

COMPORTAMIENTO DEL CARBONO ORGÁNICO EN DOS SUELOS FORESTALES DE LA SIERRA DE GATA (PROVINCIA DE SALAMANCA)

A. Moyano¹; Juan F. Gallardo Lancho² y E. Charro³

¹ Dpto. Producción Vegetal y Recursos Forestales, Universidad de Valladolid. Campus Universitario. 42004- SORIA (España). Correo electrónico: gardini@pvs.uva.es.

² IRNA/CSIC. Cordel de Merinas 40. 37071-SALAMANCA (España). Correo electrónico: jgallard@usal.es.

³ Dpto. Ciencias Agroforestales, Universidad de Valladolid. Campus Universitario, Avda. de Madrid 44. 34004-PALENCIA (España). Correo electrónico: echarro@agro.uva.es.

Resumen

El presente trabajo pretende analizar, en forma comparativa, las diferentes fracciones que constituyen la MOS procedentes de dos sistemas forestales e inferir los factores ecológicos predominantes que han actuado sobre los procesos de humificación. Se seleccionaron los espipedones de dos suelos forestales desarrollados sobre granito alterado. Uno de ellos soporta una repoblación de pinos (*Pinus sylvestris* Ait.), mientras que el otro es un rebollar climácico (*Quercus pyrenaica* Willd.) adhesionado. Ambos suelos fueron clasificados como *Umbrisoles háplicos*. Se compararon los resultados obtenidos tras el análisis de las diferentes fracciones húmicas de la MOS, lo cual permitió inferir que es escasa la influencia de la vegetación sobre la calidad de las sustancias húmicas edáficas.

Palabras Clave: *Materia orgánica del suelo, Humificación, Sustancias húmicas, Suelos forestales, Rebollar, Pinar*

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MOS) presenta características diferentes dependiendo de la naturaleza de la broza producida y del proceso de degradación y humificación que experimentan (DUCHAUFOR, 1987). Aunque no existe una terminología precisa para definir la MOS se considera que comprende tanto la materia orgánica fresca (MOF), esto es, restos vegetales recientemente incorporados y productos de su descomposición (incluidos los organismos que viven en el suelo), como la materia orgánica ya humificada (productos neoformados) lo que permite su extracción diferencial en fracciones (DUCHAUFOR & JACQUIN, 1966).

Por otra parte, existe poca literatura referente a la caracterización de la MOS de los bosques

poco productivos, parcialmente degradados, de la región del centro oeste de España (MARTIN et al., 1996; TURRION et al., 1997).

En el presente trabajo se pretenden analizar las diferentes fracciones que componen la MOS de los horizontes edáficos superficiales (más activos) en dos ecosistemas forestales con distinta vegetación, con el fin de estudiar los efectos de ésta sobre la cantidad y calidad de la MOS.

MATERIAL Y METODOS

Los suelos analizados proceden de horizontes superficiales de *Umbrisoles háplicos* (F.A.O., 1994) pertenecientes a dos ecosistemas forestales localizados en el término municipal de

Villasrubias (Sierra de Gata, provincia de Salamanca, España). Estos *Umbrisoles* soportan vegetación arbórea: a) el Suelo I un pinar de repoblación (*Pinus pinaster* Ait.); y el Suelo II un rebollar adhesionado (*Quercus pyrenaica* Willd.). En la tabla 1, se presentan algunas características (edáficas, climáticas y selvícolas) de las áreas muestreadas (MARTIN et al., 1994, 1995). Dichos *Umbrisoles háplicos* presentan espesor variable, estando asociados a *Leptosoles dístritos y úmbricos* (TURRION et al., 2002); son suelos desaturados debido principalmente al granito (ácido) de partida y a la relativamente alta pluviometría. Los datos de la tabla 1 indican también que los suelos presentan un alto contenido en MOS en superficie.

En ambos suelos se tomaron muestras del horizonte Ah, separándose previamente el horizonte O (hojarasca) y luego se tamizaron a 2 mm.

Para caracterizar la MOF se practicó una separación densimétrica con de una mezcla de bromoformo-alcohol (da 1.6 g cm⁻³) y, paralela-

mente, se realizó el fraccionamiento orgánico según DUCHAUFOR & JACQUIN, 1966). Este procedimiento utiliza las siguientes disoluciones extractoras: a) agua destilada y desionizada a 20 °C (fracción hidrosoluble); a) segunda extracción con solución tamponada (pH 7.0) de pirofosfato sódico 0.1 N y sulfato sódico al 5 %; y c) tercera extracción con pirofosfato sódico 0.1 N y NaOH 0.1 N (pH 12.0). En todo caso se repitió el proceso dos veces. Posteriormente se acidificaron los extractos (pH 2.0) y se centrifugó a 5,000 r.p.m.; el líquido sobrenadante amarillo son ácidos fúlvicos (AF), mientras que la fracción insoluble contiene ácidos húmicos (AH); se identifican con subíndices 1 y 2 los AF y AH que se extraen en primera y segunda extracción en la repetición del proceso, respectivamente. En el residuo de suelo permanecen las huminas (Hna), no extraíbles con los reactivos alcalinos. En cada una de las fracciones líquidas recogidas se analizó el contenido en C orgánico mediante un analizador de C (TOCA), mientras que en los sólidos se determinó el C mediante un *Carbhograph*.

Características	Pinar (suelo I)	Rebollar (Suelo II)
Zona	Dehesa de Villasrubias	Dehesa de Villasrubias
Altitud (m s. n. m.)	870	900
Forma del terreno circundante	Ondulado	Suavemente ondulado
Posición fisiográfica	Ladera, parte media	Ladera, parte media
Pendiente (%)	6	12
Orientación	Sudeste	Noroeste
Geología	Granito muy alterado	Coluvión granítico
Afloramientos rocosos	Escasos	Escasos
Precipitación anual (mm año ⁻¹)	900	872
Influencia humana	Repoblación. Incendio	Pastoreo
Edad del bosque (años)	40	60
Clima	Mediterráneo subhúmedo	Mediterráneo subhúmedo
Densidad de árboles (N ha ⁻¹)	1300	1000
Estrato arbustivo	Ausente	Escaso
Estrato herbáceo	Ausente	Muy abundante
Espesor del horizonte orgánico (cm)	2.5	1.0
Espesor horizonte Ah (cm)	0-15	0-20
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0.83	0.72
Gravas (%)	47	30
Arcillas (%)	40	62
pH (KCl)	4.0	4.6
C.I.C. (cmol(+) kg ⁻¹)	27.5	25.1
M.O.S. (%)	17.8	20.4

Tabla 1. Principales características de las áreas estudiadas (MARTIN et al., 1995)

También se determinó el N mediante un analizador *Macro-N* Heraeus.

En todo caso los análisis se realizaron por duplicado, exponiéndose las medias de los resultados obtenidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hojarasca

Las razones C/N del pinar son siempre más altas que las del rebollar (Tabla 2), observación que coincide con la señalada por otros autores (GONZÁLEZ *et al.*, 1977). Nótese que el contenido de C de la hojarasca, en ambos casos, supera el 50 %.

Las características químicas de la MOF, ligadas a la naturaleza del material vegetal a partir del cual se origina, influyen sobre la velocidad de mineralización (CALVO DE ANTA Y DIAZ-FIERROS, 1979). El mayor contenido en lignina en el suelo I debe causar un descenso de velocidad en los procesos de descomposición y resíntesis, dado que su degradación está conducida por la actividad fúngica (PARK & MIN, 2003), lo cual limita los procesos de humificación directa (KELLY & STEVENSON, 1996). Ello explicaría la mayor acumulación de hojarasca (horizonte O) en el pinar que en el rebollar (Tabla 1).

Fraccionamiento densimétrico

En ambos suelos (Tabla 3) la fracción pesada supera ampliamente el valor medio de 80 % que citan otros estudios (SCHNITZER & SCHUPPLI

1989). Por tanto, la fracción ligera es, en ambos casos, muy baja (cerca al 5%). Diversos autores (BOONE, 1994; COMPTON & BOONE, 2001) señalaron que la fracción ligera posee una alta capacidad de mineralización, mientras que la fracción pesada, más humificada, se muestra resistente a los procesos degradativos biológicos.

Como se observa, la fracción ligera tiene características intermedias entre la hojarasca y la MOS (Tabla 2). JORGENSEN *et al.* (1975) y CHRISTENSEN (1992) indicaron que la fracción ligera encontrada en suelos de pinares posee una menor riqueza nitrogenada.

Fraccionamiento orgánico

La mayor acumulación de hojarasca en el horizonte O en el pinar ocasiona que el contenido de MOS del Ah sea más bajo que el del rebollar y menos profundo (Tabla 1), por efecto de una menor intensidad de flujo de C hacia el suelo en el primer ecosistema.

En la Tabla 4 también se observa que muy bajos contenidos hidrosolubles (HS) se encuentran dentro del rango señalado por otros autores (CARBALLAS *et al.*, 1978, 1983), quienes indican que los HS en suelos que sustentan coníferas es superior a la existente en suelos de latifoliadas. La alta proporción de gravas (Tabla 1) facilita la acidificación por lixiviación (pH \approx 4.0), situación que se favorece por la liberación de ácidos orgánicos durante la descomposición de la hojarasca (GONZÁLEZ *et al.*, 1977).

En ambos suelos los AF1 representan sólo alrededor del 8 % y los AF2 del 5 % del COS.

	Suelo I			Suelo II		
	C (mg g ⁻¹)	N (mg g ⁻¹)	C/N	C (mg g ⁻¹)	N (mg g ⁻¹)	C/N
Horizonte O (hojarasca)	520 ± 40	8.2 ± 0.5	64	540 ± 70	11.2 ± 4.0	47
Horizonte Ap	110 ± 30	4.3 ± 1.0	26	120 ± 20	6.6 ± 0.8	19
Fracción ligera (Ap)	350 ± 20	11.3 ± 0.3	30	280 ± 30	13.0 ± 0.5	22

Tabla 2. Distribución del C y del N edáfico tras el fraccionamiento orgánico

Suelo I (pinar)		Suelos II (rebollar)	
Fracción pesada (>1.6 g/cm ³) (%)	Fracción ligera (<1.6 g/cm ³) (%)	Fracción pesada (>1.6 g/cm ³) (%)	Fracción ligera (<1.6 g/cm ³) (%)
93.7	6.3	95.7	5.3

Tabla 3. Fracciones humificada y no humificada obtenidas por densimetría

En consecuencia, la relación AF1/AF2 es ligeramente superior en el suelo I (próximo a 2.0) que en el suelo II (1.4); estos valores indican que en el horizonte Ah del pinar hay una mayor proporción de compuestos menos evolucionados, con un contenido mayor de cadenas alifáticas susceptibles de ser extraídas con reactivos menos agresivos. Los AF del primer extracto se corresponderían con mezclas de fenoles, núcleos polifenólicos y polisacáridos de bajo peso molecular, es decir, la fracción fúlvica clásica de fácil aislamiento (STEVENSON, 1994), mientras que el significado de la fracción AF2 no es tan claro, pudiendo estar constituida por sustancias parahúmicas, compuestos que no han alcanzado el grado de polimerización necesario para ser insolubles en medio ácido o, bien, aparecen como resultado de la hidrólisis alcalina de los AH (DOMMERGUES & MANGENOT, 1970; HEDGES, 1988); es decir, en todo caso AF con mayor relación núcleo/cadenas laterales.

Los AH obtenidos en la primera extracción (AH1) no alcanzan tampoco el 10 % del COS, siendo de reciente formación y, posiblemente, son resultado de procesos de neosíntesis. Según (CARBALLAS et al., 1979) los procesos de condensación a partir de moléculas más simples que se ven favorecidos por los bajos valores de pH del suelo (FLAIG et al. 1975).

Los altos valores tanto de AH2 como de Hna encontrados en los suelos I y II (Tabla 4) indican que la materia humificada de ambos ecosistemas posee una fuerte resistencia a los procesos de degradación y, por tanto, una alta persistencia temporal (STEVENSON, 1994). TURRIÓN et al. (2002) encontraron que suelo II posee un alto contenido de Fe libre (28 g kg⁻¹), aunque su morfología indica cierto mayor desarrollo edáfico que el suelo I. El Fe actúa como catalizador en las reacciones de eliminación de grupos funcionales, dando como resultado compuestos de carácter marcadamente húmicos. GONZÁLEZ et al. (1977)

encontraron que la causa de la similitud entre las fracciones húmicas de un rebollar y un pinar de la Sierra de Gata estribaba en la presencia de Fe libre, que frena cualquier indicio de podsolización al adsorber las fracciones orgánica móviles.

La fracción Hna, que permanece estable frente a los extractantes alcalinos, es un remanente formado a partir de la insolubilización bioquímica, reacciones de polimerización y de la actividad microbiana (FLAIG et al., 1975). La profundidad variable de los suelos influye en el régimen hídrico edáfico y aunque, en todo caso, los epipedones Ah permanecen totalmente secos durante gran parte del verano (MORENO et al., 1996) lo cual limita la actividad biológica del suelo (GALLARDO, 2000), pueden producirse condensaciones húmicas de naturaleza físicoquímica en el suelo por efecto de dicha desecación estival (DUCHAUFOR, 1987), conduciendo a la formación de Hna siempre que existan suficientes micelas inorgánicas (arcillas y sesquióxidos).

La persistencia de un mayor porcentaje de AH2 (28 %) y Hna (40 %) en el suelo II indica que los taninos del rebollar se humifican hacia fracciones que establecen uniones permanentes con las fracciones finas (limo fino más arcillas), más abundantes que en el suelo I (Tabla 1), donde los porcentajes de AH2 y Hna sólo alcanzan los valores de 23 y 34 % respectivamente (Tabla 4).

CONCLUSIONES

Se concluye que las diferencias entre contenidos de fracciones húmicas encontrados en los dos ecosistemas forestales estudiados obedecen más a características del suelo (diferenciación entre fracciones finas) que propiamente a un efecto producido por la diferente vegetación. El mayor espesor del horizonte O del pinar que el del rebollar origina, por el contrario, un mayor

Suelo (Ah)	COS (mg g ⁻¹)	Carbono					
		Hidrosolubles (mg g ⁻¹)	Fracción pesada (mg g ⁻¹ suelo)				
			AF1	AF2	AF2	AH2	Hna
I	102.3	0.5	8.7	4.5	9.2	23.0	34.7
II	117.2	0.3	9.2	6.2	8.2	33.0	46.6

Tabla 4. Fraccionamiento de la materia orgánica de los horizontes Ah

contenido orgánico en el horizonte *Ah* de este último suelo.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al Proyecto MedCop/AIR de la Unión Europea.

BIBLIOGRAFIA

- BOONE, R.; 1994. Light-fraction soil organic matter: origin and contribution to net nitrogen mineralization. *Soil Biol. Biochem.* 32: 151-156.
- CALVO DE ANTA, R.M.; PAZ, A. Y DIAZ-FIERROS, F.; 1979. Nuevos datos de la influencia de la vegetación en la formación de suelos en Galicia. II. Aportes de elementos por lavado de cubierta y tronco. *An. Edaf. Agrobiol.* 38:1675-1691.
- CARBALLAS, M.; CARBALLAS, T. Y JACQUIN, F.; 1978. Biodégradation et humification de la matière organique des sols humifères atlantiques. *An. Edaf. Agrobiol.* 37: 205-212.
- CARBALLAS, M.; CARBALLAS, T. Y JACQUIN, F.; 1979. Biodegradation and humification of organic matter in humiferous atlantics soils. *An. Edaf. Agrobiol.* 38: 1699-1717.
- CARBALLAS, M.; CARBALLAS, T.; CABANEIRO, A.; VILLAR, M.C.; LEIROS M.C. Y GUITIAN OJEA, F.; 1983. Suelos AC sobre granitos de Galicia (NO de España) con especial referencia al ranker atlántico. III Fracción orgánica. *An. Edafol. Agrobiol.* 42: 1780-1814.
- CHRISTENSEN, B.T.; 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.* 20: 1-90.
- COMPTON, J.E. & BOONE, R.; 2001. Soil nitrogen transformations and the role of light fraction organic matter in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 34: 933-943.
- DOMMERGUES, Y. & MANGENOT, F.; 1970. *Ecology microbienne du sol.* Masson. París. 796 pp.
- DUCHAUFOR, P.; 1987. *Edafología.* Masson. Barcelona. Vol. 1, 462 pp.
- DUCHAUFOR, P. & JACQUIN, F.; 1966. Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. *Bull. ENSAIA, Nancy*, 8:1-24
- F.A.O.; 1994. *World References Bases for Soil Resources.* F.A.O. Roma.
- FLAIG, W.; BEUTELSPACHA, H. & RIETZ, E.; 1975. Chemical composition and physical properties of humic substances. In: Gieseking J.E. (ed.), *Soil components. I. Organic components: 1-212* Springer-Verlag, Berlín.
- GALLARDO, J.F.; 2000. Biogeochemistry of Mediterranean forest ecosystems: A case study. In: J.M. Bollag y G. Stotzky (eds). *Soil Biochemistry* 10: 423-460. Marcel Dekker, Nueva York.
- GONZALEZ, M.I.; GALLARDO, J.F. & EGIDO, J.A.; 1977. Evolución de la materia orgánica de un suelo *climax* y de un suelo de repoblación de la Vertiente Norte de la Sierra de Gata (Salamanca)". *Anal. Edaf. Agrobiol.* 36: 1167-1186.
- HEDGES, J.I.; 1988. Polymerization of humic substances in natural environments. In: F.H. Frimmel and R.F. Christamam (Eds.). *Humic Substances and their Role in the Environment: 45-58.* J. Wiley, Chichester.
- JORGENSEN, J.R.; WELLS, C.G. & METZ, L.J.; 1975. The nutrient cycle key to continuous forest. *J. For.* 73: 400-405.
- KELLY, K.R. & STEVENSON, F.J.; 1996. Organic forms of N in soils. In: A. Piccolo (ed.), *Humic Substance in Terrestrial Ecosystems: 407-417.* Elsevier, Amsterdam.
- KHANNA, P.K. & ULRICH, B.; 1991. Ecochemistry of temperature deciduous forest. In: E. Röhrig & B. Ulrich (eds). *Ecosystems of the world. Temperature deciduous forest* 7: 121-164. Elsevier, Amsterdam.
- MARTIN, A.; GALLARDO, J.F. & SANTA REGINA, I.; 1996. Aboveground litter production and bioelement potential return in evergreen oak (*Quercus rotundifolia*) woodland near Salamanca. *Ann. Sci. For.* 53: 811-818.
- MARTIN, A.; RAPP, M.; SANTA REGINA, I. & GALLARDO, J.F.; 1994. Leaf litter compositions dynamics in some Mediterranean deciduous oaks. *Eur. J. Soil Biol.* 30: 119-124.
- MARTIN, A.; SANTA REGINA, I. & GALLARDO, J.F.; 1995. Interaction between litter and

- soil epipedons in forest ecosystems of the Sierra de Gata mountains, Province of Salamanca, Spain. *Arid. Soil Res. Rehabil.* 10: 299-305.
- MORENO, G.; GALLARDO, J.F.; INGELMO, F. & CUADRADO, S.; 1996. Soil water budget in four *Quercus pyrenaica* forest across a rainfall gradient. *Arid Soil Res. Rehabil.* 10: 65-84.
- PARK, H. & MIN, K.H.; 2003. Lignin degradation of pine wood by unidentified decay fungi and observation by scanning electron microscope. *Wood Sci. Technol.* 31: 71-80.
- SCHNITZER, M. & SCHUPPLI, P.; 1989. The extraction of organic matter from selected soils an particle size fractions with 0.5 Na OH an 0.1 Na₄P₂O₇ solutions. *Can. J. Soil Sci.* 69: 53-262
- STEVENSON, F.J.; 1994. *Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions* 2nd ed. J. Wiley. New York. 496 pp.
- TURRION, M.B.; GALLARDO, J.F. & GONZÁLEZ, M.I.; 1997. Nutrient availability in forest soils a measured with exchange membranes. *Geomicrobiol. J.* 14: 51-64
- TURRION, M.B.; GALLARDO, J.F. & GONZALEZ, M.I.; 2002. Relationship between organic and inorganic P fractions with soil Fe and Al forms in forests soils of *Sierra de Gata* Mountains. In: A. VIOLANTE et al. (ed.), *Development in Soil Science* 28A: 297-310. Elsevier, Amsterdam.