

CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN FORESTACIONES SOBRE SUELOS CALIZOS

M^a Noelia Jiménez Morales¹, Emilia Fernández-Ondóño², Francisco Bruno Navarro Reyes¹, M^a Ángeles Ripoll Morales¹ y Juan Lorite Moreno³

¹Grupo de Sistemas y Recursos Forestales. Área de Producción Ecológica y Recursos Naturales. IFAPA Centro Camino de Purchil (CICE, Junta de Andalucía). Camino de Purchil s/n. Apartado 2027. 18080-GRANADA (España). Correo electrónico: noelia.jimenez.ext@juntadeandalucia.es

²Dpto. Edafología y Química Agrícola. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Campus Fuentenueva s/n. 18071-GRANADA (España)

³Dpto. Biología Vegetal. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Campus Fuentenueva s/n. 18071-GRANADA (España)

Resumen

Se analizan diversas variables edáficas en suelos calizos reforestados a partir de cultivos de cereales o eriales. Se seleccionaron 29 fincas reforestadas, atendiendo al contenido en carbonato cálcico equivalente y a la vocación inicial del terreno. En estas fincas se establecieron parcelas de muestreo donde se cogieron muestras de suelo en los 10 primeros centímetros. Las variables analizadas fueron: textura, carbono orgánico, nitrógeno, bases y capacidad de cambio, carbonato cálcico, pH, conductividad eléctrica, % saturación y agua útil. No aparecieron diferencias significativas para ninguna variable respecto a los factores vocación inicial del terreno y año de forestación, excepto para limo grueso. En el análisis factorial se obtuvieron cuatro componentes principales que explicaron el 77% de la varianza; en el primer componente las variables con mayor peso fueron CIC y CO. El análisis cluster nos diferenció dos grupos principales de suelos en función estas dos variables. Entre estos dos grupos mostraron diferencias significativas para las variables CO, CIC, gravas, arenas, limo más arcilla, potasio, % saturación, agua útil, precipitación y temperatura. Las variables climáticas y/o geológicas modifican las características de los suelos de las forestaciones, de forma más significativa que la vocación inicial o los años de forestación, al menos para el período estudiado.

Palabras clave: *Roca madre, Forestaciones, Propiedades edáficas (CO, CIC, K y N), Variables climáticas*

INTRODUCCIÓN

El abandono de cultivos no es un fenómeno reciente, en Europa se inició a comienzos del siglo XX, pero fue especialmente importante a partir de la década de los 50 (BAUDRY, 1991; LAVOREL et al., 1998). En la actualidad, predominan los procesos de abandono de tierras agrícolas marginales, aunque existen algunos

espacios que están sometidos a una intensificación agraria (BUREL & BAUDRY, 2002). Entre las causas que han llevado en las últimas décadas al abandono de la actividad agrícola destacan la aridez del clima mediterráneo, la erosión del suelo y diversos cambios socio-económicos (HUBERT, 1991; CALABUIG et al., 2001). Las prácticas agrícolas que han llevado a cabo durante siglos los agricultores han dado lugar a

la transformación de las condiciones físicas y químicas del suelo (BAUDRY, 1991). Estos suelos pierden sus características de equilibrio, presentando problemas de erosión debido a la falta de textura y estructura (SÁNCHEZ, 1995).

En la Unión Europea, programas de ayudas promovidos por la Política Agraria Comunitaria (PAC), están convirtiendo miles de hectáreas de cultivos agrícolas y tierras marginales en terrenos forestales. El objetivo de esta política es establecer el equilibrio de los mercados agrícolas, estabilizar las rentas de los agricultores y respetar los equilibrios naturales y ambientales fomentando los usos selvícolas, ecológicos y sociales en las tierras retiradas de la producción agraria, concediendo ayudas para la protección del medio ambiente, del paisaje y de los recursos naturales. A través del Reglamento Comunitario (CE) 2078/92 se estableció un régimen comunitario de ayudas a las medidas forestales. Este Reglamento fue aplicado en España por primera vez a través del Real Decreto 378/1993, asumiendo las distintas comunidades autónomas las competencias en esta materia. Como resultados han sido reforestadas 435.737 ha (hasta el año 1999) de un total de 806.593 ha previstas (MONTIEL, 2004), la mayoría en terrenos agrícolas secos y semiáridos. Sin embargo, la evaluación de los efectos ambientales de los programas de forestación de la PAC basados en una investigación objetiva, está aún por realizar y desarrollar en España (VARELA-ORTEGA & SUMPISI, 2002).

Los suelos utilizados en los programas de forestación son básicamente los más marginales: con contenidos altos en CaCO₃, bajos contenidos en carbono y nitrógeno orgánicos, alta pedregosidad y, en muchas ocasiones, escasa profundidad.

El objetivo de este trabajo es evaluar la influencia de la vocación inicial del terreno y de los años de la forestación sobre el contenido en carbono orgánico, y las propiedades relacionadas con el mismo, de suelos calizos.

MATERIAL Y MÉTODOS

La zona de estudio se encuentra en las comarcas de Guadix, Baza y Huéscar (Granada). Se seleccionó esta zona porque estas comarcas cons-

tituyen una de las zonas de Andalucía Oriental donde más se ha reforestado, se encuentran gran variabilidad de condiciones ambientales y de usos de la tierra y por razones socioeconómicas ya que estas comarcas son las más deprimidas de Europa en cuanto a renta per cápita (Zona objetivo 1). Las especies que más se han utilizado son el pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) y la encina (*Quercus rotundifolia* Lam.) con densidades que varían entre los 300 y 500 pies.ha⁻¹, y el tratamiento principal del suelo realizado para la plantación ha sido el subsolado lineal.

De un total de 51 expedientes de forestación o fincas reforestadas se seleccionaron 29, atendiendo al contenido en carbonato cálcico equivalente y a la vocación inicial del terreno (erial o cultivo de cereal). En cada una de las fincas reforestadas se establecieron parcelas de muestreo donde durante los meses primaverales de 2006 se recogieron muestras de suelo de los primeros 10 centímetros. En estas muestras se analizó: textura, carbono orgánico (CO), nitrógeno (N), bases y capacidad de cambio (CIC), CaCO₃, pH, conductividad eléctrica (CE), % saturación de agua (%sat) y agua útil (Au). Estos análisis son llevados a cabo en el Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Granada.

El análisis textural se realizó por el método de la pipeta de Robinson (SOIL CONSERVATION SERVICE, 1972). El AU se estableció por la diferencia entre el contenido de humedad a capacidad de campo extraída en una placa de presión a 33-kPa y la humedad en el punto de marchitamiento medida a 1500-kPa (CASSEL & NIELSEN, 1986). Las bases de cambio (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺) fueron extraídas con NH₄OAc 1M y la CIC se determinó por saturación en sodio y, previo lavado con alcohol, extracción del sodio adsorbido con NH₄OAc 1M (SOIL CONSERVATION SERVICE, 1972). El pH fue medido en una suspensión de suelo en agua destilada (1: 2.5) usando un Crison 2002 pH meter.

Para la determinación de CO, N y CaCO₃ equivalente, se realizó una molienda y tamizado adicional por un tamiz de 0,125 mm de luz de malla. El contenido de CO se determinó utilizando el método de WALKER & BLACK (1934) modificado por TYURIN (1951); para el N total se utilizó el método Kjeldahl (BREMNER, 1965) y el

CaCO₃ equivalente se determinó por el método manométrico (WILLIAMS, 1948).

A partir de los datos meteorológicos de las estaciones climatológicas repartidas en el área de estudio se han obtenido la precipitación anual (Pp) y temperatura media anual (Tm) de cada punto de muestreo.

Con todas las variables estudiadas se realizó un análisis no paramétrico (Kruskal-Wallis) para los factores “vocación inicial de terreno” y “año de forestación” a un nivel de confianza del 95%. Con objeto de reducir la dimensionalidad de los datos y conocer qué variables explican en mayor medida la variabilidad de los mismos, se realizó un análisis factorial obteniéndose una matriz de componentes principales y rotados utilizando el método de rotación varimax con Kaiser. Se seleccionaron las variables que explicaban en mayor medida la variabilidad de los suelos estudiados y se realizó un análisis de correlación de Spearman para conocer el grado de dependencia entre las mismas. Posteriormente, se realizó un análisis Cluster con las variables normalizadas. Se utilizaron los programas estadísticos Statistix 8 y SPSS 14.0 para Window XP.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los coeficientes de correlación entre las variables estudiadas se muestran en la tabla 1.

El CO se correlacionó positivamente con CIC, L+A (fracción <0,05 mm), K, N, y Pp y negativamente con la arena y Tm. La CIC está íntimamente relacionada con el CO por lo que se correlacio-

na con las mismas variables excepto con la Tm, y además con el AU. La Pp se correlacionó con CO, CIC, K y N. La Tm se correlacionó negativamente con CO, N y precipitación anual.

En ambiente semiáridos como la zona de estudio, cuando disminuye la temperatura y aumenta la precipitación, aumenta la cobertura vegetal, por lo que el contenido en carbono orgánico en el suelo se incrementa. Por otra parte, las condiciones microclimáticas también afectan a los procesos de mineralización de la materia orgánica (FRANZLUEBBERS *et al.*, 2001), de forma que las tasa de mineralización son más bajas cuando las temperaturas más altas coinciden con el periodo de precipitaciones más bajas (VLEESHOUWERS & VERHAGEN, 2001; FREIBAUER *et al.*, 2004).

Del análisis factorial se obtuvieron cuatro componentes principales que explicaron el 77% de la variabilidad de los datos (Tabla 2). Los dos primeros componentes explicaron el 56% de la varianza. En el primer componente las variables que presentaron mayor importancia fueron CO y las propiedades íntimamente relacionadas CIC, K, N y Au. En el segundo componente las variables con mayor peso fueron temperatura, %CaCO₃ y L+A (positivo) y el contenido en arena (negativo). Por último, las variables más significativas del tercer y cuarto componentes fueron LG (limo grueso) y pH. La matriz de componentes rotados confirma en gran medida los resultados anteriores con una convergencia en 5 interacciones.

El contenido en carbono orgánico, propiedad edáfica con mayor peso en el análisis de compo-

	CO (%)	CIC (Cmol+ Kg ⁻¹)	CaCO ₃ %	Arena (%) (2-0,05mm)	L+A (%) (<0,02mm)	K (Cmol+ Kg ⁻¹)	N (%) mm	Pp
CIC	0,793***							
Arena	-0,400*	-0,653**	-0,404*					
L+A	0,374*	0,608***		-0,924***				
K	0,566**	0,715***		-0,661***	0,626***			
N	0,832***	0,710***		-0,399*		0,450*		
Au		0,521**		-0,616***	0,621***		0,414*	
Tm °C	-0,453*						-0,549**	-0,757***
Pp	0,631***	0,465*				0,465*	0,588**	

Tabla 1. Coeficientes de correlación de Spearman (r) entre las variables de mayor importancia obtenidas en el análisis de componentes principales. El asterisco indica el grado de significación (*p = 0,05-0,01; ** p=0,01-0,001; ***p<0,001)

	Componente			
	1	2	3	4
CO	,917			
CIC	,922			
N	,896			
K	,699			
Pp	,642			
Tm		,746		
arena		-,695		
L+A		,648		
CaCO ₃		,622		
LG			,751	
pH				,619

Tabla 2. Matriz de componentes principales

nentes principales, diferencia dos zonas geográficas: una situada alrededor de la Sierra de Baza (hojas cartográficas de Benalúa de Guadix y Baza) donde todas las localidades, excepto una, presentaron más de un 1% de CO, y otra ubicada en las hojas cartográficas de Orce y Cúllar, donde la mayor parte de las localidades muestreadas presentaron valores de CO inferiores al 1%. Esta tendencia de agrupación en función del contenido en carbono orgánico, está relacionada con las condiciones climáticas y/o con variaciones en el material geológico.

El análisis cluster nos diferenció dos grupos principales de suelos en función del contenido en CO y la CIC (Figura 1). En el primer grupo, con cantidades inferiores en ambas variables, se diferenciaron tres subgrupos por el material geológico y la localización geográfica. Un subgrupo localizado en las hojas cartográficas de Orce, Guadix y Baza (suelos 13, 29, 10, 12, 19, 9, 15, 8 y 23) cuya roca madre eran gravas y arcillas rojas presentaban un contenido en CO menor de 1 (aunque hay alguna excepción, como el suelo 19) y CIC también baja. Además, muestran poca cantidad de arcilla; otro subgrupo formado por suelos con calizas y limos (6, 24, 5 y 25) situados en la hoja de Orce, que presentaron un alto contenido en CaCO₃; y un tercer subgrupo que eran suelos con yesos situados geográficamente en la hoja de Cúllar. Los suelos 11, 20, 21 y 22 (situados en la hoja cartográfica de Cúllar) se separan claramente de los otros dos subgrupos ya que contienen yesos que les confieren condi-

ciones de xericidad. El segundo grupo está formado por suelos desarrollados sobre calizas y calizo-dolomías, la mayor parte de ellos situados en las hojas cartográficas de Baza y Benalúa de Guadix. Estos suelos son los que presentaron los mayores contenidos en CO y la mayor CIC. Se separan del grupo principal tres suelos (2, 7 y 27), también con alto contenido en CIC y CO, pero desarrollados sobre conglomerados y limos arenosos, lo que les confiere un alto contenido en limo más arcilla.

La influencia del material parental en las propiedades del suelo ha sido descrita por otros autores (KOOIJMAN *et al.*, 2005) señalando su importancia en distintas propiedades del suelo como la textura, pH, carbono orgánico etc. Otros trabajos sin embargo (OYONARTE *et al.*, 2008) no encuentran una identificación completa entre las propiedades del suelo y el sustrato debido a la influencia de las precipitaciones que condicionan la convergencia de suelos desarrollados sobre diferentes materiales. Nuestros resultados parecen coincidir con los de estos últimos autores siendo las condiciones climáticas las que separan en un primer grupo los suelos, sin embargo, dentro de cada grupo principal, los subgrupos establecidos lo hacen por el tipo de material geológico.

Los suelos que se separan de forma más clara son los que se desarrollan sobre yesos. El bajo contenido en carbono orgánico y la baja capacidad de cambio que suelen presentar estos suelos ya ha sido señalado por otros autores

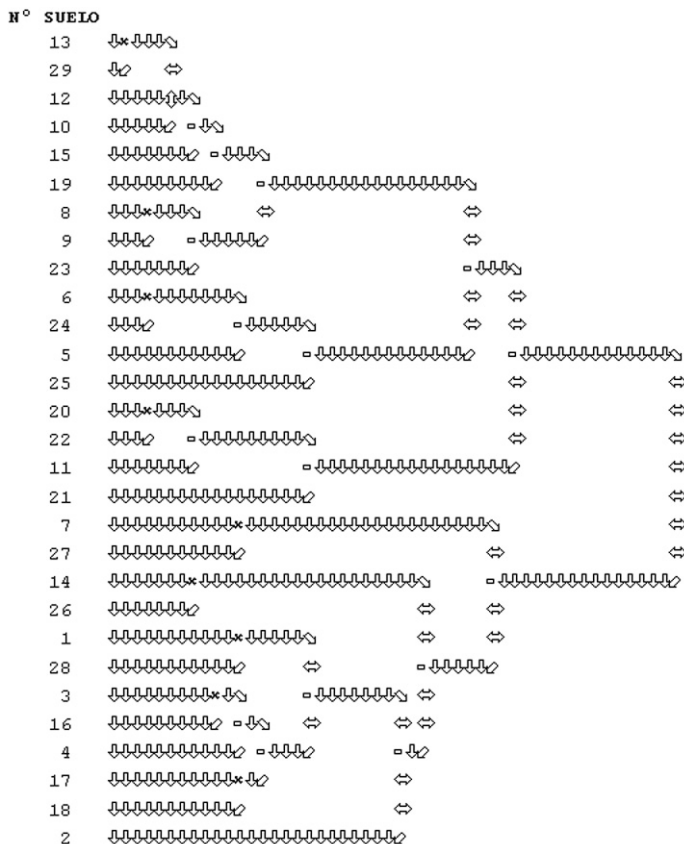


Figura 1. Análisis clúster realizado a partir de todas las variables estudiadas

(BOYADGIEV & VERHEYE, 1996). La capacidad de intercambio catiónico depende del contenido en arcilla y carbono orgánico. En nuestros suelos, al presentar valores bajos de carbono orgánico y dado que las partículas de yeso no tienen carga negativa (BOYADGIEV & VERHEYE, 1996) la capacidad de intercambio catiónico disminuye a medida que se incrementa el contenido en yeso.

El análisis de Kruskal-Wallis no mostró diferencias significativas cuando se realizó separando las muestras por vocación inicial del terreno o año de forestación para ninguna variable, excepto para LG que fue significativamente mayor en cultivos de cereal (Tabla 3). Sin embargo, cuando este análisis se aplicó a los dos grupos principales obtenidos en el análisis cluster se observaron diferencias significativas para

las variables CO, CIC, gravas, arenas, limo más arcilla, potasio, % sat., agua útil, precipitación y temperatura.

CONCLUSIONES

El contenido en carbono orgánico en los suelos estudiados no se correlacionó ni con el uso anterior del suelo ni con los años de cambio de uso. Probablemente debido, en el primer supuesto a que los suelos más fértiles son los dedicados al cultivo, por lo que es de suponer que los suelos más pobres son los que proceden de eriales. El escaso número de años transcurridos desde la plantación (12 como valor máximo) puede explicar la falta de resultados obtenidos. Sin

	CO %	CIC (Cmol+ Kg ⁻¹)	CaCO ₃ %	Gravas % >2mm	Arena % (2-0,05mm)	LG % (0,05-0,02mm)	L+A % (< 0,02mm)	Na (Cmol+ Kg ⁻¹)
1 (n=17)	0,7±0,2 B	7,5±1,6 B	37,7±22,9 A	26,8±15,8 B	45,9±12,1 A	10,3±3,8 A	43,7±10,7 B	0,09 ±0,08 A
2 (n=12)	2,1±0,6 A	18,8±4,2 A	36,5±13,6 A	49,6±20,3 A	28,8±8,6 B	11,5±6,0 A	59,6±10,9 A	0,05±0,03 A
p-valor	0,000	0,000	0,673	0,005	0,000	0,739	0,001	0,407
	K (Cmol+ Kg ⁻¹)	N %	% sat	AU	pH	CE dS m ⁻¹	Pp mm	T ^a °C
1 (n=17)	0,3±0,1 B	0,07±0,01 A	37,8±6,5 B	6,1±2,7 B	8,0±0,5 A	1,3±0,8 A	341,2±23,4 B	13,5±0,7 A
2 (n=12)	0,6±0,2 A	0,17±0,04 A	46,2±5,7 A	9,8±1,8 A	7,9±0,5 A	0,8±0,1 A	404,5 ±60,7 A	12,8±0,8 B
p-valor	0,000	0,451	0,002	0,001	0,399	0,478	0,000	0,030

Tabla 3. Análisis no paramétrico (Kruskal-Wallis) aplicado a cada una de las variables estudiadas. Letras distintas indican diferencias significativas a un nivel de confianza del 95%. 1= suelos con bajo contenido en CO y CIC; 2= suelos con alto contenido en CO y CIC

embargo la localización geográfica de las forestaciones, por efecto de las condiciones climáticas y el material geológico, si mostró diferencias en las características edáficas.

BIBLIOGRAFÍA

- BAUDRY, J.; 1991. Ecological consequences of grazing extensification an land abandonment: Role of interactions between environment, society and techniques. *Options Méditerranéennes. Série Séminaires* 15: 13-19.
- BOYADGIEV, T.G. & VERHEYE, W.H.; 1996. Contribution to a utilitarian classification of gypsiferous soil. *Geoderma*, 74: 321-338.
- BREMNER, J.M.; 1965. Nitrogen availability indexes. In: C.A. Black, D.D. Evans, L.E. Esminger & F.E. Clark (eds.), *Methods of soil Analysis. Part. 2. Chemical and Microbiological Properties*: 1324-1345. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- CALABUIG, A.; PÉREZ BADIA, R. Y FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, F.; 2001. Dinámica sucesional de la diversidad florística en campos de cultivo abandonados en Alicante (España). *En: E. Cano, A. García Fuentes, J. A. Torres Cordero y C. Salazar (eds.), Valoración y Gestión de Espacios Naturales*: 519-532. Universidad de Jaén. Jaén.
- CASSEL, D.K. & NIELSEN, D.R.; 1986. Fields capacity and available water capacity. In: A Klute (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part. 1: Physical and Mineralogical Methods 2nd Ed.*: 901-926. ASA, SSSA Monograph N^o 9, Madison, WI.
- FRANZLUEBBERS, A. J.; HANEY, R.L.; HONEYCUTT, C.W.; ARSHAD, M.A.; SCHOMBERG, H.H. & HONS, F.M.; 2001. Climatic influences on active fractions of soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 33: 1103-1111.
- FREIBAUER, A.; ROUNSEVELL, M.D.A.; SMITH, P. & VERHAGEN, J.; 2004. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma* 122:1-23.
- HUBERT, B.; 1991. Changing land uses in Provence (France). Multiple use as a management tool. *Options Méditerranéennes. Série Séminaires* 15: 31-52.
- KOOIJMAN, A.M.; JONGEJANS, J. & SEVINK, J.; 2005. Parent material effects on Mediterranean woodland ecosystems in NE Spain. *Catena* 59: 55-68.
- MONTIEL, C.; 2004. Paisaje agrario y forestación, *En: Consejería de Agricultura y Pesca (ed.), Forestación en paisajes agrarios*: 15-37. Edita Junta de Andalucía. Granada.

- OYONARTE C., ARANDA, V. & DURANTE, P.; 2008. Soil surface properties in Mediterranean mountain ecosystems: Effects of environmental factors and implications of management. *Forest Ecol. Manage.* 254: 156-165.
- SÁNCHEZ, M.D.; 1995. *La reconstrucción natural de la vegetación leñosa en zonas agrícolas abandonadas*. Instituto de estudios albacetenses de la Excma. Diputación de Albacete. Serie I, nº 81. Albacete.
- SOIL CONSERVATION SERVICE; 1972. *Soil Survey laboratory. Methods and procedures for collecting soil samples*. Soil Survey Report, 1. U.S.D.A. Washington DC. USA.
- TYURIN, I.V.; 1951. Analytical procedure for a comparative study of soil humus. *Trudy. Pochr. Inst. Dokuchaeva* 38.
- VARELA-ORTEGA, C. Y SUMPISI, J.M.; 2002. Repercusiones ambientales de la política agraria europea. *En*: F.D. Pineda, J.M. de Miguel; M.A. Casado y J. Montalvo (eds.), *La diversidad biológica de España*: 125-149. Edita Prentice Hall. Madrid.
- WALKLEY, A. & BLACK, I.A.; 1934. An Examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic titration method. *Soil. Sci.* 34: 29-38.
- WILLIAMS, D.E.; 1948. A rapid manometric method for the determination of carbonate in soils. *Soil Sci. Am. Proc.* 13: 27-129.
- VLEESHOUWERS, L.M. & VERHAGEN, A.; 2001. *CESAR: a model for carbon emission and sequestration by agricultural land use*. Plant Research International, Report no 36. Plant Research International, P.O. Box 16 6700 AA Wageningen, The Netherlands.