

Materia orgánica de suelos bajo encinas. Mineralización de carbono y nitrógeno

J. González Parra* y M.^a A. Candás Villar

Departamento de Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense.
Avda. Complutense, s/n. 28040 Madrid. España

Resumen

Se han estudiado las características de suelos bajo encinas (*Quercus rotundifolia* Lam.) situadas al E. de la provincia de Segovia. Los suelos están desarrollados sobre gneis y sobre material calizo. Son suelos poco profundos (20 cm), corresponden a Leptosoles mollicos, Cambisoles eútricos y C. calcáricos. Presentan la siguiente secuencia de horizontes: O, Ah1, Ah2, C y O, Ah1, Ah2, BC. Los horizontes orgánicos (3 cm de espesor) están constituidos por restos orgánicos sin transformar procedentes de la encina, el contenido medio en materia orgánica es 25% y la alta relación C/N, con un porcentaje de C libre respecto al total próximo a 90, indican un bajo grado de humificación. La textura es arenoso franca y franco arenosa. Los suelos sobre caliza presentan los mayores contenidos en fracción arcilla. El grado de saturación es alto, siendo el Ca²⁺ el catión fundamental en el complejo de cambio. Los horizontes órgano minerales presentan menor proporción de materia orgánica y relación C/N, que los horizontes orgánicos. El grado de humificación es 60%, predominando los ácidos húmicos sobre los ácidos fúlvicos. La polimerización de las sustancias húmicas conduce a un humus tipo moder. El porcentaje de mineralización de carbono respecto al C total son diez veces mayor que el de nitrógeno en horizontes superficiales. La nitrificación es superior que la mineralización en todos los horizontes. Al profundizar disminuye el porcentaje de mineralización de C y aumenta el de N respecto a horizontes superficiales.

Palabras clave: materia orgánica, nitrógeno, *Quercus rotundifolia*, suelos, mineralización.

Abstract

Organic matter in soils under evergreen oaks. Carbon and nitrogen mineralization

Soil characteristics under evergreen oaks forest (*Quercus rotundifolia* Lam.) located at the East of Segovia were studied. The soils were formed from gneis and limestone. The whole soil was 0-20 cm depth. The soils were classified as mollic Leptosols, eutric Cambisols and calcare Cambisols. Horizons sequences were the following: O, Ah1, Ah2, C and O, Ah1, Ah2, BC. Organic horizons (3-0 cm depth) were formed by the not-yet decomposed organic remains from evergreen oaks. Mean organic matter content was 25%. The C:N ratio was high and free organic carbon was near 90% of the total carbon, which correspond with a low degree of humification. Soil texture was loamy sand and sandy loam. Soils on limestone present the highest clay fraction contents. The bases saturation degree was high, being Ca²⁺ the fundamental cation of exchange complex. Organic matter content and C:N ratio were lower in organic minerals horizons than in organic horizons. Humification degree was 60% with a predominance of HAs over FAs. The polimerization of humic substances makes possible the formation of humus «moder». Carbon mineralization to the total C was ten times higher than nitrogen mineralization in upper horizons. In all horizons the nitrification was higher than N mineralization. Carbon mineralization was lower and N mineralization was higher in deeper horizons comparing with upper horizons.

Key words: organic matter, nitrogen, *Quercus rotundifolia*, soils, mineralization.

Introducción

La vegetación mediterránea presenta en la Península Ibérica como característica fundamental, la gran

extensión que tienen los encinares de *Quercus rotundifolia* Lam., abarcando desde el piso termomediterráneo al supramediterráneo sobre cualquier tipo de material tanto silíceo como calizo (Rivas Martínez, 1987). Entre los silíceos, los más extensos corresponden al piso mesomediterráneo, alcanzando en la meseta 1.400 m de altitud. Sobre suelos calizos, a altitu-

* Autor para la correspondencia: jgparra@farm.ucm.es
Recibido: 19-07-03; Aceptado: 26-01-04.

des superiores a 1.000 m, contactan con la sabina albar (*Juniperus thurifera*) y el enebro (*J. communis*).

Suelos tomados en áreas de influencia de *Q. rotundifolia* (Velasco y Del Río, 1980) o bajo encinas (Rábago *et al.*, 2002; Quintana *et al.*, 2003) de la Comunidad de Madrid, desarrollados a partir de material silíceo, presentan bajo contenido en arcilla, pH ácido o ligeramente ácido, relaciones C/N de 14-15, predominio de AF, siendo el humus moder forestal. La polimerización disminuye en etapas sustitutivas de degradación, debido a la invasión del jaral. Si el material es calizo, el pH es superior a la neutralidad, el contenido en arcilla es más elevado y la relación C/N alcanza valores de 15-17 (Velasco y Mingo, 1981), siendo variable el grado de polimerización según los suelos (Velasco, 1976). Almendros *et al.* (1979) estudiando la materia orgánica de una rendsina bajo vegetación de *Q. rotundifolia* Lam, observaron que la tercera parte del carbono del suelo se encuentra en la materia orgánica libre. Bech *et al.* (1983) obtuvieron valores de materia orgánica libre superiores al 90% del C total, en horizontes superiores de suelos bajo *Q. ilex* L. desarrollados sobre granodioritas, siendo muy bajas las proporciones de AH+AF (2%), en horizontes más profundos incrementaban al 30%; estos autores ponen de manifiesto que es el medio mineral el que juega el papel más importante en la humificación, más que la vegetación. Sobre material carbonatado, Escuredo *et al.* (1982) estudian la materia orgánica ligada procedente de *Q. ilex*, obteniendo porcentajes de AH+AF de 30-35% respecto al C total. Lemée (1967) observa que la cantidad de N mineralizado en estufa a 28°C en una semana, corresponde aproximadamente a lo que se mineraliza en condiciones naturales en el suelo a lo largo de un ciclo vegetativo anual. Los tipos de humus mull forestal o moder son los que presentan un porcentaje de mineralización neta más elevado (García-Villaraco y Velasco, 1985).

Los bosques juegan un papel fundamental en el ciclo de carbono y nitrógeno, siendo los suelos forestales importantes sumideros de estos elementos, pudiendo contribuir a los cambios de concentración de CO₂ atmosférico (Macías, 2002). Es de gran interés no solo conocer la cantidad de materia orgánica que se acumula en suelos procedentes de especies arbóreas que forman el bosque mediterráneo, sino también los procesos de humificación y mineralización que tienen lugar; todo ello va a determinar el posible secuestro de carbono en suelos.

Los objetivos de este trabajo han sido estudiar:

- 1) Las características de suelos bajo encinas en un bos-

- 2) La naturaleza de la materia orgánica originada por los restos aportados y transformados de la encina.
- 3) La liberación de carbono y nitrógeno como consecuencia de procesos de mineralización.

Estos objetivos son fundamentales si se quiere conocer el papel que los suelos han ejercido o pueden ejercer en el futuro, en cambios climáticos.

Material y Métodos

Características de la zona de estudio

Está situada al este de la provincia de Segovia, carretera de Basardilla a Rebollo, en el término de Arevalillo de Cega (Figura 1). Los suelos constituyen un transecto altitudinal, con orientación oeste, localiza-

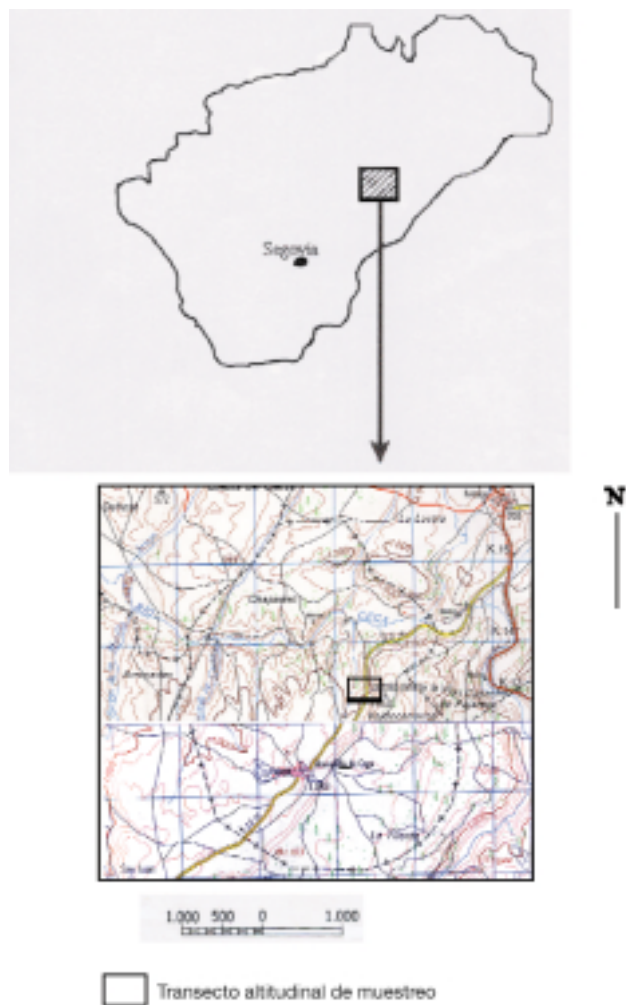


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

do en la zona de contacto de materiales silíceos (gneis) a menor altitud (940 m) y carbonatados (calizas cretácicas) en cotas superiores a 980 m (IGME, 1980).

El diagrama ombrotérmico de Gaussen ($P = 2T^a$) correspondiente a la estación de Segovia (altitud = 1.002 m, 37 años) pone de manifiesto un periodo seco comprendido entre los meses de Junio a Septiembre. Los valores para el índice de humedad de Papadakis ($I_h = P/ETP$) son inferiores a 0,5 en los meses de Julio, Agosto y Septiembre, por lo que se consideran meses secos. El régimen de humedad es Mediterráneo seco y el tipo climático corresponde a Mediterráneo templado (Elías Castillo y Ruiz Beltrán, 1977).

Con los datos climáticos de la estación de Segovia: T^a media anual = 11,4°C, temperatura media de las mínimas del mes más frío (m) = -1,1°C, temperatura media de las máximas del mes más frío (M) = 5,8°C, se elabora el índice de termicidad de Rivas Martínez (1982). Este índice presenta el valor 161 para la estación considerada, límite del piso bioclimático supramediterráneo medio y del supramediterráneo inferior (Rivas Martínez y Arnáiz, 1986; Rivas Martínez *et al.*, 1986; Rivas Martínez, 1987).

En función de la precipitación (468 mm), el ombroclima es seco ($p = 350-600$ mm). El índice de mediterraneidad (Rivas Martínez, 1984, 1987) ha de ser superior a 2,5 para estimar la influencia mediterránea, obteniéndose un valor de 4,8 para la estación de Segovia.

La vegetación de la zona corresponde a la Serie guarrámico-ibérica (supra-meso) silicícola de la encina, cuyo árbol dominante es *Quercus rotundifolia* (*Juniperus oxycedri-Querceto rotundifoliae sigmetum*). En las cotas más bajas de la ladera (940 m) se desarrolla la subasociación *Juniperetosum thuriferae* (Fernández González, 1988) con *Paeonia broteroi* y *Daphne gnidium* con presencia de *Fraxinus angustifolia* y *Brachypodium sylvaticum*. El matorral asociado a esta serie es un jaral de *Santolino rosmarinifoliae-Cistetum laurifolii* (Rivas Goday, 1955). En las cotas más altas del transecto de muestreo (1.050 m) se presentan como es-

pecies arbóreas *Quercus rotundifolia*, *Juniperus thurifera* y *Juniperus communis* subsp *hemisphaerica*, junto con *Daphne gnidium*, *Paeonia broteroi* y *Teucrium chamaedrys*.

Selección y descripción de muestras de suelos

Se han tomado muestras de perfiles a 30 cm del tronco de encinas, con el fin de estudiar la naturaleza de la materia orgánica originada por los aportes de esta especie forestal. Los suelos presentan la siguiente secuencia de horizontes: O, Ah1, Ah2, C; se han desarrollado a partir de gneis (Tabla 1), están localizados entre 940 y 980 m de altitud.

También puede existir un horizonte BC de color pardo amarillento (10 YR 5/4) por liberación de óxidos de hierro procedentes de los minerales del gneis. En las cotas más elevadas del transecto (1.050 m) debido al contacto con calizas, el horizonte C es carbonatado.

Métodos analíticos

Las muestras después de secas se pasaron por tamiz de 2 mm de luz de malla desechando la grava y analizando la «tierra fina». Las determinaciones analíticas llevadas a cabo han sido: Análisis granulométrico en horizontes órgano minerales profundos (método de la pipeta de Robinson); se diferencian cuatro fracciones: arena gruesa (2-0,2 mm), arena fina (0,2-0,02 mm), limo (0,02-0,002 mm) y arcilla (<0,002 mm). Nitrógeno total (método de Kjeldahl), la destilación del amoniaco se realizó por corriente de vapor en aparato Labson, desplazando con sosa concentrada y recogiendo sobre ácido bórico; la valoración se efectuó con ácido sulfúrico N/14 en un pH-metro (Metrohm 632). La determinación de carbono orgánico se llevó a cabo por oxidación con dicromato potásico y valoración automática en pH-metro; el pH en agua (re-

Tabla 1. Descripción general de horizontes

Horizonte	Prof. (cm)	Color (húmedo)	Estructura	Morfología
O	3/2-0	10 YR 2/2	Sin estructura	Restos sin transformar
Ah1	0-2	10 YR 3/2	Débil	Poco transformados
Ah2	2-0	10 YR 3/3	Débil-moderada	Restos transformados
C	>20	10 YR 5/2	Sin estructura	Gneis alterado

lación suelo:solución, 1:2,5) en pH-metro Crison. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) en acetato amónico a pH=7, las bases de cambio, Ca²⁺ y Mg²⁺ se determinaron por espectrometría de absorción atómica, AA (Perkin Elmer 430), Na⁺ y K⁺, en un espectrofotómetro Bausch-Lomb. El hierro se determinó por AA, el Fe total después del ataque de la muestra en reactor Phaxe 2000 con ácido fluorhídrico y ácido perclórico; el Fe libre se extrajo con el reactivo combinado de Tamm (ácido oxálico y oxalato amónico) al que se añade ditionito sódico (Guitian Ojea y Carballas, 1976). El fósforo asimilable se determinó como complejo fosfomolibdico por espectrofotometría. El estudio mineralógico se ha realizado por difracción de rayos X.

El fraccionamiento de la materia orgánica se ha realizado mediante a) separación densimétrica, usando mezcla bomoformo-etanol, $d = 1,84 \text{ g cm}^{-3}$ (Duchaufour y Jacquin, 1966), determinándose C y N en las fracciones ligada y libre; b) separación granulométrica (Bruckert *et al.*, 1978), por este tratamiento se rompen los agregados en agua y se concentran los complejos órgano minerales en la fracción menor de 50 micrómetros, sobre estos se lleva a cabo un fraccionamiento químico extrayendo sucesivamente con Na₂B₄O₇ a pH=9,7, Na₄P₂O₇ a pH=9,8, y NaOH a pH=12; así se obtienen ácidos fúlvicos (AF) y ácidos húmicos (AH), después de su separación por precipitación en medio ácido y un residuo (R).

Tabla 2. Valores estadísticos de contenidos en materia orgánica (g kg⁻¹), carbono orgánico (g kg⁻¹), nitrógeno total (g kg⁻¹) y relaciones C/N

	MO	C	N	C/N
<i>Horizonte O (N = 5)</i>				
Mínimo	190,0	110,0	5,0	16,9
Máximo	318,0	185,0	10,0	21,4
Media	251,0	146,0	7,9	18,6
Desv. típica	60,9	35,7	2,0	2,0
<i>Horizonte Ah1 (N = 10)</i>				
Mínimo	71,3	42,9	2,4	14,2
Máximo	199,5	115,7	6,5	18,5
Media	124,8	72,7	4,4	16,2
Desv. típica	46,4	26,5	1,4	1,6
<i>Horizonte Ah2 (N = 8)</i>				
Mínimo	12,8	7,5	0,6	11,4
Máximo	55,2	32,0	1,9	17,8
Media	29,7	17,2	1,1	15,2
Desv. típica	14,9	8,6	0,6	2,3

Tabla 3. Valores estadísticos del análisis granulométrico (%) del horizonte Ah2

	Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla
N = 17				
Mínimo	9,3	30,1	7,2	6,6
Máximo	50,2	55,6	18,2	20,1
Media	34,6	40,7	11,9	12,6
Desv. típica	13,8	9,1	2,9	4,5

La mineralización de carbono y nitrógeno se ha realizado mediante incubación «in vitro» de las muestras de suelo, durante siete días para el C y durante seis semanas para el N (Billès *et al.*, 1971a, 1971b) ajustando humedad y temperatura. La extracción de NO₃⁻ y NH₄⁺ se hizo con solución de K₂SO₄, determinándose ambos aniones por espectrofotometría.

El programa utilizado para los estadísticos descriptivos fue SPSS v.10 (SPSS, Chicago, IL).

Resultados

Características de los suelos

Los horizontes superficiales de suelos bajo encinas presentan contenidos en materia orgánica superiores a 19%, con valores medios de 25%, estos contenidos disminuyen al profundizar con valores medios de 12,5% en A1 y de 3% en Ah2; el nitrógeno y la relación C/N siguen la misma dinámica que el carbono orgánico (Tabla 2).

En la Tabla 3 se observa el predominio de fracción arena, 75% (gruesa + fina) sobre fracción fina, 24,5% (limo + arcilla). Los valores máximos de arcilla y mínimos de arena corresponden a los perfiles tomados sobre calizas (Candás, 1988). Las texturas son arenoso franca y franco arenosa.

Los contenidos en hierro total y libre en Ah2 son bajos, con relaciones Fe libre/Fe total comprendidas entre 21-42% (Tabla 4).

El valor medio de pH en horizontes orgánicos es más bajo (6,2) que en horizontes más profundos, el valor máximo en todos los horizontes corresponde a suelos tomados en contacto con calizas (Candás, 1988). La media de fósforo asimilable (P₂O₅) es ligeramente mayor en horizontes con más contenido en materia orgánica (Tabla 5).

En la Tabla 6 se expresan los datos del complejo de cambio, los valores medios de CIC siguen la se-

Tabla 4. Contenidos en hierro total (%), libre (%) y relaciones Fe libre a Fe total (%) en horizontes Ah2. Valores estadísticos

	Fe total	Fe libre	Libre/T
N = 16			
Mínimo	1,63	0,34	21,1
Máximo	3,13	0,88	42,6
Media	2,17	0,66	31,1
Desv. típica	0,53	0,14	6,25

cuencia: Horizonte O > horizonte Ah1 > horizonte Ah2. Los cationes cambiabiles siguen en horizontes órgano minerales la siguiente secuencia: $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$. Son suelos con valor de saturación superior al 50%.

Naturaleza de la materia orgánica

El fraccionamiento de materia orgánica por densimetría se ha llevado a cabo en horizontes con mayores contenidos en este componente (horizonte O + Ah1); se han diferenciado dos fracciones que corresponden a la materia orgánica libre y ligada. Existe predominio de carbono libre, con un valor medio de 83% respecto al C total (Tabla 7).

Las proporciones de nitrógeno de la fracción libre son superiores a las de la fracción ligada, con contenido medio de 76% respecto al N total (Tabla 8). Las

Tabla 5. Valores de pH y contenidos en P_2O_5 (g kg^{-1}). Estadísticos descriptivos

N = 8	pH	P_2O_5
<i>Horizonte O</i>		
Mínimo	5,46	0,12
Máximo	7,16	0,86
Media	6,24	0,37
Desv. típica	0,57	0,25
<i>Horizonte Ah1</i>		
Mínimo	5,59	0,06
Máximo	7,71	0,88
Media	6,90	0,31
Desv. típica	0,81	0,27
<i>Horizonte Ah2</i>		
Mínimo	6,87	0,00
Máximo	8,18	0,50
Media	7,53	0,17
Desv. típica	0,45	0,14

Tabla 6. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) ($cmol + kg^{-1}$) y bases de cambio ($cmol + kg^{-1}$). Valores estadísticos

Horizontes	CIC	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
<i>O (N = 6)</i>					
Mínimo	19,5	n.d	1,5	2,4	1,3
Máximo	66,5	n.d	14,1	14,6	6,3
Media	47,5	n.d	7,6	5,2	3,7
Des. típica	18,4		4,7	4,7	2,0
<i>Ah1 (N = 6)</i>					
Mínimo	15,4	4,4	0,8	1,5	0,9
Máximo	31,8	28,9	9,0	9,4	2,1
Media	23,2	14,5	4,2	3,4	1,4
Des. típica	6,1	11,3	2,7	3,0	0,4
<i>Ah2 (N = 7)</i>					
Mínimo	11,6	3,0	1,0	2,0	0,7
Máximo	37,8	23,0	10,0	5,0	4,4
Media	19,1	12,6	3,9	2,3	1,8
Des. típica	8,9	9,6	3,7	1,3	1,3

relaciones C/N son menores en la fracción ligada que en la libre. Los valores mínimos los presentan suelos con $CaCO_3$ (Candás, 1988).

En el fraccionamiento de materia orgánica mediante separación granulométrica y extracción química secuencial, se obtiene: El porcentaje en peso de la fracción menor de 50 μm (microagregados órgano minerales estables al agua) presenta un valor medio de 16,4 en horizontes superiores y de 22% en horizontes Ah2. El porcentaje en C de ésta fracción respecto al C total es 8,8 en horizontes superiores y 68,6 en horizontes Ah2. La extracción química pone de manifiesto (Figura 2), mayor porcentaje de C_{AH} que de C_{AF} en Ah2, predominando C_{AF} y C residual en horizontes superiores. Respecto al C total (Figura 3) se observa que la fracción humificada (AF y AH) es muy baja en horizontes superficiales y aumenta notoriamente en profundos (Ah2), con valores de AH superiores al 40%.

Tabla 7. Estadísticos descriptivos de contenidos en carbono ligado y libre (%) y porcentajes respecto al C total, en horizontes O + Ah1

N = 11	C ligado	C libre	Ligado/T	Libre/T
Mínimo	0,78	2,67	6,1	60,0
Máximo	2,08	17,00	40,0	93,9
Media	1,31	8,59	17,2	82,7
Desv. típica	0,47	4,88	12,1	12,2

Tabla 8. Estadísticos descriptivos de contenidos en nitrógeno ligado y libre (%) y porcentajes respecto al N total en horizontes O + Ah1. Relaciones C/N de las fracciones ligada y libre

N = 10	N ligado	N libre	Ligado/T	Libre/T	C/N Ligado	C/N Libre
Mínimo	0,06	0,14	8,0	45,0	10,4	15,6
Máximo	0,17	0,95	55,0	92,0	16,4	22,6
Media	0,10	0,48	23,4	76,2	13,3	18,3
Desv. típica	0,04	0,29	16,7	16,7	1,8	1,9

Mineralización de carbono y nitrógeno

Los contenidos de C mineralizado (CO₂) presentan gran desviación (Tabla 9). El valor máximo corresponde a un horizonte con micelios de hongos. El porcentaje de mineralización es menor en el horizonte más profundo que en superficie.

El porcentaje de mineralización de N y el grado de nitrificación (Tabla 10) presentan valores medios más elevados en horizontes Ah2 que en superficie. Los valores máximos corresponden a suelos carbonatados (Candás, 1988).

Para calcular la cantidad de C/m² y N/m² existente en los horizontes de estos suelos y la mineralización de C, N y nitrificación por superficie (Tabla 11) se estiman los siguientes valores de densidad para los horizontes (Miller y Donahue, 1995): d = 1.000 kg/cm³ para O + Ah1 (espesor 5 cm), y d = 1.600 kg/cm³ para Ah2 (18 cm de espesor).

Discusión

Características de los suelos

Los suelos bajo encinas desarrollados sobre gneis son poco profundos y presentan la siguiente morfología: En superficie gran acumulación de restos vegetales aportados por la encina, todavía estructurados y por tanto, poco descompuestos, constituyen un horizonte orgánico de 3 cm de espesor. Por debajo existe un horizonte órgano mineral subdividido (Ah1 y Ah2). En el primer subhorizonte es escasa la formación de agregados entre materia orgánica y mineral, sobre todo en suelos con abundante proporción de arena. El horizonte Ah2 presenta menor contenido en materia orgánica pero está más transformada existiendo agregados órgano minerales. El bajo contenido en arcilla, consecuencia de la limitada alteración química del gneis (influencia de la climatología de la zona) es otro factor que condiciona la formación de agregados. El fósforo

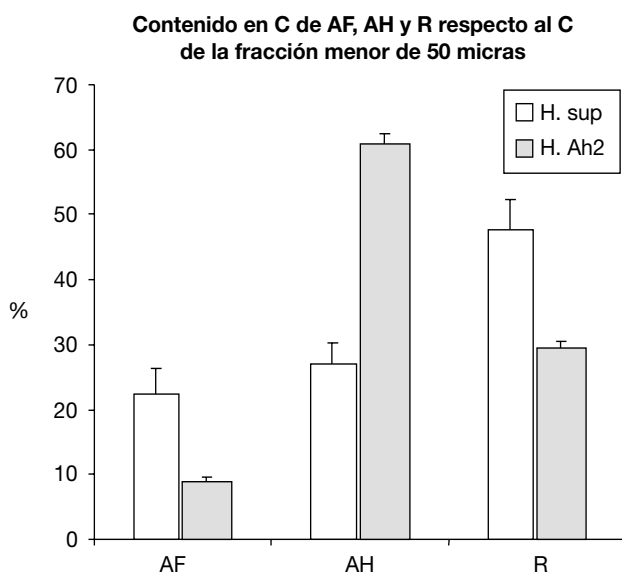


Figura 2. Porcentajes de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y carbono residual respecto al carbono de la fracción menor de 50 μ m en horizontes superiores y horizontales Ah2.

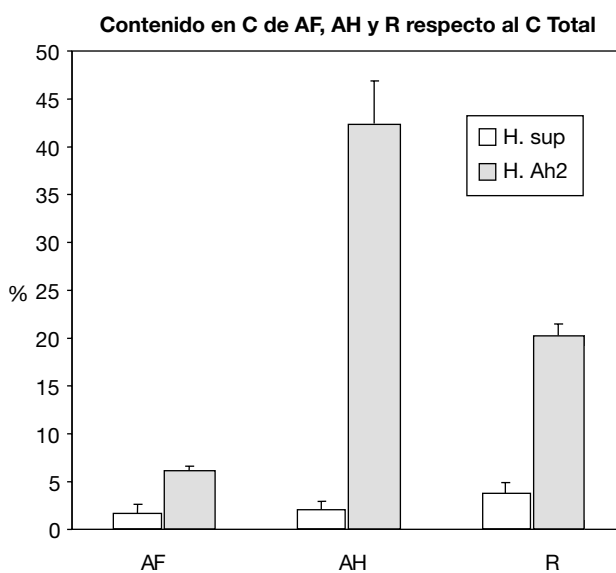


Figura 3. Porcentajes de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y carbono residual respecto al carbono total en horizontes superiores y horizontales Ah2.

Tabla 9. Mineralización de carbono (CO₂) a los siete días de incubación y porcentaje de CO₂ respecto al C total. Valores estadísticos

N = 12	C-CO ₂ (mg/100 g)	CO ₂ /C total
<i>Horizonte O+Ah1</i>		
Mínimo	71,3	1,45
Máximo	1.209,0	7,24
Media	313,5	3,08
Desv. típica	314,0	1,53
<i>Horizonte Ah2</i>		
Mínimo	10,3	1,28
Máximo	62,0	3,10
Media	32,9	1,86
Desv. típica	16,5	0,62

asimilable presenta la misma secuencia que los componentes orgánicos, ya que procede de la mineralización de la materia orgánica. En base a características morfológicas y a parámetros analíticos, se puede clasificar el humus como moder o intergrado moder-mull (Duchaufour, 1984).

Son suelos ligeramente ácidos, en superficie el pH es algo inferior debido a la acumulación de restos orgánicos, efecto que no se observa en otros suelos, estudiados por nosotros, bajo encinas y sobre material silíceo de la Comunidad de Madrid (Rábago *et al.*, 2002; Quintana *et al.*, 2003). Cuando existe concentración de hifas en algún horizonte, el pH disminuye intensamente. En muchas especies arbóreas entre otras, las de los géneros *Quercus* y *Juniperus* tiene lugar un fenómeno simbiótico entre sus raíces y el micelio de

Tabla 10. Mineralización de nitrógeno (NH₄⁺ y NO₃⁻) a las seis semanas de incubación. Porcentajes de mineralización respecto al N total y de nitrificación (NO₃⁻/N min.). Valores estadísticos

Horizontes N = 11	NH ₄ ⁺ (mg/100 g)	NO ₃ ⁻ (mg/100 g)	N min./ Nt	NO ₃ ⁻ / N min.
<i>O + Ah1</i>				
Mínimo	0,25	0,8	0,46	13,0
Máximo	23,00	11,7	4,70	98,0
Media	6,10	5,8	2,20	59,7
Desv. típica	8,65	4,3	1,50	28,3
<i>Ah2</i>				
Mínimo	0,29	0,21	1,8	30,0
Máximo	17,0	7,22	6,1	94,0
Media	2,53	3,52	3,8	78,9
Desv. típica	4,91	2,61	1,5	20,2

Tabla 11. Contenido en carbono y nitrógeno (kg/m²). Mineralización de C y N (g/m²/día)

	O + Ah1	Ah2
Carbono	5,8	4,9
Nitrógeno	0,3	0,3
Miner. Carbono (CO ₂)	25,6	12,9
(NH ₄ ⁺ -NO ₃ ⁻)/Nt	0,15	0,28

ciertos hongos. El pH más adecuado para la formación de micorrizas es ligeramente ácido, pero lo suficientemente próximo a la neutralidad para que se favorezcan procesos de humificación, mineralización y nitrificación por la abundancia de bacterias (Gandullo, 1985).

En la capacidad de intercambio catiónico influyen no solo el contenido en materia orgánica sino el de arcilla y la naturaleza de los minerales que la constituyen, en estos suelos es la materia orgánica el componente que más contribuye a la CIC.

Son suelos poco evolucionados como indican los porcentajes de hierro liberado procedente de la alteración de minerales ferromagnesianos (tipo biotita) que componen el gneis y que pasan a la fracción arena. Existe moscovita conjuntamente con ortosa y en algunas muestras, plagioclasas ricas en sodio, lo que explica el contenido en Na⁺ cambiante del complejo adsorbente. La fracción arcilla está constituida por micas-ilitas y caolinita. Estos suelos corresponden a Lepতোসোলে móllicos y Cambisoles eútricos (FAO, 1998) por sus características morfológicas y evolución. Los suelos desarrollados sobre material carbonatado, Cambisoles calcáricos, están localizados en cotas más altas de la ladera (1.050 m), presentan elevados valores de pH, mayores contenidos en Ca²⁺ de cambio y en fracción arcilla (constituida por micas-ilitas y esmectitas), lo que contribuye a la formación y estabilidad de agregados órgano minerales. Existe calcita como mineral fundamental, presencia de feldespatos y cuarzo; en alguna muestra figura dolomita como mineral predominante (Candás, 1988).

Naturaleza de la materia orgánica

Está caracterizada por predominio de fracción libre que representa los restos orgánicos que no se han transformado, la fracción ligada es la humificada, es más pesada y está ligada a arcillas formando complejos arcillo-húmicos (Duchaufour, 1984). Las diferencias en-

tre los valores obtenidos y los dados por otros autores, para la misma vegetación (Almendros *et al.*, 1979) o igual litología (Hoyos *et al.*, 1982, 1983), se deben a la naturaleza de los horizontes analizados. Los máximos porcentajes de C ligado respecto al total corresponden a suelos formados sobre material carbonatado, debido a la existencia en estos de caliza activa (CaCO₃ en fracción fina), que actúa protegiendo las membranas vegetales y solo cuando se disuelve progresa la biodegradación, formándose compuestos húmicos que quedan en parte estabilizados por el calcio (Duchaufour, 1984).

El mayor contenido en microagregados (fracción menor de 50 µm) en horizontes Ah2, corrobora un grado de humificación más elevado que en superficie. Estos agregados están constituidos en horizontes superiores predominantemente por AF y por AH, en horizontes inferiores. La estabilidad de estos microagregados se debe a los componentes orgánicos más que a la fracción arcilla. Los ácidos húmicos son capaces de formar complejos órgano metálicos con el hierro con enlaces persistentes, mientras que los ácidos fúlvicos lo hacen con enlaces más débiles. En los microagregados de pequeño tamaño predominan los formados por AH (Benito y Díaz-Fierros, 1986).

Mineralización de carbono y nitrógeno

El porcentaje de mineralización de carbono/día es más elevado en horizontes superficiales que en profundos. Los porcentajes de mineralización de nitrógeno/día y nitrificación/día, son más elevados en horizontes más profundos que en superficie (Tabla 12). La mineralización de carbono es aproximadamente 10 veces mayor que la de nitrógeno en horizontes superficiales con mayor contenido en materia orgánica, y tres veces mayor en horizontes inferiores.

Los suelos estudiados, bajo la influencia directa de la encina, han acumulado en superficie aproximadamente 6 kg de carbono/m² y 5 kg de carbono/m² en horizontes Ah2; siendo la acumulación de nitrógeno igual

Tabla 12. Porcentajes de mineralización (C y N) y nitrificación por día

	O + Ah1	Ah2
C (CO ₂)/Ct	0,44	0,26
N (NH ₄ ⁺ -NO ₃ ⁻)/Nt	0,05	0,09
NO ₃ ⁻ /N min.	1,42	1,87

en ambos horizontes (0,3 kg/m²). Al presentar mayor grado de humificación la materia orgánica en profundidad que en superficie y ser más estable, la mineralización de carbono (CO₂) por m²/día está reducida en un 50%, sin embargo la mineralización de nitrógeno incrementa casi el doble en horizontes inferiores que en superficie.

El stock de carbono existente en estos suelos y la tasa de mineralización, influida por las características de la materia orgánica, han de servir como base, conociendo la densidad arbórea y el aporte de sus restos vegetales/m²/año, para una estimación general acerca de la posible contribución de los suelos a la concentración de CO₂ atmosférico.

Referencias bibliográficas

- ALMENDROS G., POLO A., DORADO E., 1979. Caracterización de las sustancias húmicas en la fracción húmica de los suelos. An Edafol Agrobiol 2002-2016.
- BECH J., HERETERA A., VALLEJO R., 1983. Las tierras pardas ácidas sobre granodioritas de la zona nor-oriental del macizo del Montseny. An Edafol Agrobiol 42, 371-393.
- BILLÈS G., CORTEZ J., LOSSAINT P., 1971a. L'Activité biologique des sols dans les écosystèmes méditerranéens. I. Minéralisation du carbone. Rev Écol Biol Sol 8(3), 375-395.
- BILLÈS G., LOSSAINT P., CORTEZ J., 1971b. L'Activité biologique des sols dans les écosystèmes méditerranéens. II. Minéralisation de l'azote. Rev Écol Biol Sol 8(4), 533-552.
- BENITO RUEDA E., DÍAZ-FIERROS VIQUEIRA F., 1986. Estudio de algunos factores que influyen en la formación de microagregados en los suelos del N.W. de España. An Edafol Agrobiol 289-300.
- BRUKERT S., ANDREUX F., CORREA A., AMBOUTA K.J., SOUCHIER B., 1978. Fraccionnement des agregats appliqué à l'analyse des complexes organo-minéraux des sols. En: Proc. 11ème Congr. Int. Science du Sol. Edmonton. Canadá. 1, 88.
- CANDÁS M.A., 1988. Estudio De suelos bajo sabinar y encinar: procesos de transformación de la materia orgánica. Colección Tesis Doctorales nº 203/88. Ed. Universidad Complutense. Madrid.
- DUCHAUFUR Ph., 1984. 1. Edafogénesis y Clasificación.. Masson, S. A., Barcelona, 493 pp.
- DUCHAUFUR Ph., JACQUIN F., 1966. Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. Bull ENSAIA 3, 3-24.
- ELÍAS CASTILLO F., RUIZ BELTRÁN L., 1977. Agroclimatología de España INIA. nº 7.
- ESCURADO A., VALLEJO R., BECH J., 1982. Estudio de la materia orgánica de suelos forestales sobre distintos substratos litológicos de la cordillera costero-catalana

- (sectores Baix, Llobregat y Maresme meridional). An Edafol Agrobiol 41, 1847-1868.
- FAO., 1998. World Reference Base for Soil Resources. Rome.
- FERNÁNDEZ GONZÁLEZ F., 1988. Inventarios de vegetación. En: Estudio de suelos bajo sabinar y encinar. Procesos de transformación de la materia orgánica. Colección Tesis Doctorales nº 203/88. Ed. Universidad Complutense. Madrid.
- GANDULLO J.M., 1985. Ecología vegetal. Fundación Conde del Valle de Salazar. ETSIM 208 pp.
- GARCÍA VILLARACO A., VELASCO DE PEDRO F., 1986. Contribución al estudio de la movilización de nitrógeno en ecosistemas del centro de España. An Edafol Agrobiol 44, 993-999.
- GUITIAN OJEA F., CARBALLAST T., 1976. Técnicas de análisis de suelos. Ed. Pico Sacro. Santiago de Compostela.
- HOYOS A., CANDÁS M.A., GONZÁLEZ J., 1982. Fraccionamiento de sustancias húmicas en los suelos con CO₂Ca. An Edafol Agrobiol 41, 2221-2234.
- HOYOS A., CANDÁS M.A., GONZÁLEZ PARRA J., 1983. Fraccionamiento de sustancias húmicas en suelos ácidos de Valsain (Segovia). An Edafol Agrobiol 42, 1001-1012.
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 1980. Mapa Geológico. (IGME). Escala 1: 200.000 (Segovia).
- LEMÉE G., 1967. Investigations sur la minéralisation de l'azote et son evolution annuelle dans des humus forestiers in situ. Oecol Plant 2, 235-324.
- MACÍAS F., 2002. Secuestro de Carbono en suelos y biomasa. Reunión Internacional. A Coruña. Macías F y Camps M (eds), 66 pp.
- MILLER R.W., DONAHUE R.L.(eds), 1995. Soils in our environment. USA. 649 pp.
- QUINTANA J.R., RÁBAGO I., PÉREZ L., MORENO A.M., GONZÁLEZ J., 2003. Comportamiento de suelos con diferentes características frente a la contaminación con plomo. I Simposio Nacional sobre control de la erosión y degradación del suelo. Bienes R. y Marqués M.J. (eds) Madrid, 405-408.
- RÁBAGO JUAN-ARACIL L., MORENO GARCÍA A.M., GONZÁLEZ PARRA J., 2002. Sorption and desorption of Cd and Pb in mediterranean acid soils. Proceedings: Critical limits for heavy metals and methods for their application. Berlin, 203-206.
- RIVAS GODAY S., 1955. Los grados de vegetación de la Península Ibérica. Anales Inst Bot Cavanilles 15, 539-651.
- RIVAS MARTÍNEZ S., 1982. Memoria del mapa de las series de vegetación de la provincia de Madrid. Servicio Forestal del Medio Ambiente y contra incendios. Diputación de Madrid. 47 pp.
- RIVAS MARTÍNEZ S., 1984. Pisos bioclimáticos de España. Lazaroa 5, 33-43
- RIVAS MARTÍNEZ S., ARNAIZ C., 1986. Bioclimatología y vegetación en la Península Ibérica. Bull Soc Bot France 131, 111-120.
- RIVAS MARTÍNEZ S., FERNÁNDEZ GONZÁLEZ F., SÁNCHEZ MATA D., 1986. Datos sobre la vegetación del Sistema Central y Sierra Nevada. Opuscula Botánica Pharmaciae Complutensis. Madrid. 136 pp.
- RIVAS MARTÍNEZ S., 1987. Mapa de las series de vegetación de España. 1: 400.000. ICONA. Madrid.
- VELASCO DE PEDRO F., 1976. Evolución de la materia orgánica en los suelos pardos de la submeseta meridional. An Edafol Agrobiol 35, 377-389.
- VELASCO F., DEL RÍO J., 1980. La humificación en las etapas de sustitución del bosque climácico en la Pedriza del Manzanares (Madrid). An Edafol Agrobiol 39, 143-154.
- VELASCO F., DE MINGO P., 1981. Distribución de la materia orgánica libre y ligada, y de las fracciones de humina en suelos climácicos y en suelos degradados. An Edafol Agrobiol 40, 179-190.