



5º CONGRESO FORESTAL  
ESPAÑOL

# 5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

---

REF.: 5CFE01-001

Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León  
Ávila, 21 a 25 de septiembre de 2009  
ISBN: 978-84-936854-6-1  
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## **Efectos del uso recreativo sobre las propiedades microbiológicas y bioquímicas del suelo en espacios forestales.**

ANDRES ABELLAN, M.<sup>2</sup>, LUCAS BORJA, M.E.<sup>1</sup>, MARTINEZ GARCIA, E.<sup>1</sup>, LOPEZ SERRANO, F.R.<sup>2</sup>, GARCIA MOROTE, F.A.<sup>2</sup>, DEL CERRO BARJA, A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sección de Medio Ambiente. Instituto de Investigación en Energías Renovables, Universidad de Castilla La Mancha. Paseo de la Investigación nº 1, Albacete, C.P. 02071.

<sup>2</sup> Departamento de Ciencia y Tecnología Agroforestal y Genética, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Albacete, Universidad de Castilla La Mancha. Campus Universitario s/n, Albacete, C.P. 02071.

### **Resumen**

El recreo en la naturaleza incluye todas las actividades que se realizan al aire libre y que tienen como base los recursos naturales del lugar donde se desarrollan. Todas estas actividades realizadas en entornos naturales reportan importantes beneficios económicos y sociales, especialmente desde el punto de vista psicológico y mental a los usuarios. Sin embargo, la fuerte presión recreativa y las inadecuadas políticas de gestión aplicadas en muchos de los espacios naturales atractivos de nuestro país, esta propiciando el deterioro ecológico de zonas que sería importante conservar, no solo por los valores ecológicos, paisajísticos y de recursos renovables que encierran, sino también por su propia capacidad recreativa. Con el estudio de las propiedades microbiológicas y bioquímicas del suelo se pretende valorar el alcance del impacto recreativo sobre el suelo y por ende sobre la comunidad vegetal que sustenta. Los resultados muestran como una inadecuada gestión deteriora el suelo y las comunidades vegetales.

### **Palabras clave**

Enzima, actividad recreativa, suelo, impacto ambiental.

### **1. Introducción**

En los suelos agrícolas y bajo diferentes regimenes de gestión, la calidad del suelo ha sido un factor ampliamente estudiado, al contrario que los ecosistemas forestales (BASTIDA et al., 2007). Entre los diferentes factores que son importantes para evaluar la calidad de los suelos, se encuentran las propiedades bioquímicas y biológicas, las cuales son de gran importancia en zonas semiáridas, ya que la degradación de la cubierta vegetal esta directamente relacionada con la escasez de materia orgánica (GARCIA et al., 1996).

La fracción biótica de la materia orgánica, formada por microorganismos vivos, desempeña un papel básico en los suelos, al ser la última responsable del estado de la materia orgánica, y en general, del desarrollo y funcionalidad del ecosistema (SMITH & PAPENDICK, 1993). Los microorganismos por consiguiente, influyen sobre los ecosistemas y su fertilidad, tanto en el establecimiento de los ciclos biogeoquímicos como en la formación de la estructura de los suelos (HARRIS & BIRCH, 1989).

En gran medida, los microorganismos benefician el desarrollo vegetal, ya que tienen influencia en reacciones de oxidación, reducción, hidrólisis y degradación de materia orgánica, que a su vez tienen un claro reflejo en los ciclos naturales de Carbono, Nitrógeno, Fósforo, y otros elementos, estableciendo las condiciones idóneas para la formación de la

cubierta vegetal estable (HARRIS & BIRCH, 1989; ROLDAN et al., 1996; GARCÍA et al., 1998).

La calidad del suelo y su degradación dependen de un largo número de propiedades físicas, químicas, biológicas, microbiológicas y bioquímicas, siendo las dos últimas las más sensibles ya que responden rápidamente a los cambios (GARCÍA et al., 1996, ROS et al., 2004). Debido a su sensibilidad, los parámetros microbiológicos son útiles para monitorizar cambios inmediatos en el suelo, como por ejemplo los que se dan en zonas donde crece vegetación incipiente, como los grupos de regenerados (BASTIDA et al., 2007).

Como parámetros considerados clave para determinar la calidad del suelo, podemos indicar algunos de tipo físico y físico-químico (estabilidad de agregados, pH, conductividad eléctrica), y químico (parámetros nutricionales y fracciones de carbono) (DICK et al., 1996; TRASAR-CEPEDA et al., 1998, ROS et al., 2003). De los parámetros relacionados con el estado microbiológico y bioquímico del suelo, particularmente importantes son los indicadores de la actividad microbiana, principalmente diferentes actividades enzimáticas, específicamente relacionadas con los ciclos del Nitrógeno, Fósforo y Carbono (ureasa, fosfatasa y  $\beta$ -glucosidasa, respectivamente) o de naturaleza más general como la deshidrogenada (BASTIDA et al., 2006). Otros parámetros como la respiración, también son indicadores de la actividad microbiana de índole general (GARCIA et al., 1996; BASTIDA, et al., 2007).

NANNIPIERI et al. (1990), indicaron que debido a la especificidad de las enzimas por el sustrato, parece difícil que una sola actividad pueda ser representativa del estado general de las poblaciones microbianas presentes en el suelo, sin embargo, la medida simultánea de varias actividades enzimáticas si puede resultar útil como indicador de actividad microbiana del suelo, y pueden por tanto, emplearse como marcadores de la fertilidad bioquímica del mismo (GARCÍA et al., 1998). Así pues, la actividad microbiológica influye directamente sobre la estabilidad del ecosistema y fertilidad y esta ampliamente aceptado que un buen nivel de actividad microbiana es esencial para mantener la calidad del suelo (BASTIDA et al., 2006).

## 2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo es caracterizar a partir de los parámetros microbiológicos y bioquímicos descritos, la magnitud del impacto generado como consecuencia de la actividad recreativa dentro de un espacio natural protegido, que en los últimos años es visitado por 15.000 turistas al año.

## 3. Metodología y zona de estudio.

Para la consecución del objetivo planteado se han seleccionado dos recorridos turísticos ligados a los diferentes elementos geomorfológicos que aparecen en el monte de Los Palancares y Agregados (Fig. 1). A lo largo de ambos recorridos, los cuales presentan una intensidad de uso y longitud diferentes (el 65 % de los visitantes recorren el itinerario largo de 9 km; el 35% de visitantes recorre el itinerario corto de 2.5 km), se establecieron parcelas experimentales, concretamente 26 parcelas en el recorrido corto y 58 en el recorrido largo. En cada una de estas parcelas se establecieron a su vez cinco subparcelas de 150 x 300 cm<sup>2</sup>, perpendiculares al eje del sendero y distribuidas de la siguiente manera: una parcela sobre el

eje del sendero, una parcela a la derecha e izquierda del eje del sendero y a una distancia de 10 metros del centro del sendero y una parcela a la derecha e izquierda del eje del sendero y a una distancia de 30 m del centro del sendero. De cada una de las subparcelas se obtuvieron las muestras de suelo. También se obtuvieron muestras de zonas sin actividad recreativa con el objetivo de comparar los resultados obtenidos. Cada una de estas muestras se tomo en los primeros 15 cm de suelo, adquiriendo submuestras en al menos 6 puntos diferentes dentro de cada subparcela, para obtener una la muestra homogénea. Los parámetros calculados fueron la respiración del suelo y las actividades enzimáticas deshidrogenasa, ureasa, fosfatasa y  $\beta$ -glucosidasa según (BASTIDA et al., 2007). También se inventariaron para cada subparcela las variables de porcentaje de cobertura vegetal, porcentaje de suelo desnudo, cantidad de materia orgánica y nivel de compactación del suelo. La época de muestreo fue al comienzo del otoño del año 2007, justo antes de los fríos invernales y época de lluvias, para evitar que las muestras se tomen sobre suelo recién mojado, sino cuando el suelo está en disposición de muestreo.

Dentro de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, perteneciente a la provincia y término municipal de Cuenca, y localizado en el Sistema Ibérico, concretamente en la Serranía Baja de Cuenca, se encuentra el Monte “Los Palancares y Agregados”. Dicho monte, con 4.885 ha de superficie, perteneciente al Excmo. Ayuntamiento de Cuenca, está incluido en el Catálogo de Montes de Utilidad Pública de la provincia de Cuenca con el número 106. Además, a consecuencia de la representatividad, singularidad y belleza de las formaciones geológicas y vegetales de la zona, se incluyó dentro de la superficie que conforma el Monumento Natural de Palancares y Tierra Muerta, declarado según el Decreto 2/2001 del 16 de enero del 2001 (D.O.C.M. nº 8). A su vez, está propuesto para su inclusión en la Red Natura 2000, ya que se encuentra integrado en la zona LIC “Serranía de Cuenca”, y gran parte de su superficie compone la zona ZEPa que recibe el mismo nombre.

El tradicional aprovechamiento maderero del pino laricio (*Pinus nigra Arn. ssp. salzmanii (Dunal) Franco*) se ordenó con técnicas forestales a finales del siglo XIX. Concretamente, el proyecto de ordenación del monte data del año 1894, encontrándose en la actualidad en la 10ª revisión del mismo (decenio 2006 -2015), tratándose así de uno de los primeros montes ordenados en España. El monte de U.P. Nº 106 “Los Palancares y Agregados” posee, como consecuencia de su relativa cercanía a la ciudad de Cuenca y a su amplio abanico de posibilidades ecológicas, sociales y económicas, unas demandas y presiones superiores a las que posee un “monte tradicional”. Se han venido desarrollando diferentes usos tradicionales paralelamente al maderero: el aprovechamiento de ganado bovino, ovino y equino; el uso recreativo ofertado por el Campamento Juvenil de La Hispanidad y el área recreativa de la Fuente del Royo; el aprovechamiento paisajístico de la zona kárstica situada en el interior del monte compuesta por la unidad geomorfológica de las torcas de Palancares; y la actividad investigadora desarrollada por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) y la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Albacete (ETSIA, Universidad de Castilla-La Mancha).

En este espacio forestal las formaciones vegetales dominantes son los pinares de pino laricio, los sabinars albares (*Juniperus thurifera L.*) y las masas mixtas de ambas especies, con presencia más o menos abundante de encinas (*Quercus ilex L. ssp. rotundifolia*), quejigos (*Quercus faginea Lamb.*) y enebros (*Juniperus oxycedrus L.*). El estrato arbustivo está compuesto por especies tales como *Rosa sp.*, *Genista scorpius L.* o *Crataegus monogyna*

Jacq. En cuanto al estrato herbáceo, los ejemplares mejor representados son *Eryngium campestre* L., *Thymus bracteatus* L. y *Geranium selvaticum* L.

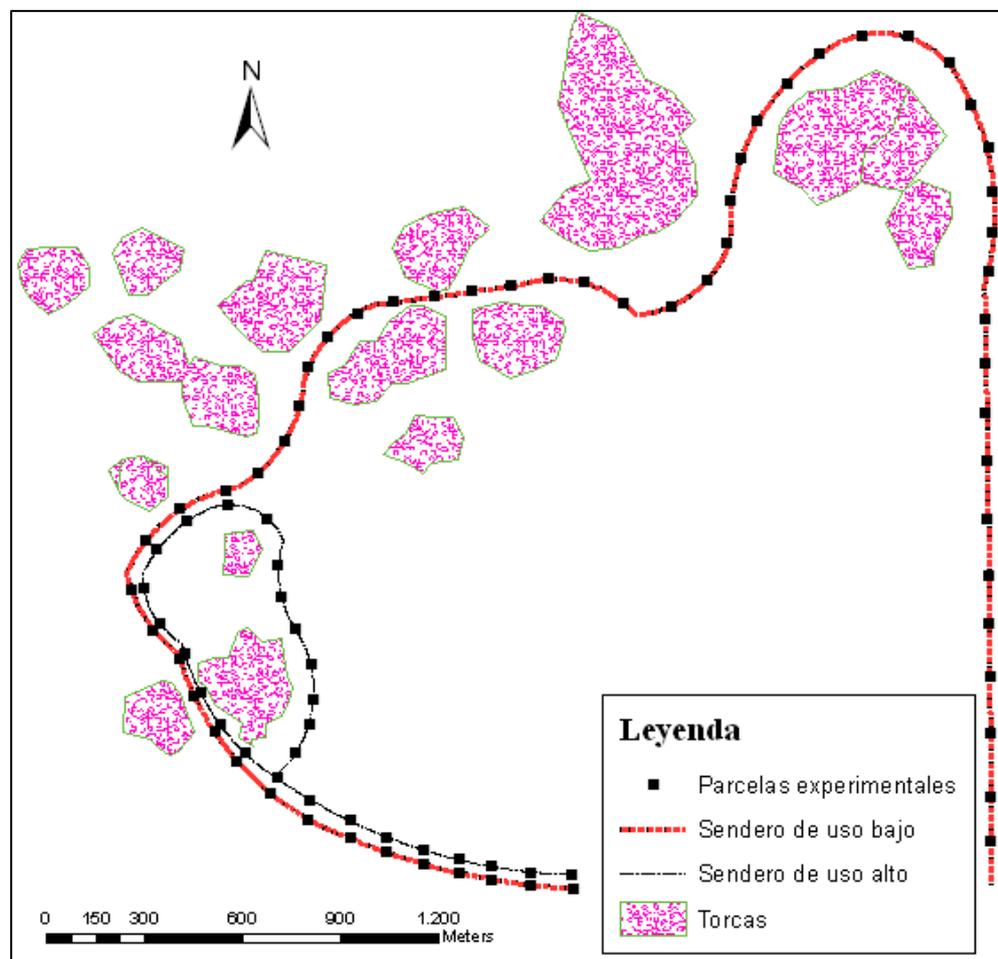


Figura 1. Localización de las parcelas experimentales seleccionadas a lo largo de los senderos estudiados.

#### 4. Resultados

La intensidad de uso y la distancia desde el centro del sendero tienen una influencia significativa sobre la actividad microbiana del suelo caracterizada a partir de la respiración y la actividad de la deshidrogenasa (Tabla 1), de manera que tanto la respiración del suelo como la deshidrogenasa han mostrado mayores valores en el sendero de menor afluencia de personas y en los puntos más externos (a 30 m del centro del sendero). La distancia del sendero a la cual se obtuvo la muestra también mostró una diferencia significativa para el resto de enzimas estudiadas ( $P < 0.05$ ), presentando los puntos más externos los mayores valores de ureasa, fosfatasa y  $\beta$ -glucosidasa. Para estas enzimas, las diferencias en relación a la interacción de los factores longitud del sendero y el uso, fueron menores y en algunos casos inexistentes. Para los parámetros microbiológicos estudiados, las zonas sin actividad recreativa presentaron los mayores niveles de respiración de suelo, deshidrogenasa, ureasa, fosfatasa y  $\beta$ -glucosidasa. Al correlacionar todos los parámetros medidos en las parcelas (físicos y microbiológicos de suelo) (Tabla 2), se han obtenido coeficientes de correlación negativos entre la compactación del suelo y los indicadores generales de actividad microbiana (la respiración del suelo y la deshidrogenasa); así como también entre el suelo desnudo y la respiración de suelo, deshidrogenasa, ureasa, fosfatasa y  $\beta$ -glucosidasa. De la misma

manera, por el contrario se ha obtenido una correlación positiva entre la cobertura vegetal, porcentaje de materia orgánica y las actividades enzimáticas y respiración.

**Tabla 1.** Resultados del ANOVA para los factores tipo de sendero y distancia desde el centro del sendero, para los parámetros microbiológicos y actividades enzimáticas analizadas (Tamaño de la muestra n= 77). \* T: Tipo de sendero; D: distancia desde el centro del sendero; T x D: interacción entre T y D.

	Respiración del suelo		Desidrogenasa		Ureasa		Fosfatasa		β-Glucosidasa	
	F-ratio	P-value	F-ratio	P-value	F-ratio	P-value	F-ratio	P-value	F-ratio	P-value
<b>Factores</b>										
<b>T</b>	36.57	<0.001	7.14	<0.05	1.71	ns	0.69	ns	1.95	ns
<b>D</b>	61.73	<0.001	19.46	<0.001	4.86	<0.05	16.79	<0.01	35.75	<0.01
<b>T x D</b>	7.91	<0.01	1.53	ns	0.71	ns	4.91	ns	2.31	<0.05

**Tabla 2.** Matriz de correlación entre los diferentes parámetros determinados (tamaño de la muestra n= 77).

\*, \*\*, \*\*\*, Nivel de significación  $P \leq 0.05$ ;  $P \leq 0.01$ ;  $P \leq 0.001$ , respectivamente. ns= No significativo.

<sup>a</sup> Pc= % cobertura vegetal; Bg= % suelo desnudo OM= materia orgánica(g/ kg); Sc= compactación del suelo(indice de cono); SR= respiración del suelo; DehA= desidrogenasa ( $\mu\text{g [INTF]} \text{g}^{-1} \text{soil h}^{-1}$ ); UreA= ureasa ( $\mu\text{mol N-NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{dry soil h}^{-1}$ ); PhA= Fosfatasa( $\mu\text{moles PNP g}^{-1} \text{dry soil h}^{-1}$ ); Bgluc= β-glucosidasa( $\mu\text{moles PNP g}^{-1} \text{dry soil h}^{-1}$ ).

Parametro	Bg	Pc	OM	Sc	SR	DehA	UreA	PhA	Bgluc
Bg									
Pc	-0.55***								
OM	-0.55**	0.52*							
Sc	0.75***	-0.39**	-0.69***						
SR	-0.55**	0.67**	0.79**	-0.59***					
DehA	-0.65***	0.70**	0.81**	-0.58***	0.81**				
UreA	-0.42*	0.77**	0.79**	0.15	0.59**	0.58***			
PhA	-0.30**	0.59**	0.64**	0.10	0.67**	0.70***	0.38**		
Bgluc	0.19	0.62**	0.67**	0.23*	0.72**	0.71***	0.27***	0.82***	

## 5. Discusión

Un solo parámetro es insuficiente para caracterizar la calidad biológica del suelo, ya que este es heterogéneo y un determinado factor puede afectar de forma predominante a un determinado parámetro y no a otro. Por ello, se requiere estudiar un conjunto de parámetros (NANNIPIERI et al., 1990). Las enzimas estudiadas son catalizadores biológicos de reacciones específicas, las cuales dependen a su vez de una variedad de factores (GARCIA, et al., 2002). En la medida en que estos factores varían en el medio, también pueden hacerlo las actividades enzimáticas.

La actividad enzimática de la deshidrogenasa ha sido usada para valorar la actividad microbiana, y determinados estudios (GARCIA y HERNANDEZ, 1997) han mostrado como la actividad de esta enzima es un buen índice de la actividad microbiana en zona semiáridas de la península ibérica. De hecho, la actividad deshidrogenasa se ha considerado como un indicador general de la actividad metabólica de los suelos, lo que está correlacionado con la actividad microbiana (SKUJINS, 1976), al igual que la respiración (CARBALLAS, et al., 1979).

Los resultados obtenidos muestran que el pisoteo asociado a la actividad recreativa influye sobre las propiedades microbiológicas del suelo de tal manera que se ha generado una disminución de la respiración del suelo y actividad de la deshidrogenasa, generalmente de proporciones superiores sobre el sendero o a 10 metros del mismo, y en el sendero de mayor uso. Para las demás actividades enzimáticas calculadas el tipo de sendero no ha influido y si la distancia a la que se obtuvieron las muestras, lo que indicaría que para la zona de estudio u trabajo que nos ocupa, no habría diferencias entre la intensidad de uso recreativo (intensidad de pisoteo) para estos parámetros.

Por otro lado, la actividad microbiana se ha incrementado en los puntos de menor influencia humana y en las zonas sin actividad recreativa, en las que se observa una mayor presencia de cubierta vegetal, menor porcentaje de suelo desnudo y menor compactación de suelo. Así lo demuestran los análisis de correlación, ya que en el presente estudio, la deshidrogenasa y la respiración microbiana han presentado una correlación significativa y positiva con las variables cobertura vegetal y materia orgánica. Las tendencias seguidas por ambas variables han sido muy similares, en consonancia con la correlación positiva encontrada por otros autores para estos dos parámetros (GARCIA y HERNANDEZ, 1997; BASTIDA et al., 2007).

Para el resto de actividades enzimáticas estudiadas, los análisis de correlación han sido menos significativos. La proteasa,  $\beta$ -glucosidasa y fosfatasa son enzimas que operan de forma extracelular actuando en reacciones de hidrólisis de componentes orgánicos para producir componentes inorgánicos (BASTIDA et al., 2007). Dichas enzimas están fuertemente influenciadas por los procesos de degradación del suelo y los cambios en la materia orgánica (GARCIA et al., 1994). La naturaleza extracelular y el hecho de que las hidrolasas son específicas de cada sustrato, dificulta el establecimiento de relaciones entre las actividades extracelulares, ya que, al estar en contacto con el suelo, están fuertemente influenciadas por factores tales como las condiciones nutricionales del medio, temperatura, disponibilidad de agua, concentración de protones y el suministro de oxígeno (SCHLOTTER et al., 2003). Además, el hecho de que estas enzimas se originen por la vida o la muerte de organismos (KRÄMER & GREEN, 2000), indica que sus niveles también varían temporal y espacialmente.



## 6. Conclusiones

La actividad microbiológica de los suelos afecta a los ecosistemas y a su fertilidad. La importancia de conocer dicha actividad microbiana reside en la influencia que numerosos microorganismos tienen en las reacciones de oxidación, reducción, hidrólisis y degradación de la materia orgánica, y que a su vez tienen un claro reflejo en los ciclos naturales de C, N, P y otros elementos, estableciendo con ellos las condiciones idóneas para la formación de la cubierta vegetal estable. Las propiedades microbiológicas y los organismos que se encuentran en el suelo juegan un papel importante en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes del suelo, cuyos cambios en el tiempo y en el espacio pueden ser monitorizados con el uso de parámetros microbiológicos, los cuales pueden ayudar en la diagnosis de impactos sobre el suelo en lugares donde se desarrollen actividades recreativas. Según el trabajo realizado se puede afirmar que la actividad recreativa genera impacto sobre el suelo y que el mantenimiento de una cubierta vegetal es vital para preservar la fertilidad y calidad de dichos suelos.

## 7. Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Servicio de Medio Natural, de la Delegación Provincial de Agricultura y Desarrollo Rural de Cuenca por haber facilitado la documentación necesaria y el acceso a los montes. Del mismo modo, agradecer a Dr. Carlos García Izquierdo y personal investigador del CEBAS-CSIC (Murcia) la ayuda prestada.

## 8. Bibliografía

BASTIDA, F., MORENO, J.L., HERNÁNDEZ, T., GARCÍA, C., 2007. The long-term effects of the management of a forest soil on its carbon content, microbial biomass and activity under a semi-arid climate, *Appl. Soil Ecol.* 37: 53–62.

BASTIDA, F., MORENO, J.L., HERNÁNDEZ, T., GARCÍA, C., 2006. Microbiological activity in a soil 15 years after its devegetation, *Soil Biol. Biochem.* 38, 2503–2507.

CARBALLAS, M., CARBALLAS, T., JACQUIN, E., 1979. Biodegradation and humification of organic matter in humiferous atlantic soils. *An. Edafol. Agrobiol.* 38, 1699-1717.

DICK, R.P., BREAKWELL, D.P., TURCO, R.F. 1996. Soil Enzyme Activities and Biodiversity Measurements as Integrative Microbiological Indicators. En: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds). *Methods for Assessing Soil Quality.* 247-271 pp. SSSA Special Publication Number 49.

GARCÍA, C., HERNÁNDEZ, T., BARAHONA, A., COSTA, F. 1996. Organic matter characteristics and nutrient content in eroded soils. *Environ. Manage.* 20, 133-141.

GARCÍA, C., HERNANDEZ, T., 1997. Biological and biochemical indicators in derelict soils subject to erosion. *Soil Biol. Biochem.*, 29 (2): 171-177.

- GARCÍA, C., HERNÁNDEZ, T., ROLDÁN A., MARTÍN, A., 2002. Effect of plant cover decline on chemical and microbiological parameters under mediterranean climate. *Soil Biol. Biochem.*, 34:635-642
- GARCÍA, C., HERNANDEZ, T., Y COSTA, F., 1994. Microbial activity in solis under Mediterranean enviromental conditions. *Soil Biol. Biochem.*, 26, 1185-191.
- GARCÍA, C., HERNANDEZ, T., COSTA, F., 1998. Microbial activity in solis under Mediterranean climate. *Plant Nutr.* 44, 93-103.
- HARRIS, J.A., BIRCH, P. 1989. Soil microbial activity in opencast coal mine restorations. *Soil Use Manage.* 5, 155-160.
- KRAMER, S. GREEN, D. M. 2000. Acid and alkaline phosphatase dynamics and their relationship to soil microclimate. in a semiarid woodland. *Soil Biol. Biochem.* 32, 179-188.
- NANPIERI, P., GREGO, S., CECCANTI, B., 1990. Ecological significance of the biological activity in soil. In: Bollag, J.M., Stotzky, G. (Eds.), *Soil Biochemistry*. Marcel Dekker. 293-355 pp. New York, USA.
- ROLDÁN, A., ALBALADEJO, J., THORNES, J.B. 1996. Aggregate stability changes in a semiarid soil after treatments with different organic amendments. *Arid Soil Res. Rehabil.* 10, 139-148.
- ROS, M., GARCÍA, C., HERNÁNDEZ, T., ANDRÉS, M., DEL CERRO-BARJA, A. 2004. Short term effects of human trampling on vegetation and soil microbial activity. *Commun. Soil Scien. Plant Anál.* 35, 1591-1603.
- SCHLOTTER, M., DILLY, O., MUNCH, J. C. 2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agricul. Ecosys. Environ.* 98, 255-262.
- SKUJINS, J. 1976. Extracellular enzymes in soil. *Crit. Rev. Microbiol.* 4, 383-421.
- SMITH, L.J., PAPENDICK, R.I., 1993. Soil organic matter dynamics and crop residue management. En: Blaine Metting (Ed.). *Soil Microb. Ecol.* Marcel Dekker. New York.
- TRASAR CEPEDA, C., LEIRÓS, M.C., GIL SOTRES, F., SEOANE, S., 1998. Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. *Biol. Fertil. Soils* 26, 100-106.

