

MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE BOSQUES SABINEROS (*Juniperus thurifera* L.)

J. GONZÁLEZ¹, M.A. CANDÁS¹

Departamento de Edafología. Facultad de Farmacia. Univ. Complutense Madrid

Abstract. Soils under Spanish junipers (*Juniperus thurifera* L.) located in Arevalillo de Cega (calcareous material) and Pedraza (gneiss), two villages in the east of the province of Segovia (Spain) were studied. The soils exhibited the following horizon sequence: O, Ah, C; O1, O2, Ah, C; and O, Ah1, Ah2, C. These ecosystems have borne strong human impacts through pasturage and agricultural practices; in both areas, trees play a prominent ecological role and constitute the principal ecosystem compartment as regards the carbon and nitrogen contents. We determined the characteristics (texture, pH, CEC, macronutrient concentration) of the soils developed on both type of lithological material, as well as the organic C and total N contents in tree leaves and organic (O) and organo-mineral (Ah) horizons. Organic matter was fractionated in order to determine the proportions of free C and N relative to the total C and N contents (91% and 89%, respectively) in the O horizons. These proportions were lower (53% and 54%, respectively) in the deeper Ah horizons.

Carbon from fulvic acids was found to prevail over that from humic acids in relation to total C, both increasing with increasing depth. The proportion of non-extractable humin (H2) exceeded that of extractable humin and, again, both increased with increasing depth. The proportion of inherited humin (H3) was always lower than that of insolubilized humin (H1 + H2) in relation to total C. The humus was of the calcic Mor- Moder type. The proportion of humic acids extracted by different agents in relation to bound C decreased in the following sequence: sodium hydroxide > pyrophosphate > tetraborate (with increasing polymerization) and hence increasing degree of humification.

The proportions of mineralized carbon and nitrogen relative to total C and N, and the degree of nitrification, were all higher in the Ah horizons of the soils developed on limestone than on those developed on gneiss. Also, the proportions of mineralization per day were higher for carbon than for nitrogen.

Keywords: Organic matter, mineralization, Spanish juniper (*Juniperus thurifera* L.) woods.

Resumen. Se han estudiado suelos bajo sabinas (*Juniperus thurifera* L.) situados en Arevalillo de Cega (material calizo) y Pedraza (neis), localidades al este de la provincia de Segovia (España). Presentan las siguientes secuencias de horizontes: O, Ah, C; O1, O2, Ah, C y O, Ah1, Ah2, C. Estos ecosistemas han sufrido un fuerte impacto humano debido a pastoreo y prácticas agrícolas. Se han determinado las propiedades características de los suelos desarrollados sobre ambos tipos de material litológico (textura, pH, CIC, concentración en macroelementos) y los contenidos en C orgánico y N total en hojas de sábina, horizontes orgánicos (O) y órgano minerales (Ah). Se ha fraccionado la materia orgánica determinando los porcentajes de C y N libres respecto a los contenidos totales de C y N (91 % y 89 % respectivamente, en horizontes O). Estos porcentajes son similares en cada horizonte, disminuyendo C y N libres en horizontes Ah más profundos (53 % y 54 % respectivamente).

Existe predominio de C de ácidos fúlvicos (AF) sobre C de ácidos húmicos (AH) respecto al C total, incrementando ambos porcentajes con la profundidad. Es mayor el porcentaje de humina no extraíble (H2) que el de humina extraíble (H1), aumentando ambas fracciones con la profundidad. La humina heredada (H3) en relación al C total siempre es menor que la humina de insolubilización (H1+H2). El tipo de humus es "moder - mor cálcico". En horizontes Ah más profundos, el porcentaje de ácidos húmicos en relación al C ligado extraídos con diferentes extractantes sigue la secuencia: Hidróxido sódico>pirofosfato>tetraborato, lo que supone una mayor polimerización, siendo más elevado el grado de humificación.

Los porcentajes de mineralización de carbono y nitrógeno respecto a los contenidos totales de C y N, y el porcentaje de nitrificación, son más elevados en horizontes Ah de suelos desarrollados sobre caliza que sobre neis. Los porcentajes de mineralización / día de carbono son superiores a los de nitrógeno.

Palabras clave: Materia orgánica, mineralización, sabinares (*Juniperus thurifera* L.)

INTRODUCCIÓN

La sabina albar (*Juniperus thurifera* L.) constituye una de las especies más interesantes y genuinas del Mediterráneo occidental. Las principales masas peninsulares de sabina albar se concentran en las altas parameras calcáreas de las provincias de Burgos, Segovia, Soria, Guadalajara, Cuenca y Teruel, así como en los Montes Universales, Sierras albaceteñas, depresión del Ebro y algunos valles palentino-leoneses de la vertiente meridional de la Cordillera Cantábrica (Rivas Martínez, 1969).

La distribución de la sabina albar en la Península Ibérica orienta acerca de los factores ecológicos que han condicionado y determinado su permanencia, a pesar de la intensa acción antrópica a la que han estado sometidos estos bosques a través de los tiempos. Las altas parameras ibéricas constituyen el óptimo biológico de la sabina albar, con altitudes comprendidas entre 1000-1100 m y condiciones climáticas adversas, pocas precipitaciones estivales y rigurosos inviernos.

La casi totalidad de bosques de sabina albar se desarrolla sobre materiales calizos cretácicos, aunque existen sabinares sobre material silíceo tipo neis, como el de Pedraza (Segovia), el de Tamajón (Guadalajara) y el sabinar de Lozoya (Madrid), éste representa un residuo del bosque existente en el interior peninsular con un clima muy frío y seco propio de las fases interglaciares, hoy en día se encuentra en franca regresión en gran medida debido al intenso pastoreo (Izco, 1984; Rivas Martínez e Izco, 1987).

Fuera de la Península Ibérica existen importantes núcleos de sabina albar en los Alpes suroccidentales (Francia) en los valles del Isère y del Drôme. Otros enclaves más dispersos aparecen en los Alpes marítimos (Archiloque y Borel, 1965; Ozenda, 1985;

Barbero, 1981). El intervalo altitudinal es muy amplio comprendido entre los 300 m hasta 1200 m en los Alpes. En Córcega, la sabina albar se encuentra confinada en valles interiores, con cumbres de unos 2500 m, que actúan como pantalla de la influencia marítima atenuando las precipitaciones y acentuando la continentalidad. En el norte de África, la sabina albar se circunscribe al Atlas Medio y a los tramos oriental y central del Alto Atlas, a altitudes comprendidas entre 1700 m y 2400 m, pudiendo llegar a los 3000 m (Quézel, 1957, Quézel y Barbero, 1981). Está formando bosques muy poco densos (40 a 50 árboles/ha) atribuible a la intensa acción antrópica y a la lentitud de crecimiento de ésta especie (Fromard y Gauquelin, 1993).

En general los bosques sabineros no desarrollan una cobertura continua, se trata de bosques abiertos en los que la especie arbórea dominante es *J. thurifera* (Fotos 1 y 2). En éstas áreas la heterogeneidad edáfica es muy grande por la existencia de un microedafismo (Gauquelin y Dagnac, 1988) estrictamente localizado bajo la cubierta de la sabina condicionado por los aportes de restos orgánicos. La producción de hojarasca en el Alto Atlas occidental bajo esta especie es del orden de $1100 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$, produciendo gran concentración de elementos minerales (160 kg/ha/cubierta/año) (Gauquelin et al., 1992). La concentración de nutrientes en hojas es significativamente más elevada que en otras partes del árbol con la siguiente secuencia: $\text{Ca} \gg \text{N} > \text{K} > \text{Mg}$ (Montès et al., 2002). La fuerte concentración de Ca determina el incremento de pH en el horizonte superior del suelo, sobre todo cuando se desarrollan sobre materiales ácidos (Candás, 1988; Gauquelin et al., 1998). Estos nutrientes no se presentan fuera de la influencia de la sabina al no existir horizontes orgánicos siendo patentes los fenómenos erosivos (González y Candás, 1991) (Foto 3)



FOTO 1. Vista general de un bosque de sabinas.

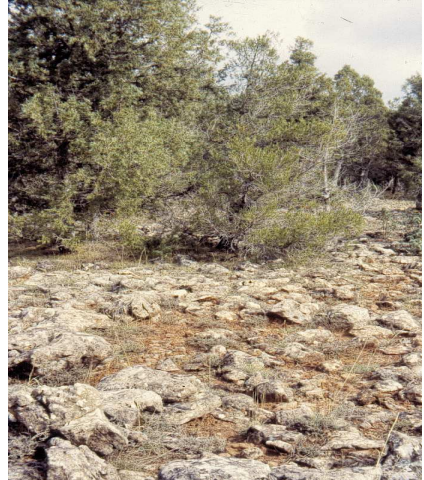


FOTO 3. Aspecto del suelo erosionado fuera de la protección de la sabina



FOTO 2. Ejemplar de sabina bien desarrollada



FOTO 4. Perfil bajo sabina con un potente horizonte de acumulación de hifas

En los bosques sabineros solo localmente se llegan a entrelazar las copas conservándose pequeñas áreas en las que la densidad arbórea es elevada, siempre que no haya existido acción antrópica. No cabe duda que los límites del sabinar son hoy mucho más reducidos de lo que lo fueron en la antigüedad. Durante el Cuaternario, en condiciones más frías y xéricas que las actuales, debieron conocer estos bosques expansiones más amplias; su retroceso frente a otros bosques se debería al incremento de la pluviosidad acaecido durante la última fase postglaciar. Las características del relieve peninsular con importantes cordilleras periféricas y elevadas mesetas internas han permitido el desarrollo de rasgos climáticos continentales que presumiblemente han favorecido la pervivencia y distribución actual de los bosques de sabinas (Rivas Martínez, 1969).

Costa et al. (1987) estudiaron el determinismo ambiental en las formaciones de sabinar diferenciando los siguientes tipos: Sabinares de altas montañas (altitudes entre 1400-1800 m.), están constituidos por pies dispersos de unos 4 m, de porte cónico. Sabinares de parameras, bajo condiciones climáticas más xéricas y menos frías que los anteriores. Sabinares de vaguadas y adhesados, entre otros.

Las deforestaciones masivas practicadas con fines agropecuarios durante el Holoceno han favorecido el avance de otros bosques a costa de los sabinares, debido a su lenta regeneración a lo que ha contribuido el ser especialmente sensibles al fuego por su naturaleza resinosa. El que hayan sobrevivido e incluso con tendencia a regenerarse, en áreas cuyas prácticas agrícolas fueron abandonadas tal vez se deba a la gran vitalidad y resistencia de esta especie (Candás, 1988; Allende et al., 1999). Al mismo tiempo las acciones antrópicas llevadas a cabo en éstas zonas (cultivo y pastoreo) han condicionado las características abiertas que mantienen en la actualidad los

bosques sabineros, siendo acusados los fenómenos de erosión eólica y pluvial. Dada la significación que la sabina albar tiene en los ecosistemas mediterráneos de Comunidades castellanas y su papel en la conservación del suelo fue el motivo que impulsó a la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha a su protección mediante Decreto (D.O.C.M. nº 9, 1987).

El objetivo de este trabajo ha sido determinar los contenidos en C orgánico, N y porcentajes de mineralización de ambos elementos en los diferentes horizontes (orgánicos y órgano-minerales) de suelos desarrollados bajo la influencia de la sabina albar. Asimismo se ha estudiado la naturaleza de la materia orgánica mediante fraccionamiento con extractantes químicos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Características de la zona de estudio

Los dos sabinares estudiados se localizan al este de la provincia de Segovia, uno situado en "La Lastra" en el término de Arevalillo de Cega, y otro en Pedraza. El material litológico del primero corresponde a calizas del Cretácico superior, siendo rocas metamórficas, tipo neis, el de Pedraza (IGME, 1980) sobre las que se desarrolla un bosque mixto de sabinas y encinas. La vegetación de estas áreas pertenece a las siguientes unidades fitosociológicas (Rivas Martínez, 1969; 1987): Sabinares albares (*Juniperetum hemisphaerico-thuriferae*) y encinares supramediterráneos silicícolas con *Juniperus thurifera* (*Junipero oxycedri-Quercetum rotundifoliae*, subass. *Juniperetosum thuriferae*, Fernández González, 1988). En la zona caliza muestreada (10 parcelas de 100 m²) la densidad arbórea es heterogénea, $x = 23$ árboles/100 m² (9-34), con una altura media de 2,5 m. El incremento medio anual de diámetro es de 2,1 mm (Candás, 1988). La zona se encuentra en una paramera entre 1000-1100 m de altitud. La precipitación es

de 478 mm (estación meteorológica de Pajares de Pedraza, altitud 960 m). La temperatura media de las máximas del mes más frío es 8,5° C y la media de las mínimas de este mes es 1,2° C (media de 15 años, datos inéditos de Arevalillo de Cega, altitud 980 m).

Se han tomado muestras de hojas de sabina, y de horizontes superficiales (horizontes O) y subsuperficiales (horizontes órgano-minerales Ah) de suelos desarrollados bajo su influencia (a 30 cm del tronco) con la siguientes secuencias de horizontes: O, Ah, C y O, Ah1, Ah2, C. En algunos perfiles existe entre los horizontes O y Ah, un subhorizonte orgánico bien diferenciado constituido por hifas, (Foto 4) siendo la secuencia: O1, O2, Ah1, Ah2, C. El horizonte orgánico suele presentar un espesor de 2 cm, aunque es variable, la profundidad de Ah1 es de 0-2 cm y de 2-20 cm la del horizonte Ah2. Los suelos son de tipo Leptosol, diferenciándose en la zona L rendzicos y L. móllicos (FAO, 1998).

También se muestrearon suelos localizados fuera de la cobertura de la sabina, en parcelas ya abandonadas que habían sido sometidas a cultivo: Horizonte Ap (0-20 cm).

Métodos analíticos

Se han llevado a cabo las siguientes determinaciones analíticas: Análisis granulométrico (método de la pipeta de Robinson) en horizontes Ah (0-20cm) obteniéndose cuatro fracciones: arena gruesa (2-0,2 mm), arena fina (0,2-0,02 mm), limo (0,02-0,002 mm) y arcilla (< 2 μ); capacidad de intercambio catiónico (acetato amónico a pH=7); pH en agua (1:2,5) determinado en todos los horizontes; P asimilable se determinó en horizontes O y Ah, como complejo fosfomolibdico (espectrofotometría) después de dos extracciones sucesivas con H₂SO₄ diluido y NaOH 0,1N (Duchaufour, 1975); análisis químico de macroelementos por espectrometría de fluorescencia de rayos

X; N total (método Kjeldahl) y C orgánico mediante oxidación con dicromato potásico y valoración automática en pH-metro (Metrohm, 632) (Gutián Ojea y Carballas, 1976).

Fraccionamiento de materia orgánica: Se ha realizado mediante separación densimétrica, usando mezcla bromoformo-etanol, $d=1,84 \text{ gcm}^{-3}$ (Duchaufour y Jacquín, 1966), determinándose C y N en las fracciones ligada o densa, libre y soluble. Después de una agitación ultrasónica, en el sobrenadante se encuentra la fracción (H3) denominada humina heredada (Védy, 1973). Sobre la fracción ligada en algunos suelos se ha llevado a cabo una extracción química secuencial con los siguientes reactivos: 1) Na₂B₄O₇ 0,1N a pH=9,7 (Bruckert, 1979). 2) Na₄P₂O₇ 0,1N a pH=9,8. 3) NaOH 0,1N a pH=12. Después de cada extracción por acidificación precipitan los AH y se determina el C correspondiente a ácidos fúlvicos (AF) y ácidos húmicos (AH). 4) Extracción con hidróxido sódico 0,1 N, después del tratamiento con ditionito y (HF+HCl) 1N. Así se extrae la fracción humina de insolubilización (H1). 5) En el residuo una vez seco se determina el C correspondiente a la humina de insolubilización H2, fracción no extraíble (Hoyos et al., 1982).

Mineralización de C y N: Se ha llevado a cabo mediante incubación "in vitro" de muestras de suelo durante 7 días para el carbono y durante 6 semanas para el nitrógeno, ajustando la humedad al 80 % de la humedad equivalente (Lemée, 1967; Billès *et al.*, 1971) y a una temperatura de 28°C (Tosca y Labroue, 1986). La extracción de NO₃⁻ y NH₄⁺ se lleva a cabo con una solución de K₂SO₄ 0,5 N (Djellali *et al.*, 1985) y se determinan por colorimetría (Espectrofotómetro Bauch-Lomb).

Los estadísticos descriptivos se han obtenido usando SPSS versión 10 (SPSS, Chicago, INC).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos bajo sabinas desarrollados sobre material calizo presentan mayores proporciones de arcilla (media = 26,3%) que

los desarrollados sobre neis (media = 7,5 %) siendo muy elevado en los últimos el porcentaje de arena total (Tabla 1).

TABLA 1. Valores estadísticos de análisis granulométrico, pH, capacidad de intercambio catiónico y P_2O_5 en suelos desarrollados bajo sabinas en dos tipos de sustrato (caliza y neis)

MATERIAL	N	Media	Error típico	Mínimo	Máximo	Des. típica	Varianza
<i>Caliza</i>							
A.gruesa %	13	4,40	1,09	1,00	14,40	3,95	15,60
A.fina %	13	56,20	2,19	45,10	71,00	7,91	62,60
Limo %	13	13,00	0,95	7,10	18,50	3,43	11,80
Arcilla %	13	26,30	1,95	14,50	41,60	7,03	49,50
pH	32	7,68	0,10	5,72	8,50	0,60	0,40
CIC cmol kg ⁻¹	13	35,00	3,25	14,50	51,10	11,73	137,00
P ₂ O ₅ g kg ⁻¹	12	0,53	0,13	0,12	1,50	0,47	0,22
<i>NEIS</i>							
A.gruesa %	6	52,00	1,54	47,90	58,10	3,78	14,20
A.fina %	6	31,80	1,12	27,00	34,40	2,75	7,50
Limo %	6	8,40	1,16	6,20	12,70	2,84	8,10
Arcilla %	6	7,50	0,93	4,90	10,50	2,28	5,20
pH	8	7,56	0,07	7,22	7,79	0,20	0,04
CIC cmol kg ⁻¹	8	17,30	0,68	14,40	20,60	1,94	3,78
P ₂ O ₅ g kg ⁻¹	8	0,86	0,26	0,12	2,00	0,75	0,57

El valor medio de pH es superior a la neutralidad, siendo ligeramente más elevado en suelos sobre caliza, los valores mínimos (pH = 5,72) corresponden a los subhorizontes orgánicos con gran acumulación de hifas (González y Candás, 1991). La presencia de esta capa miceliar de hongos con reacción ácida es característica de todos los bosques sabineros (González et al, 1991;1992). La media de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es mayor en suelos sobre caliza que sobre neis, siendo el valor medio de fósforo asimilable (P₂O₅) algo más elevado sobre material neísico (Tabla 1), los horizontes superficiales (h.O) presentan los valores más altos en todos los suelos (Candás, 1988).

Los suelos situados fuera de la influencia de la sabina han perdido el horizonte orgánico, presentando en el horizonte Ap (0-20 cm) los siguientes valores medios: C orgánico = 0,75 %, N total = 0,060 %, C/N = 12,5.

En la Tabla 2 se pone de manifiesto el elevado porcentaje en CaO que presenta el horizonte O, incluso ligeramente superior al Al₂O₃. El contenido en macroelementos (incluido el CaO) es muy similar en horizontes orgánicos de suelos sobre calizas (González y Candás, 1991) y sobre neis, presentando mayor porcentaje de SiO₂ y menor de CaO los horizontes Ah de suelos sobre neis que sobre caliza.

TABLA 2. Contenido en macroelementos (%) en horizontes superficiales (h.O) y órgano minerales (Ah) de suelos bajo sabinas en dos tipos de sustrato (caliza y neis)

Componente %	Caliza		Neis	
	Horizonte O	Horizonte Ah	Horizonte O	Horizonte Ah
SiO ₂	28,66	47,72	30,60	65,00
Al ₂ O ₃	7,26	12,77	6,48	14,66
Fe ₂ O ₃	3,80	4,58	2,12	2,23
MgO	1,53	2,14	0,69	0,88
CaO	7,74	4,24	7,17	1,04
K ₂ O	2,65	3,17	2,62	4,06
P ₂ O ₅	0,66	0,40	0,40	0,19
TiO ₂	0,46	0,60	0,32	0,35
MnO	0,10	0,12	0,09	0,04
Na ₂ O	0,00	0,09	0,25	1,42

Los contenidos medios en C orgánico (Tabla 3) siguen la secuencia: hojas (469 g kg⁻¹) > horizonte O (218 g kg⁻¹) > horizonte Ah (38 g kg⁻¹). El N total presenta los siguientes valores medios: hojas = 10 g kg⁻¹, horizonte O = 10,5 g kg⁻¹, horizonte Ah = 2,71 g kg⁻¹. La elevada proporción en N constituye una característica de los restos orgánicos de la sabina y de los suelos desarrollados bajo ésta especie arbórea y como consecuencia la relativamente baja relación C/N (media=20) que presentan los horizontes superficiales; la acumulación de restos sin descomponer y la falta de estructura de estos horizontes orgánicos indican una lenta humificación. Por debajo existe un horizonte órgano mineral (Ah) que mantiene elevada proporción de C. orgánico con un valor medio de la relación C/N = 14,5 lo que significa una mayor transformación de los restos vegetales. Todas estas características indican la presencia de un humus intermedio “mor a moder cálcico” cuya evolución está condicionada por la naturaleza de la vegetación, factores climáticos (frío y sequía) y contenido en calcio aportado por la misma vegetación o proporcionado por un material carbonatado que frena la descomposición de los restos vegetales.

Gauquelin et al. (1992) estudiaron los aportes de elementos minerales al suelo por intermedio de la hojarasca en un bosque de *Juniperus thurifera*, observando que el total de macroelementos (Ca, N, Mg, K, Na) aportados era de 33 g m² de cubierta año⁻¹, con un aporte de 19 g de Ca y 10 g de N, lo que indica la riqueza en estos elementos de la sabina y, como consecuencia, las características de los suelos que están bajo su influencia, con pH superior a la neutralidad y porcentaje de saturación elevado aunque se desarrollen sobre material ácido (Candás, 1988).

En la Tabla 4 se expresan los valores estadísticos de los contenidos en C y N de la fracción libre, la relación C/N y porcentajes respecto a contenidos totales, en horizontes con mayores proporciones de materia orgánica (O1, O2 y Ah1). Todos presentan la misma relación C/N (media = 21). La cantidad de C libre es superior al 91 % del total en los horizontes superficial (O1) y de hifas (O2), siendo el 53 % en Ah1, lo que evidencia una mayor transformación de la materia orgánica en el horizonte órgano mineral Ah1. El N de la fracción libre sigue la misma dinámica que el C con porcentajes respecto al total muy similares a los del C

orgánico (observándose un valor medio algo superior en el horizonte de hifas que en O1).

TABLA 3. Valores estadísticos de contenidos en C orgánico (g kg^{-1}), N (g kg^{-1}), H (g kg^{-1}) y relaciones C/N en hojas de sabina albar, en horizontes superficiales (h. O) y horizontes órgano minerales (Ah) de suelos bajo sabinas

Muestras	Media	Error típico	Mínimo	Máximo	Des. típica	Varianza
Hojas (N=10)						
C	469	4,44	448	498	14,03	196
N	9,81	0,31	8,7	11,5	0,99	0,98
C/N	48	1,58	41	51	5,01	25,07
H	64	0,58	62	68	1,84	3,38
Hor. O (N=15)						
C	218	15,41	95	313	59,67	3560
N	10,57	0,69	5,5	15,0	2,68	7,17
C/N	20	0,42	17	23	1,63	2,67
Hor. Ah (N=12)						
C	37,60	4,83	15,50	69,60	16,74	280,40
N	2,71	0,35	0,67	5,10	1,22	1,48
C/N	14,50	1,32	5,00	23,70	4,58	20,98

TABLA 4. Valores estadísticos de contenidos en carbono libre (%), N libre (%). Relación C/N y porcentajes de C libre y N libre respecto al C total y N total en horizontes orgánicos (O1, O2) y órgano-minerales Ah1 (0-2cm)

Muestras	Media	Error típico	Mínimo	Máximo	Des. típica	Varianza
Horizonte O1 (N= 8)						
C libre	17,37	1,98	8,48	24,50	5,62	31,66
N libre	0,81	0,08	0,48	1,11	0,25	0,06
C/N	21,00	0,69	17,00	23,00	1,96	3,84
C.100/Ct	91,50	1,97	84,00	97,00	5,58	31,14
N.100/Nt	89,00	2,49	76,00	96,00	7,05	49,71
Horizonte O2 Hifas (N= 4)						
C libre	21,08	1,38	18,20	24,50	2,77	7,67
N libre	0,98	0,09	0,80	1,11	0,16	0,02
C/N	21,70	1,38	19,00	23,50	2,40	5,76
C.100/Ct	93,40	3,30	83,60	97,60	6,60	43,58
N.100/Nt	94,80	0,20	94,5	95,2	0,35	0,12
Horizonte Ah1 (N=7)						
C libre	3,18	1,10	0,92	9,29	2,91	8,47
N libre	0,11	0,05	0,04	0,21	0,08	0,007
C/N	20,73	2,71	17,3	26,1	4,71	22,2
C.100/Ct	53,40	6,25	25,2	69,00	16,54	273,47
N.100/Nt	54,00	2,59	47,80	60,00	5,20	27,00

Los contenidos en C y N de la fracción ligada (Tabla 5) presentan valores medios más elevados en el horizonte Ah1 que en

horizontes orgánicos, como era de esperar, siendo los más bajos en el horizonte de hifas (O2). La relación C/N es 14 en Ah1 y algo

superior en O2. Los porcentajes de C y N ligado respecto a los contenidos totales difieren mucho en horizontes orgánicos y horizonte órgano mineral (Ah1) siendo mucho más elevados en éste último; los

valores más bajos se presentan en el horizonte de hifas. En todos los horizontes el porcentaje de N ligado respecto al total es mayor que el porcentaje de C.

TABLA 5. Valores estadísticos de contenidos en carbono ligado (%), N ligado (%). Relación C/N y porcentajes de C ligado y N ligado respecto al C total y N total en horizontes orgánicos (O1, O2) y órgano minerales Ah1 (0-2cm)

Muestras	Media	Error típico	Mínimo	Máximo	Des. Típica	Varianza
Horizonte O1 (N= 8)						
C ligado	1,21	0,20	0,58	2,00	0,58	0,34
N ligado	0,09	0,01	0,04	0,17	0,04	0,002
C/N	14,00	0,88	12,00	16,00	1,98	3,91
C.100/Ct	7,42	1,68	2,39	15,15	4,75	22,63
N.100/Nt	11,00	3,69	4,8	25,00	8,25	68,13
Horizonte O2 (N= 4)						
C ligado	1,01	0,29	0,60	1,80	0,59	0,34
N ligado	0,05	0,006	0,04	0,06	0,01	0,00
C/N	15,70	0,34	15,00	16,00	0,59	0,34
C.100/Ct	4,89	1,59	2,39	7,87	2,77	7,67
N.100/Nt	5,13	0,20	4,80	5,50	0,35	0,12
Horizonte Ah1 (N = 7)						
C ligado	2,30	0,45	0,59	3,66	1,20	1,45
N ligado	0,11	0,06	0,03	0,23	0,11	0,01
C/N	13,6	2,33	10,70	20,60	4,67	21,81
C.100/Ct	42,00	5,47	24,14	72,80	15,47	239,42
N.100/Nt	46,00	3,29	40,00	55,20	6,57	43,29

Fraccionamiento de la materia orgánica

Se ha llevado a cabo el fraccionamiento completo de la materia orgánica de horizontes orgánicos (2-0 cm) y órgano minerales Ah1 (0-2 cm, con acumulación de hifas) y Ah2 (2-20 cm) de tres perfiles bajo sabinas desarrollados sobre calizas; los valores medios vienen representados en las Figuras 1 a 4. Al profundizar incrementa el porcentaje de C ligado respecto al total disminuyendo tanto el C libre como el soluble, consecuencia de una mayor humificación (Fig. 1).

A partir de la fracción ligada o pesada, por extracción secuencial y precipitación se han diferenciado los distintos componentes húmicos, existiendo un predominio de C_{AF} sobre C_{AH} con relaciones C_{AF}/C_{AH} de 4,8

(2-0 cm), 3,4 (0-2 cm) y 3,5 (2-20 cm) lo que indica la baja polimerización (Candás, 1988). En todos los horizontes el porcentaje de C_{AF} respecto al C total es mucho mayor que el de C_{AH} , incrementando ambos con la profundidad (Fig.2). El porcentaje de humina de insolubilización no extraíble (H2) respecto al C total es mayor que el de la extraíble o ligada a hierro y arcilla (H1) (Velasco y Rio, 1977; Rodríguez y Velasco, 1988) y ambas formas incrementan al profundizar. La fracción extraíble representa el 26% y 32% del total de la humina de insolubilización en horizontes Ah1 y Ah2 respectivamente (Candás, 1988). El porcentaje de H3 (humina residual) respecto al C total es menor que el de la humina de insolubilización (H1+H2) (Fig. 2). El

porcentaje de C_{AF} en relación al C ligado obtenido con los tres extractantes sigue la siguiente secuencia: Tetraborato > Pirofosfato > Hidróxido sódico, lo que indica el predominio de AF de baja polimerización. El porcentaje de C_{AH} en el horizonte Ah2 (2-20 cm) sigue la secuencia (Fig 3): Tetraborato < Pirofosfato < Hidróxido sódico, es decir al profundizar los ácidos húmicos son más polimerizados y se extraen fundamentalmente con hidróxido sódico.

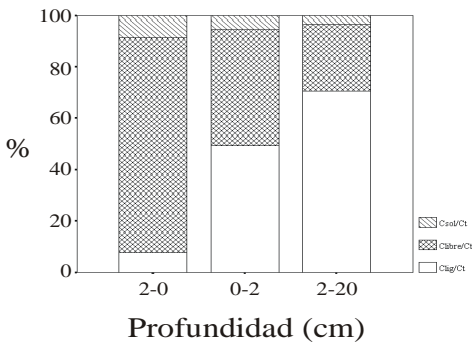


FIGURA 1. Porcentajes de carbono soluble, C libre y C ligado respecto al C total a distintas profundidades de suelos bajo sabinas desarrolladas sobre roca caliza

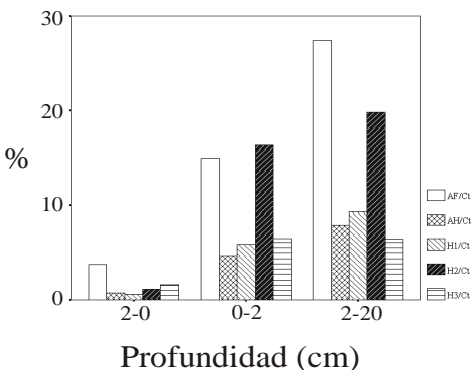


FIGURA 2. Porcentajes de C de ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) y huminas (H1, H2, H3) respecto al C total a distintas profundidades de suelos bajo sabinas desarrolladas sobre roca caliza

El grado de humificación viene dado por la relación $C_{(AF+AH+H1+H2)}/C_{total} \cdot 100$ (Vedy, 1973). Los valores que se obtienen son los siguientes: Horizontes orgánicos (2-0 cm) = 6,25; Horizontes órgano minerales (0-2 cm) = 41,71 y Horizontes órgano minerales (2-20 cm) = 64,50.

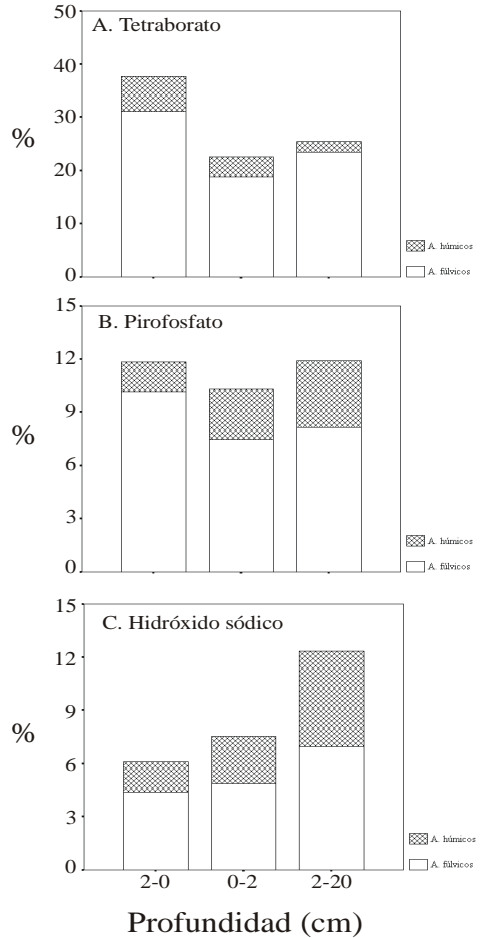


FIGURA 3. Porcentaje de C de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos extraídos con Tetraborato, Pirofosfato e Hidróxido sódico a distintas profundidades.

Al profundizar aumenta el porcentaje de humificación (Fig. 4), si bien en todos los horizontes existe predominio de los compuestos menos polimerizados (AF) sobre los más polimerizados (AH).

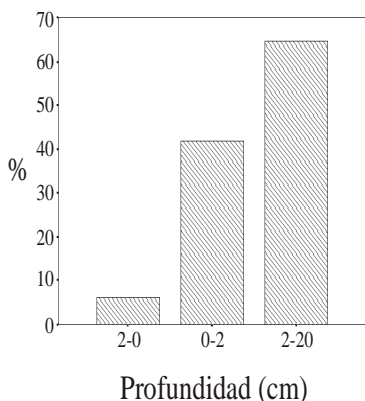


FIGURA. 4. Porcentaje de Humificación a distintas profundidades de suelos bajo sabinas desarrollados sobre roca caliza.

Mineralización de Carbono y Nitrógeno

En horizontes orgánicos el valor medio del porcentaje C-CO₂ respecto al C total (Tabla 6) es 3,2 (1,9%-5,4%) correspondiendo el máximo valor a un horizonte con acumulación de hifas, éste porcentaje es más elevado en horizontes Ah de suelos desarrollados sobre caliza (1,79 %) que sobre neis (1,06 %). El desprendimiento

de CO₂ está relacionado con la cantidad de hojarasca aportada por la vegetación, el balance entre el CO₂ desprendido y proporción en materia orgánica constituye la reserva carbonada del suelo, lo que supone que la respiración está ligada a la presencia de una materia orgánica más fácilmente biodegradable (Billès et al. 1971; 1975). En medios con complejo saturado en Ca, la biodegradación de la materia orgánica es lenta, estando frenada la mineralización de carbono y nitrógeno, incluso la humina heredada y los AF precipitados por el ión calcio resisten la biodegradación (Linéres, 1977).

El porcentaje de mineralización de nitrógeno (N min.100/Nt) sigue la secuencia: horizontes Ah (caliza) > horizontes Ah (neis) > horizontes O, con los siguientes valores medios: 2,72 - 1,44 - 0,72. El grado de mineralización de N en horizontes de acumulación de materia orgánica está relacionado con el tipo de humus, en humus mull, la amonificación y nitrificación tienen lugar a un ritmo mucho más rápido que en humus menos evolucionados (Toutain, 1974). La mineralización es elevada si el contenido en N es alto, la relación C/N de la materia orgánica determina la potencialidad de la microflora a la mineralización de N (Billès et al. 1975). El porcentaje de NO₃⁻ respecto al total de N mineralizado (grado de nitrificación) es superior en horizontes Ah de suelos sobre caliza (82,5%) que en horizontes Ah de suelos sobre neis (47,2 %); los horizontes orgánicos presentan valores medios intermedios.

TABLA 6. Mineralización de carbono (CO₂) a los 7 días de incubación. Porcentaje de CO₂ respecto a C total en horizontes orgánicos (2-0 cm) y órgano minerales Ah sobre caliza y neis. Valores estadísticos

Muestras	Media	Error típico	Mínimo	Máximo	Des.típica	Varianza
Horizonte O (N=7)						
C-CO ₂ (mg/100g)	641,17	161,61	241,00	1361,00	395,87	156715
CO ₂ /Ct	3,20	0,50	1,90	5,40	1,24	1,53
Horizonte Ah (N=6) Caliza						
C-CO ₂ (mg/100g)	49,03	7,05	26,87	66,15	17,29	298,98
CO ₂ /Ct	1,79	0,31	0,87	2,78	0,78	0,61
Horizonte Ah (N=4) Neis						
C-CO ₂ (mg/100g)	21,50	2,59	16,60	25,40	4,48	20,11
CO ₂ /Ct	1,06	0,02	1,03	1,12	0,05	0,002

TABLA 7. Mineralización de nitrógeno (N-NH₄⁺) (N-NO₃⁻) después de 6 semanas de incubación. Porcentaje de mineralización y nitrificación en horizontes orgánicos (2-0 cm) y órgano minerales Ah (2-20 cm) sobre caliza y neis. Valores estadísticos.

Muestras	Media	Error típico	Mínimo	Máximo	Des.típica	Varianza
Horizonte O (N= 7)						
N-NH ₄ ⁺ (mg/100g)	1,44	0,21	0,75	2,25	0,56	0,32
N-NO ₃ ⁻ (mg/100g)	5,08	2,16	0,82	15,28	5,72	32,75
N min/Nt	0,72	0,24	0,22	1,77	0,65	0,43
NO ₃ /N min	62,43	8,39	38,00	95,00	22,19	492,28
Horizonte Ah (N=10) Caliza						
N-NH ₄ ⁺ (mg/100g)	0,47	0,06	0,25	0,83	0,20	0,04
N-NO ₃ ⁻ (mg/100g)	4,51	1,35	0,25	13,00	4,27	18,28
N min/Nt	2,72	0,48	0,36	4,88	1,53	2,35
NO ₃ /N min	82,50	6,07	30,00	96,00	19,20	368,72
Horizonte Ah (N = 5) Neis						
N-NH ₄ ⁺ (mg/100g)	0,72	0,13	0,54	1,26	0,30	0,09
N-NO ₃ ⁻ (mg/100g)	0,68	0,21	0,30	1,50	0,47	0,22
N min/Nt	1,44	0,21	0,77	2,00	0,46	0,22
NO ₃ /N min	47,20	8,67	17,00	70,00	19,38	375,70

Si se consideran los porcentajes de mineralización (día) de carbono y nitrógeno se obtiene que son mayores los porcentajes

de mineralización de C que los de N en todos los horizontes (Tabla 8).

TABLA 8. Porcentajes de mineralización diaria de C y N.

	CO ₂ /Ct	N min /Nt	NO ₃ /N min
Horizonte O	0,46	0,02	1,49
Horizonte Ah. Caliza	0,25	0,06	1,96
Horizonte Ah.	0,15	0,03	1,12

CONCLUSIONES

Los suelos bajo sabinas desarrollados sobre material calizo presentan mayor proporción de arcilla, más elevada CIC, valores medios de pH ligeramente superiores y menor contenido en P_2O_5 que los suelos sobre neis.

Los contenidos en macroelementos (incluido el CaO) son semejantes en horizontes O de suelos sobre calizas y sobre neis. Existiendo diferencias en horizontes Ah.

Los porcentajes de C y N libre respecto al C y N total son mucho más elevados que los de C y N ligado respecto al total, tanto en horizontes orgánicos (O) como en horizontes órgano minerales (Ah). En horizontes Ah, disminuyen los porcentajes de C y N libre y aumentan los porcentajes de C y N ligados respecto a los horizontes orgánicos.

El porcentaje de humificación es mayor en horizontes más profundos (Ah). Existe predominio de los componentes menos polimerizados (AF) en relación a los más polimerizados (AH), siendo mayor el porcentaje respecto al C total, de humina de insolubilización no extraíble (H2) que el de humina de insolubilización extraíble (H1) en todos los horizontes.

La morfología, parámetros químicos, relaciones C/N y datos bioquímicos indican la existencia de una materia orgánica con humus tipo intermedio "mor a moder cálcico".

En las condiciones experimentales llevadas a cabo se pone de manifiesto que: el porcentaje de mineralización de C es superior en horizontes O que en Ah y ligeramente mayor en suelos sobre caliza que sobre neis. El porcentaje de mineralización de N es superior en Ah que en horizontes orgánicos, y mayor en suelos sobre caliza que sobre neis. El porcentaje de nitrificación es mayor en suelos sobre caliza que sobre neis. Los

porcentajes de mineralización (1 día) de C son mayores que los de N.

Existe acumulación de C y N, ya que se trata de una materia orgánica relativamente estable la que caracteriza estos suelos. La conservación y regeneración de estos bosques actuarían frenando la erosión edáfica y contribuyendo al secuestro de carbono.

REFERENCIAS

- Allende, A.F., Guerra, V.J. y López, L.N. (1999). Dinámica reciente de las formaciones de Juníperus en el centro de la Península Ibérica. XVI Congreso de Geógrafos españoles. Málaga.
- Archiloque, A. y Borel, L. (1965). Une serie residuelle du genevrier thurifère dans les Alpes du Sud. *Doc. Carte Végét. Alpes* 3,119-132.
- Barbero, M. (1981). Les penetrations méditerranéennes dans la haute montagne alpine. *Anales Jard. Bot.* 37(2), 301-314. Madrid.
- Billès, G., Cortez, J. y Lossaint, P. (1971). 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. y Cortez, J. (1971). L'Activité biologique des sols dans les écosystèmes méditerranéens. II. Minéralisation de l'azote. *Rev. Écol. Biol. Sol*, 8 (4), 533-552.
- Billès, G., Cortez, J. y Lossaint, P. (1975). Étude comparative de l'activité biologique des sols sous peuplements arbustifs et herbacés de la garrigue méditerranéenne. I. Minéralisation du carbone et de l'azote. *Rev. Écol. Biol. Sol* 12, 115-119.
- Bruckert, S. (1979). Classification des sols bruns ocreux et cryptopodzoliques par analyse des extraits tetraborates

- tamponnés à pH 9,5. *Geoderma* 22, 205-212.
- Candás, M.A. (1988). Estudio de suelos bajo sabinar y encinar: Procesos de transformación de la materia orgánica. Colección Tesis Doctorales n° 203/88. Edit. Universidad Complutense.
- Costa Tenorio, M., Morla, C. y Sainz, H. (1987). Contribución a la tipificación de los sabinares albares (*Juniperus thurifera* L) en el sistema ibérico meridional. *Lazaroa* 7, 307-317.
- Djellali, N., Billés, G., Bounaga, N. y Lössaint, P. (1985). Etude de l'activité biologique des sols de la steppe à alfa d' Algerie. Minéralisation du carbone et de l'azote. *Acta Oecologica*, 6 (20), 289-307.
- Documento Oficial Castilla- La Mancha. (1987). D.O.C.M. n° 9 17-2-1987. Decreto 12 de 3-2 de 1987.
- Duchaufour, Ph. y Jacquin, F. (1966). Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. *Bull. E.N.S.A.I.A.*, 3, 3-24.
- FAO. (1998). World reference base for soil resources. Rome
- Fernandez González, F. (1988). Inventarios de Vegetación. En : Estudio de suelos bajo sabinar y encinar. Procesos de transformación de la materia orgánica. Colección Tesis Doctoral n° 203/88. Edit. Universidad Complutense.
- Fromard, F. y Gauquelin, T. (1993). La sabina albar en Marruecos: investigación y protección de un ambiente y de una especie en peligro. *FAO* 44, *Unasylva* 172, 52-58
- Gauquelin, T. y Dagnac, J. (1988). Caractéristiques édaphiques des groupements à Genévrier thurifère des Atlas marocains: etude des niveaux superficiels des sols sous couvert et hors couvert. *Ecologia Mediterranea*, 14, 43-56.
- Gauquelin, T., Fromard, F., Badri, W. y Dagnac, J. (1992). Apports d'éléments minéraux au sol par l'intermédiaire de la litière, des pluies et des pluviollessivats dans un peplément à genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L) du Haut Atlas occidental (Maroc). *Ann Sci For*, 49, 599-614.
- Gauquelin, T., Bertaudière, V., Montès, N., Savoie, J.M. y Badri, W. (1998). Cycle biogéochimique et hétérogénéité édaphique des groupements forestiers pré-steppiques à Genévrier thurifère du Haut Atlas de Marrakech, Maroc. *Ecologie*, 29, 177-180.
- González, J. y Candás, M. A. (1991). Características de suelos bajo sabinares albares sobre material calizo. *Suelo y Planta*, 1, 425-438.
- González, J., Palomar, M L., Moreno, A M., Hernando, J., Hernando, M I. y Fernández, M C. (1991). Estudio de los suelos del Sector Central de la provincia de Soria. Colección de temas sorianos 18. Excma. Diputación provincial de Soria 91 p.
- González, J., Palomar, M L., Moreno, A M., Fernández, M C. y de la Cruz, M. T. (1992). El factor edáfico en los bosques de sabina albar. III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Pamplona, 468-473.
- Guitian Ojea, F y Carballas, T. (1976). *Técnicas de análisis de suelos*. Pico Sacro (ed.). Santiago de Compostela.
- Hoyos, A., Candás, M.A. y González, J. (1982). Fraccionamiento de sustancias húmicas en suelos con CaCO³. *An. Edafol. Agrobiol.*, 41, 2221- 2234.
- IGME. (1980). Mapa Geológico. Escala 1: 200.000 (Segovia).
- Izco, J. (1984). Madrid Verde. Instituto de Est. Agrarios, Pesqueros y Alimentación. (C.A.M.), 517 p.
- Lemée, G. (1967). Investigations sur la minéralisation de l'azote et son évolution annuelle dans des humus forestiers in situ. *Oecol. Plant*, 2, 285-324.

- Lineres, M. (1977). Contribution de l'ion Calcium à la stabilisation biologique de la matière organique des sols. Thesis Doc. Univ. Burdeos, 60 p.
- Montès, N., Bertaudière-Montes, V., Badri, W., Zaoui, El, H. y Gauquelin, T. (2002). Biomass and nutrient content of a semi-arid mountain ecosystem: the *Juniperus thurifera* L. woodland of Azzaden Valley (Morocco). *Forest Ecology and Management* 166, 35-43.
- Ozenda, P. (1985). Le végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen. Masson, París, 1-344.
- Quézel, P. (1957). Peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du Nord. *Encycl. Bio. Ecol.* Lechevalier, París, 1-463.
- Quézel, P. y Barbero, M. (1981). Contribution á l'étude des formations pre-steppiques á genevries au Maroc. *Bol. Soc. Bot.* 53, 1137-1160
- Rivas-Martínez, S. (1969). Vegetatio Hispaniae, Notulae 1. El piso de vegetación de los bosques sabineros de los páramos. *Juniperetum hemisphaerico thuriferae*. *Publ. Inst. Biol. Apl. (Barcelona)* 46, 5-34.
- Rivas-Martínez, S. (1987). Mapa de las series de vegetación de España 1:400.000. I.C.O.N.A. Madrid.
- Rivas-Martínez, S. e Izco, J. (1987). Vegetación. En "La naturaleza de Madrid". Fernández, G y Ramos, F (eds.) Consejería de Agricultura y Ganadería de la C.A.M 301 p.
- Rodríguez, M. R. y Velasco, F. (1988). Consideraciones ecológicas y bioquímicas sobre la humificación en sabinares desarrollados sobre material calizo y gneísico. *An. Edafol. Agrobiol.*, 47, 1041-1053.
- Stevenson, F, J. (1985). Geochemistry of soil humic substances. Humic substances in soil sediment and water. MacCarthy (ed). John Wiley, New York.
- Tosca, C. y Labroue, L. (1986). Le cycle de l'azote dans les milieux supra-forestiers des Pyrénées Centrales: minéralisation de l'azote dans les sols des pelouses subalpines. *Acta Oecologica*, 7(21), 57-73.
- Toutain, F. (1974). Étude écologique de l'humification dans les hêtraies acidiphiles. Thèse Doc. État Univ. Nancy I, 180 p.
- Vedy, J, C. (1973). Relation entre le cycle bioquímique en milieu acide. Thèse Doc. État. Univ. Nancy I. 116 p.
- Velasco, F. y del Río, J. (1977). Humificación en los sabinares de la comarca de Somosierra (Segovia). *An. Edafol. Agrobiol.* 36, 979-988