

USO DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EDÁFICOS COMO INDICADORES DEL EFECTO DEL USO DEL SUELO EN EL PÁRAMO CALIZO CASTELLANO-LEONÉS

Mireia Llorente Sánchez, Francisco Lafuente Álvarez, Cesar Ruipérez Cantera y M^a Belén Turrión Nieves

E.T.S.I.I.A.A. Área de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Valladolid. Av. Madrid 57. 34004-PALENCIA (España)

Resumen

Las fracciones lábiles de la materia orgánica edáfica (MO) y algunos parámetros microbiológicos del suelo, como la biomasa microbiana, el C extraíble con K_2SO_4 ($C_{K_2SO_4}$) o el C- CO_2 respirado acumulado en 51 días de incubación (C- $CO_2(51d)$), fueron utilizados como indicadores de la dinámica de la MO ante un cambio de uso en suelos calizos. Además se estudiaron la cinética de la mineralización del C y la eficiencia metabólica de la comunidad microbiana (qCO_2). Los resultados mostraron que los valores de biomasa y actividad microbiana en los suelos estudiados fueron menores que los encontrados por otros autores en suelos no calizos, posiblemente debido a la abundancia de carbonatos. Los parámetros $C_{K_2SO_4}$ y C- $CO_2(51d)$, se comportaron como indicadores más sensibles al uso del suelo que el C microbiano que el resto de los estudiados. La cinética de la mineralización se ajustó con $R^2 > 0,94$ al modelo $C_m = C_o(1 - e^{-kt})$ para los distintos usos y profundidades estudiadas y los parámetros estimados C_o y $C_o k$ fueron útiles para la caracterización de la MO. El conocimiento de la relación entre qCO_2 y los *pools* de C permitió identificar fenómenos de competencia por el sustrato y la existencia de organismos más eficientes en la mineralización a medida que profundizamos en el perfil del suelo.

Palabras clave: *Actividad microbiana, Mineralización de C, Pools de C, Suelos calcáreos*

INTRODUCCIÓN

Ante el problema actual de acumulación creciente de CO_2 en la atmósfera, además de una urgente disminución de las emisiones, es necesario profundizar en el conocimiento de las relaciones fuente-sumidero a nivel de ecosistema. Los suelos, suponen el mayor depósito de C en los ecosistemas terrestres por lo que los cambios de uso del mismo juegan un papel crucial en el balance global de C. El suelo, en función de la vegetación que acoja y el tipo de manejo puede comportarse como emisor de CO_2 a la atmósfera o como un importante sumide-

ro de C. Este comportamiento depende de la relación en el ecosistema entre la tasa de incorporación de materia orgánica y la tasa de mineralización de la misma (JOHNSON, 1995).

Mediante la medición de la actividad microbiana y el uso de ecuaciones exponenciales sencillas del tipo $C_m = C_o(1 - e^{-kt})$, es posible modelizar la cinética de la mineralización de C en el suelo, estimando el *pool* de carbono potencialmente mineralizable (C_o) y la tasa de mineralización instantánea asociada a ese *pool* (k), parámetros que nos acercan al entendimiento del proceso de mineralización de la materia orgánica.

Las fracciones lábiles de la materia orgánica y algunos parámetros microbiológicos del suelo, como la biomasa microbiana, el C extraíble con K_2SO_4 o el C- CO_2 respirado acumulado en un cierto periodo, pueden utilizarse como indicadores sensibles que nos permiten conocer de forma temprana cambios que inciden en la calidad del suelo y en la cantidad de carbono orgánico que contiene el suelo. El cociente metabólico microbiano (qCO_2), calculado como la cantidad de CO_2 producido por unidad de biomasa microbiana y tiempo, permite evaluar la capacidad de la comunidad microbiana para incorporar C al sustrato frente a la cantidad de carbono que se pierde por respiración (GOBERNA et al., 2006).

El presente trabajo, enmarcado en el páramo calizo castellano-leonés, pretende ser una aportación al conocimiento de la dinámica de la materia orgánica del suelo, en el contexto de sus propiedades físicas y químicas, a lo largo del perfil (0-10, 10-20 y 20-30 cm de profundidad) en función del uso del suelo (encinar de *Quercus ilex* con aprovechamiento ganadero, distinguiendo los suelos que quedan bajo cobertura arbórea y los suelos que quedan descubiertos; cultivo extensivo cerealista y parcelas reforestadas con *Pinus halepensis*).

Como objetivos específicos cabe señalar:

- Evaluar la sensibilidad de los parámetros: biomasa microbiana, C extraíble con K_2SO_4 y C- CO_2 respirado acumulado tras 51 días de incubación (C- $CO_{2(51d)}$), como indicadores del uso del suelo en suelos calizos.
- Estudiar la cinética de la mineralización del C orgánico, ajustándola a un modelo exponencial simple de primer orden del tipo $C_m = C_o(1 - e^{-kt})$, evaluando la utilidad de los parámetros estimados por el modelo (C_o , $C_o k$ y k) como indicadores de características de la materia orgánica del suelo.
- Evaluar la utilidad de la estimación de la eficiencia metabólica (qCO_2) para un mejor entendimiento de la ecología de los microorganismos del suelo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Selección de las parcelas

Partiendo del Modelo de Elevación Digital y el Mapa Geológico (1:50.000) de Castilla y

León, se elaboró un Mapa de Páramos Calizos Castellano-leoneses que, a su vez, se interceptó con un Mapa de Usos del Suelo de Castilla y León (1:50.000) obteniendo el Mapa de Usos del Suelo en los Páramos Calizos de Castilla y León. A partir de este último mapa generado, se eligieron parcelas de forma estratificada bajo los siguientes tres criterios: 1) que reunieran los tres usos más representativos de los páramos calizos Castellano-leoneses (encinar, cultivo extensivo de cereal y repoblación con *P. halepensis*) en subparcelas colindantes entre sí; 2) que cada subparcela tuviese una extensión mínima de 1 ha y 3) que la antigüedad de cada uso fuera de al menos 30 años. De entre las parcelas que cumplían estas condiciones el presente trabajo se centró en una de ellas localizada en el municipio de Valle de Cerrato, entre las coordenadas W-UTM-30T (384525,4639070) y (384286,4639112). Para la elaboración de los mapas se utilizó el programa ArcGis 9.0 para Windows.

Muestreo de campo

Se diferenciaron cuatro subparcelas bajo los usos anteriormente señalados. Al ser la densidad de cobertura del encinar irregular, se distinguieron en el muestreo las zonas bajo cobertura arbórea (CC) de las que no lo estaban (SC), considerándolas como subparcelas diferentes. Se hicieron 4 calicatas en cada subparcela, tomando muestras cada 10 cm de profundidad hasta 30 cm.

Métodos analíticos

Se caracterizaron física (densidad aparente, capacidad de campo, textura, % de gruesos) y químicamente (pH, conductividad eléctrica, C y N totales, C orgánico, C/N) los suelos estudiados. Se estimó la biomasa microbiana mediante el Método de Fumigación-extracción (VANCE et al., 1987) y el C orgánico extraíble con K_2SO_4 ($C_{K_2SO_4}$). Se estudió la actividad microbiana de las muestras a partir de la medición de la respiración edáfica según el Método de ALEF (1995) durante 100 días de incubación (29°C, 75% de la capacidad de campo). El valor de C- $CO_{2(51d)}$ se tomó como estima de la fracción del *pool* de C lábil. Se calculó el cociente metabólico microbiano (qCO_2) como la relación entre el C- $CO_{2(51d)}$ y el C microbiano (ANDERSON & DOMSCH, 1993).

Modelización matemática

A partir de las medidas de actividad microbiana se elaboraron curvas de $\text{CO}_2\text{-C}$ respirado acumulado en el tiempo y se ajustaron a un modelo cinético exponencial simple de primer orden ($C_m=C_o(1- e^{-kt})$) propuesto por STANFORD & SMITH (1972) y a un modelo doble exponencial ($C_m=C_o(1- e^{-kt})+(TC-C_o)(1- e^{-ht})$) propuesto por ANDRÉS & PAUSTIAN (1987) para el estudio de la cinética de la mineralización del C. Para estos modelos, C_m es el C mineralizado transcurrido un tiempo t (días), C_o es el carbono potencialmente mineralizable del suelo, k es la tasa de mineralización instantánea asociada a C_o , TC es el carbono orgánico total y h es la tasa de mineralización instantánea asociada al pool de C recalcitrante ($TC-C_o$). Se utilizó también, como índice de degradabilidad del sustrato orgánico, el valor de $C_o.k$. Para la modelización de la mineralización del C se utilizó el paquete estadístico SPSS 14.0 para Windows.

Análisis estadísticos

Se analizaron, tanto las variables medidas como las estimadas por el modelo, mediante un ANOVA de dos factores (uso y profundidad). Mediante un análisis de Kolmogorov-Smirnov y de Levene se contrastaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas respectivamente. Para las variables en las que se observaron diferencias significativas ($\alpha<0,05$) entre grupos se aplicó un análisis post-hoc de Tukey ($\alpha<0,05$). Se utilizó un Análisis de

Componentes Principales (ACP) a fin de simplificar la observación de las relaciones entre las distintas variables estudiadas. Para el análisis estadístico de los datos se ha utilizado el paquete estadístico SPSS 14.0 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física y química del suelo

El suelo tiene una textura Franco-arcillo-arenosa, con una elevada pedregosidad (39-65%) y gran cantidad de carbonatos (15-39%), cuya proporción aumenta significativamente ($\alpha<0,05$) a medidas que profundizamos en el perfil. La densidad aparente mostró diferencias significativas en la interacción uso*profundidad según se muestra en la figura 1. El suelo es no salino ($C.E. < 0,5 \text{ dS.m}^{-1}$) con pH básico (7,9-8,0), sin diferencias significativas ($\alpha<0,05$) para estas variables ni entre usos ni entre profundidades. En cuanto a las variables C orgánico y relación C/N se observaron diferencias significativas ($\alpha<0,05$) entre usos y profundidades como se muestra en la figura 1. Se observó un gradiente decreciente de estas variables a medida que se profundiza en el perfil debido a un menor aporte de materia orgánica en profundidad y a la presencia de materia orgánica menos degradable y con una disponibilidad de N menor. El % de C orgánico es mayor bajo la cobertura de los árboles, independientemente de la especie arbórea, y los menores valores se

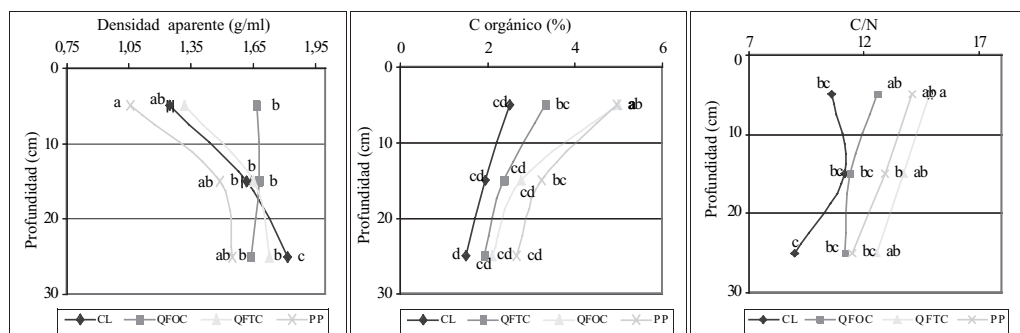


Figura 1. Evolución en el perfil del suelo de la densidad aparente, el C orgánico y la relación C/N para los distintos usos (CL: cultivo, QFOC: encinar sin cobertura arbórea, QFTC: encinar bajo cobertura arbórea, PP: pinar) y profundidades. Para cada gráfico, los valores a los que se asigna la misma letra no muestran diferencias significativas ($p<0,05$) según el test de Tukey para la interacción entre uso*profundidad

encuentran en el cultivo debido al escaso aporte de materia orgánica y a la aceleración de la mineralización debida al laboreo del suelo.

Parámetros microbiológicos

El contenido de C microbiano varió entre 11 y 59 mg.kg⁻¹, valores bajos en comparación con los encontrados en otros suelos, pero acordes con los estimados por otros autores sobre suelos calizos (GARCÍA *et al.*, 1997). Tanto para el C microbiano como para los otros *pools* de C lábil estimados (C-CO_{2(51d)} y C_{K₂SO₄}) se observaron diferencias significativas tanto entre usos como entre profundidades tal como se muestra en la figura 2, apareciendo C-CO_{2(51d)} y C_{K₂SO₄} como variables más sensibles al uso del suelo que el C microbiano, a pesar de ser este último el más utilizado en la bibliografía (GOBERNA, 2006; GARCÍA-GIL *et al.*, 2000) como indicador temprano del cambio de uso del suelo. Los valores más bajos para todos los *pools* medidos los muestra la parcela de cultivo y entre las parcelas forestales parece ser más significativo el efecto de la cobertura arbórea que la especie arbórea en sí.

Modelización de la cinética de la mineralización del C

La curva de respiración microbiana acumulada se ajusta muy bien (R² > 0,94) al modelo exponencial simple de primer orden $C_m = C_o(1 - e^{-kt})$. El uso del modelo $C_m = C_o(1 - e^{-kt}) + (TC - C_o)(1 - e^{-ht})$, al tener un ajuste apenas superior que el anterior, siendo más complejo, fue desestimado.

La forma de las curvas ajustadas es similar para los distintos usos y profundidades comparadas, distinguiéndose una mineralización primaria, más acelerada, durante los 10-15 primeros días (SILVEIRA, 1996), y una posterior deceleración de la mineralización hasta alcanzar una mineralización lenta y sostenida aproximadamente a partir del día 50. Observamos una disminución de la velocidad de mineralización según aumenta la profundidad en el perfil del suelo y para los usos sin cobertura arbórea, tal como puede observarse en la figura 3. El modelo aporta estimas de los parámetros C_o (*pool* de C potencialmente mineralizable), k (tasa de mineralización instantánea asociada a C_o) y C_ok, parámetro que se utiliza como indicador de degradabilidad de la materia orgánica (GOBERNA *et al.*, 2006). Para C_ok y C_o se encontraron diferencias significativas (α<0,05) entre usos y entre profundidades por lo que se incluyen en el ACP.

Análisis de Componentes Principales

En el ACP se incluyeron 12 de las variables estudiadas (arcilla, C orgánico, N total, C/N, CK₂SO₄, C-CO_{2(51d)}, C microbiano, qCO₂, C_o, C.C., densidad aparente y Cok). Para una mejor visualización de la influencia de las variables sobre cada Componente Principal (CP) se hace una normalización mediante el método de rotación Quartimax con el criterio de Kaiser (autovalores>1). El ACP identifica dos CPs que explican el 80,8% de la varianza total, siendo la mayoría de ella (66,7%) explicada por CPI

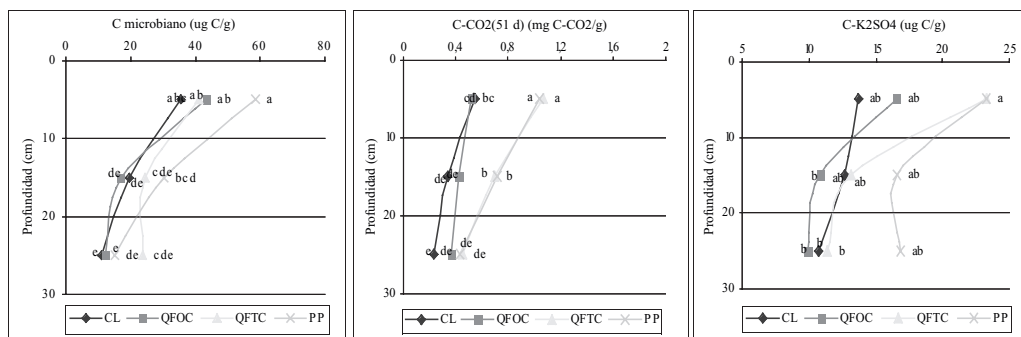


Figura 2. Evolución en el perfil del suelo del C microbiano, C-CO_{2(51d)} y C_{K₂SO₄} para los distintos usos (CL: cultivo, QFOC: encinar sin cobertura arbórea, QFTC: encinar bajo cobertura arbórea, PP: pinar) y profundidades. Para cada gráfico, los valores a los que se asigna la misma letra no muestran diferencias significativas (p<0,05) según el test de Tukey para la interacción uso*profundidad

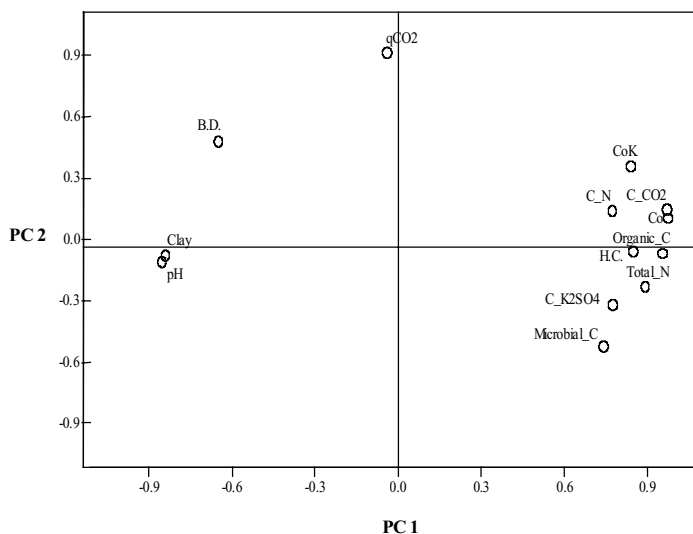


Figura 3. Representación gráfica del C-CO₂ respirado acumulado en 100 días de incubación. Se muestran los valores medidos y la ecuación $C_m = C_o(1 - e^{-kt})$ ajustada para los distintos usos (CL: cultivo, QFOC: encinar sin cobertura arborea, CFTC: encinar bajo cobertura arborea, PP: pinar) y profundidades así como el R² del ajuste

(Figura 4). CP1 queda definido por variables relacionadas con la cantidad y labilidad de materia orgánica, tomando autovalores negativos las variables relacionadas con el aumento de la profundidad, como el aumento de la densidad aparente o la disminución de la capacidad de campo. CP2 queda definido por la correlación negativa entre la eficiencia metabólica (qCO_2) y la biomasa microbiana que pone de manifiesto fenómenos de competencia en superficie y una selección de microorganismos más eficientes en el uso del sustrato en profundidad donde nutrientes y oxígeno son factores limitantes (MARGALEF, 1998; ETTEMA & WARDLE, 2002).

CONCLUSIONES

Los valores de biomasa y actividad microbiana medidos son bastante bajos con respecto a los encontrados en otros suelos debido a que la abundancia de carbonatos ralentiza los procesos de descomposición. Acorde con esto, encontramos una disminución marcada de los *pools* de C lábil, la actividad microbiana y los valores de $C_o k$ según profundizamos en el perfil.

La estima de los *pools* de C lábil, C_{K2SO4} y $C-CO_2$ (_{51d}), se comportan como indicadores más sensibles al uso del suelo que la medida del C microbiano.

La cinética de mineralización del C se ajusta muy bien a la modelizada por la ecuación $C_m = C_o(1 - e^{-kt})$. El *pool* de C potencialmente mineralizable (C_o) estimado por el modelo también funciona como un indicador sensible del uso del suelo. $C_o k$ es un útil indicador de la degradabilidad del sustrato pero la tasa de mineralización instantánea estimada (k) no parece ser sensible al uso.

La medida de la eficiencia metabólica (qCO_2), y su correlación negativa con la biomasa microbiana, permite una mejor comprensión de la ecología de los microorganismos del suelo, identificando fenómenos de competencia en superficie ligados a abundancia de sustrato orgánico y una mayor eficiencia metabólica según profundizamos en el perfil, donde la escasez de nutrientes y de oxígeno selecciona la presencia de organismos más eficientes.

Los parámetros microbiológicos estudiados parecen indicar que, para estos suelos, la ausencia o presencia de cobertura arborea tiene una mayor influencia sobre la dinámica de la materia orgánica que la comunidad vegetal en sí.

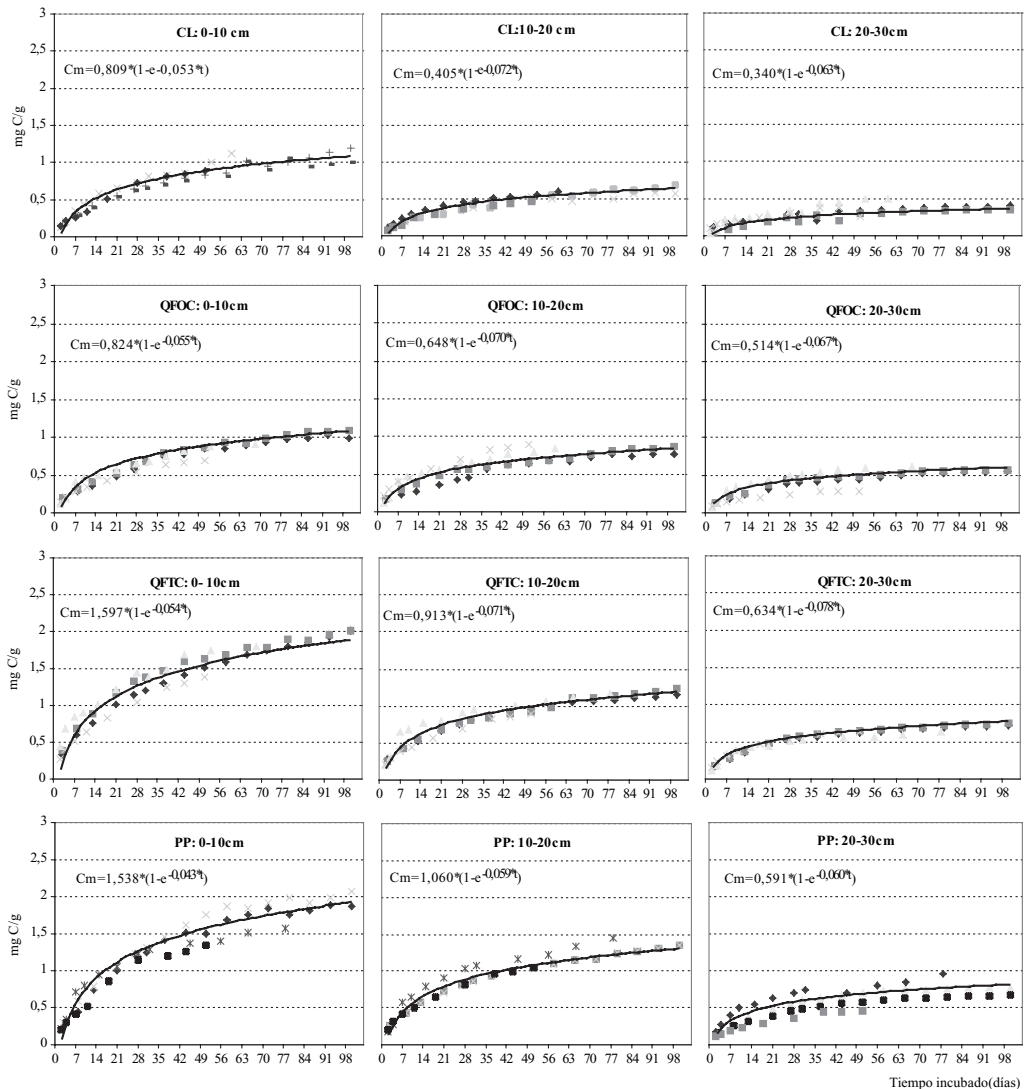


Figura 4. Análisis de Componentes Principales. Clay: arcilla; Organic_C: C orgánico; Total_N: N total; C_N: C/N; C_K2SO4: C_{K2SO4}; C_CO2: C-CO_{2(51d)}; Microbial_C: C microbiano; qCO2: cociente metabólico; Co: C potencialmente mineralizable; H.C.: capacidad de campo; B.D.: densidad aparente; Cok: tasa de mineralización inicial

Agradecimientos

El desarrollo del presente trabajo ha sido posible gracias a la financiación del proyecto “Secuestro de carbono asociado a los cambios de uso y de manejo en suelos de la provincia de Palencia” por parte de la Junta de Castilla y León.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEF, K; 1995. Soil respiration. In: K. Alef & P. Nanipleri (eds.), *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*: 214-222. Academic Press. Londres.
- ANDERSON, T. & DOMSCH, K.H; 1993. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific

- activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of the soil. *Soil Biol. Biochem.* 36: 859-868.
- ANDRÉS, O. & PAUSTIAN, K.; 1987. Barley straw decomposition in the field: a comparison of models. *Ecology* 68: 1190-1200.
- ETTEMA, C.H. & WARDLE, D.A.; 2002. Spatial soil ecology. *Trends Ecol. Evol.* 17: 177-183.
- GARCÍA, C.; ROLDAN, A. & HERNÁNDEZ, M.T.; 1997. Changes in microbial activity after abandonment of cultivation in a semiarid mediterranean environment. *J. Environ. Qual.* 26: 285-291.
- GARCÍA-GIL, J.C.; PLAZA, C.; SOLER-ROVIRA, P. & POLO, A.; 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 32: 1907-1913.
- GOBERNA, M.; SÁNCHEZ, J.; PASCUAL, J.A. & GARCÍA, C.; 2006. Surface and subsurface organic carbon, microbial biomass and activity in a forest soil sequence. *Soil Biol. Biochem.* 38: 2233-2243.
- JOHNSON, M.G.; 1995. The role of soil management in sequestering soil carbon. In: R. Lal et al. (eds.), *Soil management and greenhouse effect. Adv. Soil Sci.* CRC. Lewis. Boca Ratón.
- MARGALEF, R.; 1998. *Ecología*. Ed. Omega. Barcelona, España.
- SILVEIRA, O.; 1996. *Variabilidad espacial y temporal de la material orgánica en un típico xerofluvent sometido a distintas sucesiones de cultivo*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- STANFORD, G. & SMITH, S.J.; 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 36: 465-472.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S.; 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19: 703-707.