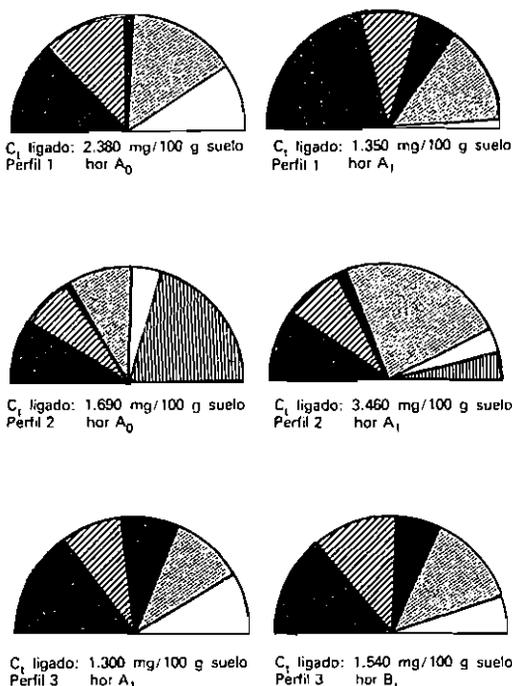


Fig. 2. Porcentaje de carbono de las distintas fracciones respecto al carbono de la fracción ligada.

El grado de humificación aumenta con la profundidad en el sentido:

Humus del encinar sobre margas yesífera < humus del encinar sobre arcosas < humus del encinar sobre calizas.

Así como se intensifica con la profundidad la transformación de los restos orgánicos por vía indirecta, la vía directa de humificación (minoritaria respecto a la neoformación biofísico-química de compuestos húmicos) a partir de la lignina, disminuye su participación en la transformación de los restos orgánicos frescos; no obstante, la descarbonatación con C1H ha permitido corregir la cifra inicial de humina heredada (materia orgánica «débilmente secuestrada») (Tabla III y Fig. 2) en el suelo pardo cálcico sobre margas yesíferas (Perfil 2), aplicando la variante propuesta por CHOUILLARAS, *et al.* (1975), para poder extraer una cifra más real de humina residual. Se comprobó así, me-

TABLA III
 FRACCIONAMIENTO DE LA MATERIA ORGANICA
 Porcentajes de carbono respecto al carbono de la fracción ligada

Perfil	Hor.	Vegetación	AF	AH	H ₁	H ₂	H ₃	H' ₃	H ₃ + H' ₃	AF + H ₃ + H' ₃	AH + H ₁ + H ₂
1	A ₀	<i>Q. rotundifolia</i>	26,89	23,11	1,68	29,83	18,49			45,38	54,62
1	A ₁	»	42,96	17,04	8,89	29,63	1,48			44,44	55,56
2	A ₀	»	17,75	14,79	1,18	16,57	8,87	40,83	49,70	67,45	32,54
2	A ₁	»	19,36	16,47	2,60	45,09	8,38	8,09	16,47	35,83	64,16
3	A ₁	»	29,23	17,69	14,61	20,77	17,69			46,92	53,07
3	B _c	»	27,92	23,38	11,69	26,62	10,39			38,31	61,69

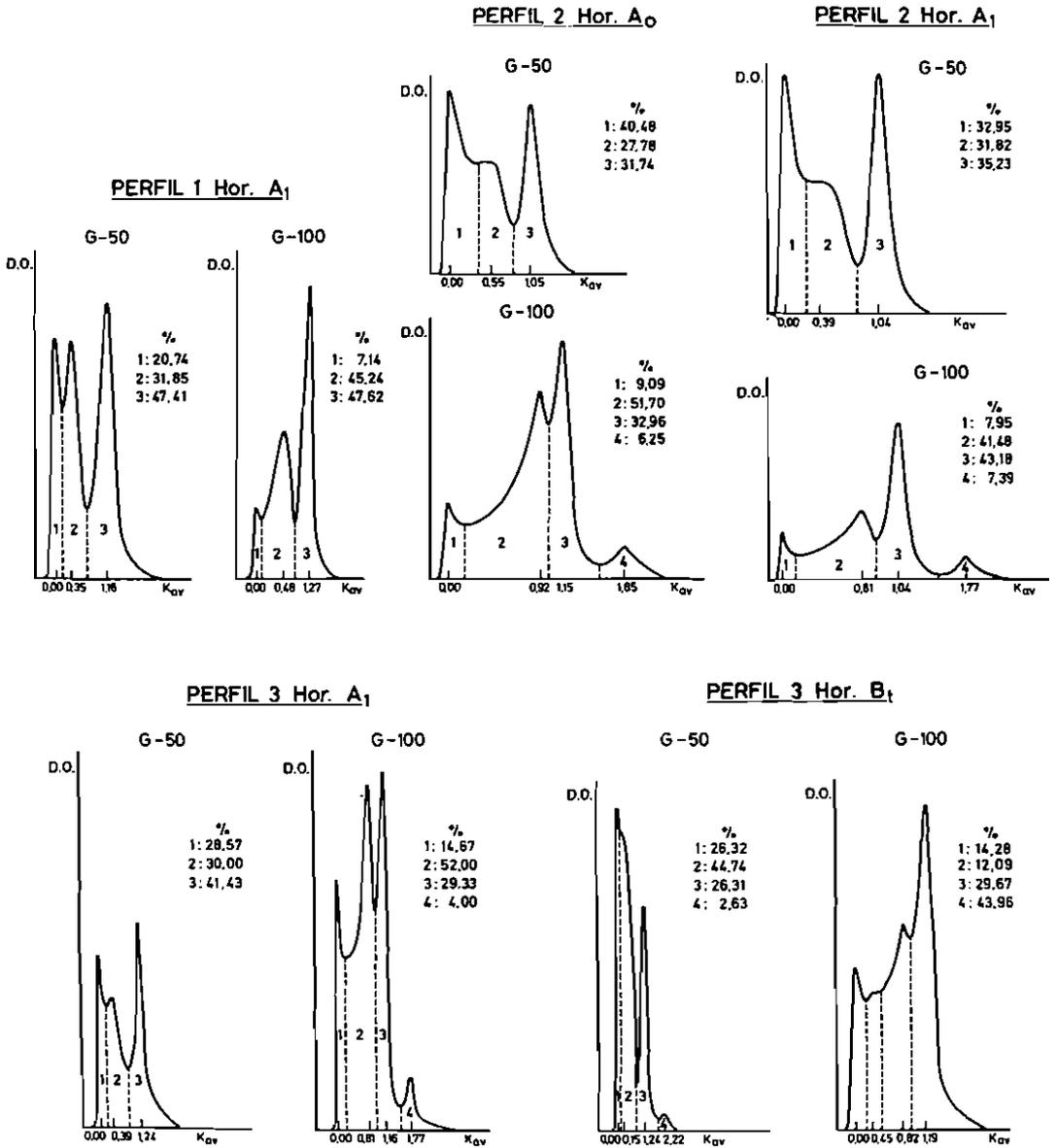


Fig. 3. Curvas de filtración a través de Sephadex G-50 y G-100 de los ácidos húmicos (porcentajes de las diferentes fracciones).

dante la evaluación de la materia orgánica «fuertemente secuestrada» (H₃), la relativa importancia que desempeñan los procesos de humificación por vía directa a partir de la lignina sin que medie una fase soluble, sobre todo en

los horizontes más superficiales en suelos con carbonato cálcico activo.

Si bien la proporción de compuestos húmicos extraíbles por los reactivos alcalinos (ácidos fúl-

vicos y ácidos húmicos) es menor que la proporción de humina total en superficie (Tabla II), se invierte esta relación en profundidad, a excepción del suelo pardo cálcico sobre margas yesíferas.

Los ácidos fúlvicos predominan sobre los ácidos húmicos, destacando la fuerte insolubilización por el carbonato cálcico de los ácidos fúlvicos en el suelo pardo cálcico (Perfil 1) (Tabla II).

Como es obvio, los últimos estadios de la síntesis de compuestos húmicos por neoformación biofísicoquímica se acentúan más en profundidad, pero en los tres perfiles es considerablemente dominante la proporción de humina de insolubilización no extraíble sobre la proporción de humina ligada al hierro y a la arcilla. No obstante, a pesar de alcanzar las razones $C \cdot H_2/C \cdot \text{total}$ (% de carbono correspondiente a la humina de insolubilización no extraíble respecto al carbono total, TOUTAIN, 1974) cifras relativamente altas (19-27%) en los tres suelos estudiados, no llegan a aproximarse a los valores propuestos por este autor para el mull ($C \cdot H_2/C \cdot \text{total} = 35$) en un ambiente biogeoclimático distinto.

Teniendo en cuenta con criterio sintético las cifras características de diversos parámetros relativos al pH, grado de saturación, actividad biológica global, fracciones húmicas, etcétera, se llega a la conclusión de que la evolución de la materia orgánica del suelo en los ecosistemas estudiados se ha llevado a cabo preferentemente por vía indirecta a partir de los precursores solubles, desembocando en la formación de humus *mull*, pero con ciertas matizaciones que permiten enmarcar o delimitar a nivel de subtipo y grado de evolución del humus las siguientes variantes:

El humus formado, tanto en los encinares sobre calizas duras como en los encinares sobre margas yesíferas, presenta caracteres algo más favorables de los que corresponden al *mull cálcico* (*mull carbonatado*), en base al bajo contenido en carbonato cálcico activo; al pH (8,1) de la solución extractante muestra una pequeña acidez de cambio. El grado de saturación enmarca al humus más bien como intermedio

o integrado entre el mull eutrófico y el mull saturado.

Los caracteres bioquímicos que se advierten como resultado del fraccionamiento y de la comparación entre la distribución de las fracciones «jóvenes» o poco evolucionadas (ácidos fúlvicos, huminas heredadas débil y fuertemente secuestradas) y las fracciones evolucionadas (ácidos húmicos, humina ligada al hierro y a la arcilla, humina insoluble) (Tabla III, Fig. 2) son indicativos de que si bien en el horizonte superficial (horizonte orgánico) la humificación directa a partir de la lignina comporta una alta proporción de humina heredada, los procesos de humificación en el horizonte A, se llevan a cabo preferentemente por neoformación biofísicoquímica, desembocando en el predominio de las fracciones húmicas evolucionadas sobre las fracciones «jóvenes», no alcanzando los valores de humina heredada las cifras indicativas para el *mull cálcico* propuestas por DUCHAUFOUR (1977).

El humus del suelo pardo lavado (Perfil 3) sobre arcosas (representativo de la serie silicícola de la encina sobre substratos detríticos, RIVAS MARTÍNEZ, 1982) presenta también una elevada actividad biológica global, pero en base al pH ácido y a la acción movilizador por las raíces de los cationes biógenos muestra tendencia a la mesotrofia (*mull forestal mesotrófico*). La proporción de fracciones húmicas evolucionadas es mayor también que la proporción de fracciones poco evolucionadas, si bien la razón $C \cdot H_2/C \cdot \text{total}$ no llega a la propuesta por TOUTAIN para el *mull ácido*.

El estudio comparativo de las curvas de filtración a través de Sephadex G-50 y G-100 (Fig. 3) de los ácidos húmicos extraídos de los suelos, permite enmarcar los tamaños moleculares en el intervalo o rango molecular definido por cada tipo de gel.

De acuerdo con las cifras representativas de las fracciones excluida y retenida por Sephadex G-50, se advierte que es minoritaria la proporción de la fracción de ácidos húmicos con tamaño molecular superior a 10.000.

Asimismo, las cifras correspondientes a las fracciones excluidas por Sephadex G-100 (tamaño

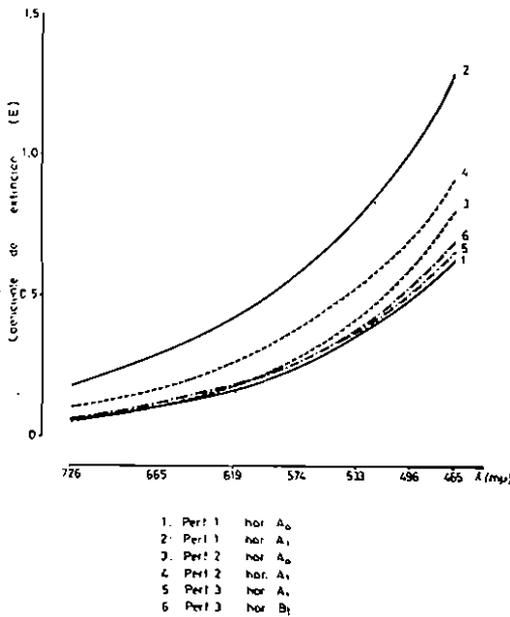


Fig. 4. Espectros visibles de los ácidos húmicos.

molecular > 100.000) son indicativas del reducido porcentaje de moléculas de elevado tamaño.

En la Figura 4 se representan los espectros visibles de las soluciones de humatos y de su observación comparativa se deduce que el grado de condensación entre los constituyentes aromáticos del polímero aumenta en el sentido:

Ácidos húmicos extraídos del suelo sobre arcosas < ácidos húmicos del suelo sobre margas yesíferas < ácidos húmicos del suelo sobre calizas.

CONCLUSIONES

Mediante el fraccionamiento de la materia orgánica y la determinación de los cationes de cambio del complejo adsorbente del suelo, se estudiaron diversos aspectos en relación con la evolución de la materia orgánica, la caracterización bioquímica del humus y el conocimiento de algunas etapas del ciclo biogeoquímico de diversos elementos minerales en suelos «aná-

logos» de *Q. rotundifolia* Lam. de la provincia de Madrid, habiéndose llegado a las siguientes conclusiones:

1. Sobre suelos desarrollados en medio ácido, el efecto inducido por la vegetación autóctona dentro del ciclo biogeoquímico se traduce en una disminución de la acidez y enriquecimiento en Ca⁺⁺ y K⁺ de cambio en superficie.
2. Con la profundidad se intensifica la humificación de los restos orgánicos por vía indirecta. El grado de humificación aumenta en el sentido:

Suelo pardo cálcico sobre margas yesíferas < suelo pardo lavado sobre arcosas < suelo pardo cálcico sobre calizas.

3. Mediante descarbonatación con C1H y posterior aplicación de ultrasonidos se pudo evaluar en el suelo sobre margas yesíferas la humina heredada «fuertemente secuestrada», comprobando la relativa importancia que desempeñan los procesos de humificación por vía directa a partir de la lignina en el horizonte orgánico de este suelo.
4. Predominan los ácidos fúlvicos sobre los ácidos húmicos. La proporción de humina de insolubilización no extraíble es considerablemente mayor que la proporción de humina ligada al hierro y a la arcilla.
5. La evolución de la materia orgánica se ha llevado a cabo preferentemente por vía indirecta a partir de los precursores solubles, desembocando en la formación de humus *mull* (*mull forestal mesotrófico* sobre arcosas y *mull* más evolucionado que el *mull cálcico* por la escasa proporción de carbonato cálcico activo sobre calizas y margas yesíferas.
6. Por cromatografía de filtración sobre gel se comprobó que la proporción de la fracción de ácidos húmicos con tamaño molecular > 10.000 es minoritaria (de 20,7 a 40,5%) y la proporción de ácidos húmicos con tamaño molecular > 100.000 aún menor, oscilando de 7,1 a 14,3%.

7. La comparación entre los espectros visibles de las soluciones de humatos permitió formular algunas consideraciones acerca del grado de condensación entre los constituyentes aromáticos de los ácidos húmicos.

SUMMARY

In several «analogous» soils of *Quercus rotundifolia* (on limestone gypsum marl and coarse grain sandstone) we could prove that even when the vegetation induces a good convergence of the humus (*mull*) it is possible to verify the formation of integrate humus with respect to the geochemical nature of the geological material.

The leaching of carbonates and subsequent application of ultrason to the soils formed on gypsum marl, allowed the extraction of the «strongly trapped» residual humin, proving the relative importance of the humification process by direct way from lignin.

The humic filtration through Sephadex proved that the molecular size fraction $> 10,000$ is small, being even smaller the fraction with a molecular size $> 100,000$ (from 7.1 to 14.3%).

BIBLIOGRAFIA

- ANNE, P., 1945: «Dosage rapide du carbone organique du sol». *Ann. Agron.*, 2: 161-172.
- CHOULIARAS, N.; VEDY, J. C.; PORTAL, J. M., 1975: «Fractionnement et caracterisation de la matière organique dans les rendsines». *Bull. I. N. Polytechnique de Nancy*, 17: 65-74.
- DUCHAUFOR, Ph., 1962: «El papel de la vegetación en la evolución de los suelos». *An. Edaf. y Agrobiol.*, XXI: 331-338.
- DUCHAUFOR, Ph., 1970: *Précis de Pédologie*. Masson Ed. París, 481 p.
- DUCHAUFOR, Ph., 1977: *Pédologie 1. Pedogénese et classification*. Masson Ed. París, 477 p.
- KONONOVA, M. M.; BEL'CHIKOVA, N. P., 1960: «Investigations of the nature of soil humic substances». *Soviet Soil Sci.*, II, 1149-1153.
- MEHLICH, A., 1948: «Determination of cation and anion-exchange properties of soils». *Soil Sci.*, 66: 429-445.
- MERLET, D., 1971: *Mise au point technique concernant l'extraction et la caractérisation des composés organiques dans les sols*. Centre de Pédologie Biologique. CNRS. Nancy. Doc. núm. 15, 19 p.
- MONNIER, G.; TURC, L.; JEANSON LOU-SIANG, C., 1962: «Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol». *Ann. Agron.*, 13: 55-63.
- PALLMANN, H., 1947: «Pédologie et phytosociologie». *Congrès International de Pédologie de Montpellier*, 1-36.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S., 1982: *Mapa de las series de vegetación de Madrid*. Diputación Provincial de Madrid.
- TOUTAIN, F., 1974: *Etude écologique de l'humification dans les hêtraies acidiphiles*. Thèse Doc. Etat. Univ. Nancy, 124 p.