

SUELOS EROSIONADOS: BIOINDICADORES DE SU CALIDAD BIOLÓGICA Y BIOQUÍMICA

Carlos GARCÍA IZQUIERDO, Teresa HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ y Francisco COSTA YAGÜE

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura.
Apdo. 4195, 30080-Murcia. E-Mail: cgarizq@ natura.cebas.csic.es

Abstract: The effect of the soils abandonment (which shows a diminution of vegetal cover and are prone to erosion processes) on their biological and biochemical quality is not well understood. In order to improve our knowledge in such field parameters related with the soil organic matter and biological and biochemical parameters such as carbon biomass, basal respiration and some hydrolase activities (dehydrogenase, urease, protease phosphatase and β -glucosidase) were determined in these soils. In general, it can be said that soils without vegetal cover and subjected to erosion processes show lower organic matter contents (particularly as regards the most labile carbon fractions) than soils without antropogenic influence which support a natural vegetation; these organic matter contents being even lower than those of agricultural soils of the same zone devoted to fruit tree monoculture. The lack of a stable vegetation in the soils, which favours soil erosion processes, is also responsible for the poor soil biological and biochemical quality.

Key Words: basal respiration, biomarkers, biomass carbon, enzyme activities, eroded soils, soil quality.

Resumen: El efecto que tiene el abandono de suelos agrícolas, con la consiguiente erosión que ello provoca al quedar desprovistos de vegetación, sobre la calidad biológica y bioquímica de dichos suelos es muy poco conocido. Por ello, se han determinado en esos suelos parámetros relativos a la materia orgánica, y otros biológicos y bioquímicos: carbono de la biomasa, respiración basal, y algunas actividades enzimáticas (deshidrogenasas, ureasa, proteasa, fosfatasa y β -glucosidasa). En general, podemos indicar que los suelos sin vegetación, sometidos a procesos de erosión, disponen de contenidos menores de materia orgánica (en particular en lo referente a sus fracciones más lábiles) que aquellos suelos que no han sufrido acción antrópica y mantienen una vegetación natural, o incluso menor que los suelos con agricultura de monocultivo arbóreo de la zona. La falta de vegetación estable en un suelo, y la erosión que este hecho provoca sobre el mismo, es también la causante de que se vea desfavorecida su calidad biológica y bioquímica.

Palabras Claves: actividad enzimática, bioindicadores, calidad de suelos, carbono de biomasa, respiración basal, suelos erosionados.

INTRODUCCIÓN

Muchos de los suelos del área mediterránea española han sufrido durante años una

sobreexplotación debido fundamentalmente a un fuerte uso agrícola al que se sometieron; en la actualidad son estos suelos los que muestran síntomas severos de degradación, siendo los

procesos de erosión hídrica los que predominan en esta zona (Albaladejo, 1990); este conjunto de suelos es considerado como un ecosistema frágil y ecológicamente sensible, sometido a una excesiva presión humana durante años (Pérez Trejo, 1994; López-Bermúdez, 1993). Los procesos erosivos provocan una reducción de la cubierta vegetal del suelo, lo cual tendrá un efecto directo sobre la escasez de su materia orgánica (García et al., 1996a); es precisamente la materia orgánica del suelo la principal precursora de su sostenibilidad.

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 et al., 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 and Birch, 1989). Podemos pues afirmar que el estudio de la calidad biológica y bioquímica de un suelo puede servir como indicador del estado general de dicho suelo.

Los parámetros capaces de diagnosticar la calidad biológica y bioquímica de los suelos deberían de ser rápidos, sensibles y sencillos de medir, dando de esta manera una información más eficaz que la facilitada por otros parámetros tradicionales como el carbono orgánico total (Sparling, 1992). Sin embargo, este tipo de medidas no resulta sencillo debido a lo complicado que es el estudio de los microorganismos y de sus reacciones a nivel de microhábitats. Además, debido a la complejidad dinámica que presenta el ecosistema suelo, la medida de un solo parámetro es difícil que pueda resultar útil y satisfactoria como reflejo de la actividad microbiana del mismo, y por tanto, de su calidad biológica. Es por ello que nosotros empleamos siempre diversos bioindicadores que puedan ofrecer una visión generalizada de cuál es el estado biológico y bioquímico del suelo; métodos indirectos basados en el análisis de consti-

tuyentes de microorganismos, fundamentalmente carbono y nitrógeno (Jenkinson and Ladd, 1981), materia orgánica lábil (Cook and Allan, 1992), respiración del suelo (Nannipieri et al., 1990), medidas de ATP (Brookes et al., 1984), o medidas de diversas actividades enzimáticas (Dick, 1992) se revelan como eficaces.

En este trabajo pretendemos conocer la influencia que los procesos erosivos a que están llegando numerosos suelos del área mediterránea en estudio, debido fundamentalmente a su abandono, tienen sobre su calidad biológica y bioquímica. Para ello hemos determinado una serie de parámetros (bioindicadores) de dicha calidad: fracciones de materia orgánica (en particular de la más lábil), carbono de la biomasa, respiración basal, y otros parámetros bioquímicos tales como actividades enzimáticas (oxidoreductasas e hidrolasas). Los valores obtenidos en estos suelos degradados han sido comparados con los encontrados en suelos de la misma zona que no han sufrido acción antrópica (suelos naturales), y con aquellos que soportan una agricultura típica de la zona (cultivo continuado de cítricos).

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño experimental

Los muestreos se realizaron en la misma época (primavera) en tres grupos de suelos diferentes. Un primer grupo corresponde a suelos que no han sido cultivados desde hace más de 40 años; estos suelos fueron sometidos con anterioridad a un fuerte uso agrícola, y en el momento de muestreo su cubierta vegetal corresponde a un tomillar degradado, no superando el 4% de densidad en ningún caso. Este hecho los clasifica como un sistema frágil, sometido a procesos de erosión hídrica, y con la consiguiente degradación que ello provoca. Un segundo grupo de suelos son los que denominamos "naturales", situados en zonas cercanas a los anteriores, pero que no han sufrido acción antrópica alguna; su cubierta vegetal corres-

ponde a *Quercus rotundifolia* y su densidad de vegetación es de 60-75%. El tercer grupo de suelos lo constituyen aquellos que en la actualidad mantienen cultivos típicos de la zona (arbolado de cítricos, mantenidos durante al menos 25-30 años). Para todo el conjunto de suelos estudiado, las condiciones climáticas son iguales, ya que se encuentran en la misma zona de influencia: pluviometría de 150-200 mm/año y temperatura media anual de 18-19 °C, por lo que el clima a que están sometidos todos los suelos estudiados es semiárido con tendencia a árido. La topografía de las zonas donde se muestrearon los suelos también fue similar en todos ellos (pendientes 0-3%). La textura predominante en la mayor parte de los suelos de la zona de estudio es franco-arcillosa. Más información sobre el conjunto de suelos estudiados se puede encontrar en García et al., (1994; 1996b).

Los muestreos se realizaron por triplicado para cada suelo; cada muestra estaba a la vez compuesta de 6 submuestras de 150 cm³ de suelo inalterado, tomado en los 0-15 cm de superficie, ya que es en esta zona donde los parámetros que se quieren medir van a tener una mayor respuesta. Se muestrearon 24 suelos de cada uno de los grupos anteriormente citados.

Métodos analíticos

El carbono orgánico total y el carbono extraíble con pirofosfato sódico (0,1 M a pH neutro) se determinó por el método de Yeomans and Bremner (1989). En el extracto soluble (1/10 relación sólido/líquido), se midieron los carbohidratos solubles (De Luca and Keeney (1993), y el carbono soluble en agua, espectrofotométricamente por oxidación con dicromato potásico. El carbono de biomasa microbiana se determinó sobre suelo fresco, mediante el método de fumigación-extracción con cloroformo (Vance et al., 1987). Para la medida de respiración basal se emplearon frascos herméticos donde se situaba el suelo, humedecido al 60% de su capacidad de retención hídrica, colocando a la vez un vial con NaOH;

el CO₂ desprendido se determina a partir del Na₂CO₃ formado, el cual se mide por valoración con HCl.

La actividad de las deshidrogenasas se determinó por reducción del p-iodo nitrofenil fenil cloruro de tetrazolio (INT) a iodo nitro fenil formazano (INTF), siguiendo el método de García et al., (1993). De las demás hidrolasas ensayadas, la ureasa, proteasa y la fosfatasa se determinaron según el método de Nannipieri et al., (1980). La (β-glucosidasa se midió según García et al., (1994).

RESULTADOS Y DISCUSION

Fracciones de materia orgánica

En los suelos agrícolas abandonados estudiados, prácticamente sin vegetación y sometidos a clima semiárido, el contenido en carbono orgánico total es muy bajo, teniendo una media de 7 g kg⁻¹; en suelos de la misma zona, pero que no han sufrido acción antrópica alguna, la media de carbono encontrado es de 22 g kg⁻¹ (fig. 1). Es claro por tanto que en esta zona, la agricultura intensiva que se ha llevado a cabo durante años ha perjudicado a la fertilidad natural de los suelos, empobreciéndolos en materia orgánica (García et al., 1996a y b); además, en esta zona existe un factor limitante que es la escasez de agua, por lo que la recuperación natural de los suelos es muy lenta. En suelos agrícolas abandonados, pero con pluviometría superior a la de los suelos expuestos anteriormente en la Figura 1 (450-500 mm año) su recuperación natural ha comenzado a producirse después de 30 años de abandono (García et al., 1997).

Un aspecto interesante a resaltar lo pusieron de manifiesto Albaladejo et al., (1994), estudiando suelos deforestados; según los citados autores, la propia deforestación hace que dichos suelos aumenten su temperatura hasta 4°C más que aquellos no deforestados. Este aumento contribuye a mineralizar más materia orgánica, y por lo tanto, a su disminución.

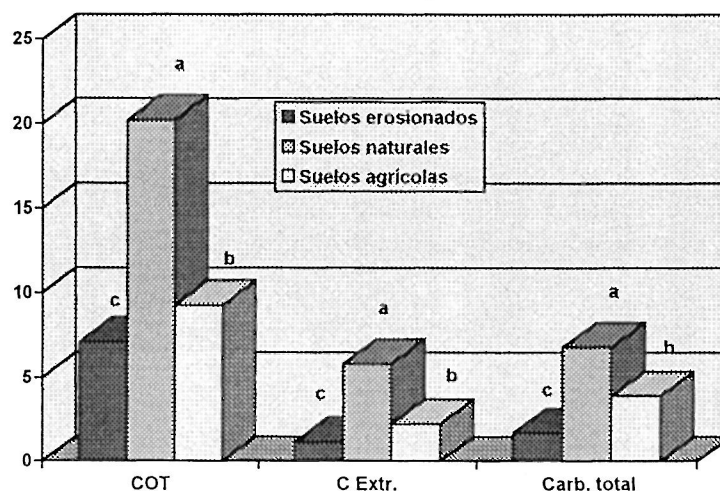


Figura 1. Media de los valores de carbono orgánico total (COT)(g C kg⁻¹), carbono extraíble con pirofosfato sódico (C Extr.) (g C kg⁻¹) y carbohidratos totales (Carb. total) (g glucosa kg⁻¹) en los suelos estudiados. Para cada parámetro, los grupos de suelos seguidos de igual letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$, test MDS).

García et al., (1994) pusieron así mismo de manifiesto que en suelos erosionados del área semiárida mediterránea de España, los contenidos en carbono de sustancias húmicas de los suelos son bajos (1.07 g Kg⁻¹, fig. 1). Estos autores consideran por tanto que sólo un 15% del carbono orgánico total es extraíble con pirofosfato sódico (sustancias húmicas), lo cual es indicativo de que el resto de carbono o bien es materia orgánica fresca no humificada, o bien es materia orgánica tipo humina; en suelos erosionados, casi sin vegetación y por tanto con escasos aportes externos de carbono, nos inclinamos a pensar que la materia orgánica existente es tipo humina, frecuentemente ligada a los coloides minerales.

El contenido existente en suelos erosionados de carbohidratos totales también se ha estudiado, y un ejemplo lo constituyen los datos expuestos en la Figura 1. Se observa el escaso valor de este parámetro cuando se compara con el encontrado en suelos no alterados (naturales). Se ha sugerido en ocasiones una correla-

ción entre el contenido en carbohidratos y la estabilidad de agregados (Cheshire et al., 1983); otros autores han puesto asimismo de manifiesto la relación existente entre los microagregados estables y el humus (Fortún et al., 1989).

Cuando se quiere conocer, como es nuestro caso, la calidad biológica de un suelo, el estudio de fracciones lábiles de materia orgánica adquiere gran interés. La fracción de la materia orgánica soluble en agua es importante en la solución del suelo (Kniters and Mulder, 1993) y puede actuar como indicador de productos susceptibles de mineralización (Cook and Allan, 1992). La gran mayoría de los suelos erosionados estudiados por nosotros muestran valores de carbono soluble en agua muy bajos, comparados con los determinados en suelos sobre los que no ha existido acción antrópica (fig. 2); ello es indicativo del escaso contenido de materia orgánica activa y fácilmente mineralizable en estos suelos. Del mismo modo, los carbohidratos solubles detectados en los suelos erosionados del sureste mediterráneo español son muy ba-

jos. De acuerdo con De Luca and Keeney, (1993), el carbono que es soluble en el reactivo antrona refleja el nivel de azúcar libre asociado a los residuos de plantas asimilables por los microorganismos, y puede ser un reflejo de la actividad microbiana.

En las figuras 1 y 2 también se han representado los valores de fracciones de carbono correspondientes a suelos agrícolas de la misma zona sometidos durante al menos 25 años a monocultivos arbóreos. En general, los parámetros relativos al carbono muestran en estos suelos valores menores que en los suelos no alterados; ello es lógico si pensamos que las prácticas agrícolas normalmente favorecen la mineralización de la materia orgánica, y la pérdida de fracciones de carbono. Los valores de los suelos agrícolas que se abandonaron mantienen aún, respecto a los actuales suelos agrícolas, menores valores en las fracciones de carbono estudiadas, por lo que en este sentido, no ha sido el suelo capaz de reactivarse; ello se debe indudablemente a las condiciones del ecosistema en estudio, con escasa pluviometría

(el agua es un factor limitante en la zona), y cuando ésta se produce, lo hace de forma torrencial favoreciendo a los procesos de erosión hídrica, perjudicando por tanto a la recuperación espontánea de dichos suelos.

Estudio sobre parámetros biológicos y bioquímicos

La actividad microbiológica de los suelos afecta a los ecosistemas y a su fertilidad. La importancia de conocer dicha actividad microbiana hay que buscarla, sin duda, en la influencia que numerosos microorganismos tienen en reacciones de oxidación, reducción, hidrólisis y degradación de la materia orgánica, y que a su vez tienen un claro reflejo en los ciclos naturales del C, N, P y otros elementos, estableciendo con ello las condiciones idóneas para la formación de una cubierta vegetal estable. En conclusión, podemos admitir que el estado biológico y bioquímico de un suelo puede ser reflejo de la calidad del mismo, lo cual irá ineludiblemente unido a su fertilidad natural.

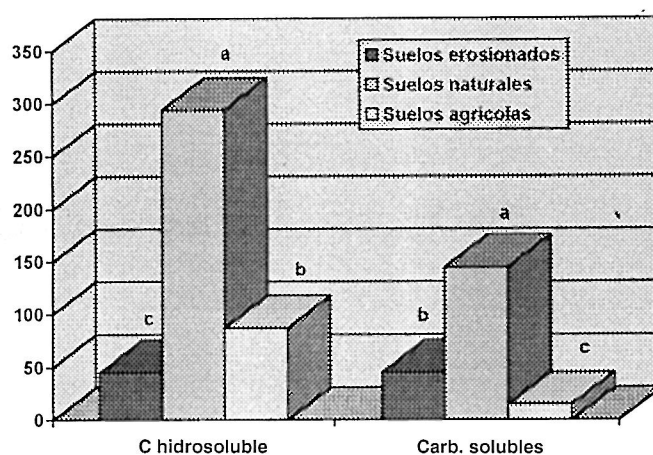


Figura 2. Media de los valores de carbono hidrosoluble (C hidrosoluble) (mg C kg⁻¹) y carbohidratos solubles en agua (Carb. solubles) (mg C kg⁻¹) en los suelos estudiados. Para cada parámetro, los grupos de suelos seguidos de igual letra no son diferentes significativamente (p < 0,05, test MDS).

Carbono de la biomasa microbiana

En los últimos años existe un creciente interés en estimar la biomasa total que existe en los suelos; su importancia es debida, según Paul and Voroney (1989), a los microorganismos del suelo, los cuales juegan un papel principal en la retención y liberación de nutrientes y energía en el sistema. Este parámetro ha sido empleado como bioindicador de los cambios que experimenta la materia orgánica del suelo (Polwson and Jenkinson, 1981); también se ha empleado como índice de comparación entre sistemas naturales y degradados (Ross et al., 1982).

El carbono de la biomasa en los suelos erosionados es mucho menor que en los suelos que no han sufrido acción antrópica alguna (fig. 3). Nosotros presuponemos que las comunidades microbianas que existen en estos suelos castigados por la erosión deben de ser bastante similares a las existentes a los suelos no alterados, pero menor en número. Además, hay que tener en cuenta que la erosión produce una pérdida de suelo en las capas más superficiales

de éste, perdiéndose por tanto la que podríamos llamar materia orgánica activa, donde se encuentra sin duda la biomasa microbiana (fig. 3). Los suelos agrícolas de la zona muestran valores de biomasa microbiana bastante superiores a los suelos degradados estudiados por nosotros; parece claro que el abandono del suelo y la escasez de cubierta vegetal en los mismos produce una disminución en la biomasa microbiana, afectando por tanto a la calidad biológica de los suelos.

Respiración basal

Consideramos a la respiración basal como un parámetro biológico, capaz de indicar la actividad microbiana del suelo, además de marcar diferencias en función de diversos factores (temperatura, humedad, propiedades del suelo, etc.). Carballas et al., (1979) utilizan la respiración basal como índice de actividad microbiana en suelos. La respiración basal puede ser un indicador de la biomasa que es verdaderamente activa. García et al., (1994) correlacionan el

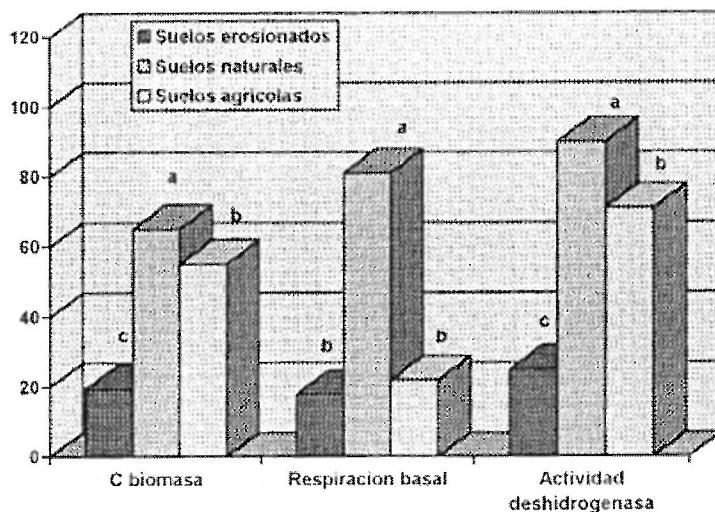


Figura 3. Media de los valores de carbono de biomasa (C biomasa) ($\text{mg g}^{-1} 10^{-1}$), respiración basal ($\text{ng C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$) y actividad deshidrogenasa (mg INTF g^{-1}) en los suelos estudiados. Para cada parámetro, los grupos de suelos seguidos de igual letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$, test MDS).

desprendimiento de CO₂ con las características físicas de los suelos, así como con sus usos y procesos degradativos.

Existen grandes diferencias (fig. 3) entre la respiración basal de los suelos erosionados y la de aquellos que no han sido modificados por actividad humana. Ello es debido sin duda a la escasez de cubierta vegetal en estos suelos erosionados, lo que hace que su materia orgánica sea muy difícil de degradar como consecuencia de la falta de aportes externos de materia orgánica fresca (como la aportada por restos vegetales), y por lo tanto poco predispuesta a la mineralización. Si observamos el valor de la respiración basal existente en los suelos erosionados, y la de los suelos agrícolas de monocultivo estudiados, observamos cómo los valores son bastante similares; este hecho confirma que en general la agricultura favorece la mineralización de la materia orgánica del suelo con motivo precisamente del manejo del suelo.

Enzimas del suelo

El estudio de las enzimas del suelo, en particular de oxidoreductasas e hidrolasas, ha experimentado un claro auge en los últimos años. Ceccanti y García, (1994) indicaron que la importancia de este hecho deriva fundamentalmente del interés que tienen las enzimas en la evolución y procesos degradativos de la materia orgánica. Hay que tener en cuenta que procesos como la mineralización y humificación de la materia orgánica se rigen en gran medida por reacciones de oxidación, reducción e hidrólisis; las enzimas desempeñan un papel fundamental en los ciclos de elementos importantes como el nitrógeno (ureasas y proteasas), el fósforo (fosfatasa) o el carbono (β -glucosidasas).

Nannipieri et al., (1990) indicaron que debido a la especificidad de las enzimas por el substrato, parece difícil que una sola actividad pueda ser representativa del estado total de nutrientes presentes en el suelo; sin embargo, la medida simultánea de varias actividades enzimáticas sí puede resultar útil como índice de la bioactividad del suelo, y pueden por tanto

emplearse como marcadoras de la fertilidad bioquímica del mismo (Gil-Sotres et al., 1992).

a) *Actividad deshidrogenasa*

Las deshidrogenasas catalizan las reacciones en las que los compuestos orgánicos se oxidan como consecuencia de la captura de electrones e hidrógeno por aceptores existentes en el medio. Diversos investigadores han empleado la actividad deshidrogenasa como índice de la actividad biológica de un suelo (Beyer et al., 1992); sin embargo, también en ocasiones su empleo ha conducido a resultados contradictorios, por lo que su uso ha sido a veces criticado (Nannipieri et al., 1990). García et al., (1993) demostraron que en suelos de clima semiárido, la actividad deshidrogenasa es útil para marcar tanto la degradación de dichos suelos como su recuperación.

La actividad metabólica total de los microorganismos se ve mermada en los suelos degradados sometidos a procesos de erosión, como indica el escaso valor de actividad deshidrogenasa determinado en ellos (fig. 3). Los procesos de degradación que sufren los suelos erosionados dificultan el restablecimiento de una vegetación estable, y por tanto, los aportes externos de materia orgánica al suelo serán muy escasos; no existen compuestos orgánicos capaces de activar la síntesis enzimática en el suelo. En los suelos agrícolas, la actividad deshidrogenasa detectada es mayor que la de los suelos erosionados, pero menor que la de aquellos no alterados. Los exudados radicales y los aportes de restos vegetales al suelo que se producen como consecuencia de los cultivos contribuirán a la actividad de las deshidrogenasas en los suelos agrícolas. En estos mismos suelos, como vemos también en la figura 3, el valor de C de la biomasa microbiana era también más elevado en los suelos agrícolas que en aquellos erosionados; ello es lógico si pensamos que las deshidrogenasas son enzimas endocelulares, dependiendo por tanto de la biomasa microbiana, debiendo de existir una relación entre ambos.

b) *Actividad ureasa y proteasa BAA*

La ureasa y la proteasa que hidroliza la N α -benzoil-L-argininamida (BAA) son dos enzimas del ciclo del nitrógeno que participan en la hidrólisis de las proteínas a amonio; el sustrato empleado por la ureasa es la urea, mientras que la proteasa determinada por nosotros usa como sustrato los péptidos sencillos y dipéptidos.

Los suelos erosionados estudiados en el sureste mediterráneo español cuentan con menores actividades ureasa y proteasa BAA que los suelos no alterados (fig. 4). Este hecho puede ser interpretado en el sentido de que el ciclo del nitrógeno, cuando en los suelos se producen procesos de erosión, funciona defectuosamente. La escasa actividad enzimática observada en estos suelos demuestra el escaso contenido en sustratos nitrogenados capaces de activar la síntesis de las enzimas del ciclo del N. A destacar que en los suelos agrícolas estudiados es elevado el contenido de actividad ureasa en proporción al observado en los suelos erosionados; esta actividad es incluso más elevada en estos suelos agrícolas que en aquellos

no alterados. Este hecho demuestra que la actividad ureasa se ve posiblemente favorecida por los sustratos nitrogenados tipo urea que se adicionan a los suelos con las fertilizaciones.

c) *Actividad fosfatasa*

Esta enzima es la encargada de hidrolizar fósforo orgánico, transformándolo en fósforo inorgánico asimilable por las plantas. Su origen es diverso, pudiendo proceder de la actividad de microorganismos (bacterias, levaduras, hongos protozoos, etc.), o bien ser excretadas por los microorganismos existentes en las raíces de las plantas (Tabatabai, 1982). Es clara pues la importancia de esta enzima y su relación con el ciclo del fósforo.

Según nuestro estudio, la actividad fosfatasa encontrada en los suelos agrícolas abandonados, y sometidos a procesos de erosión, es mucho menor que la detectada en suelos con vegetación natural, los cuales no han sufrido acción antrópica (fig. 5). Puede ocurrir que los propios procesos degradativos de estos suelos eliminen los sustratos fosforados para la síntesis

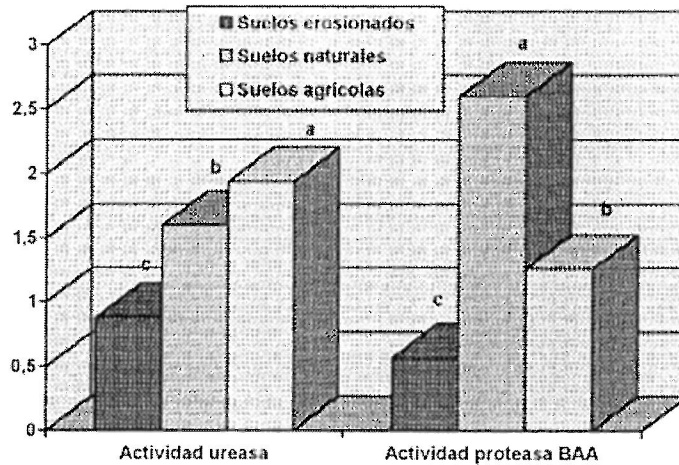


Figura 4. Media de los valores de actividad ureasa y actividad proteasa BAA ($\mu\text{mol NH}_3 \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$) en los suelos estudiados. Para cada parámetro, los grupos de suelos seguidos de igual letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$, test MDS).

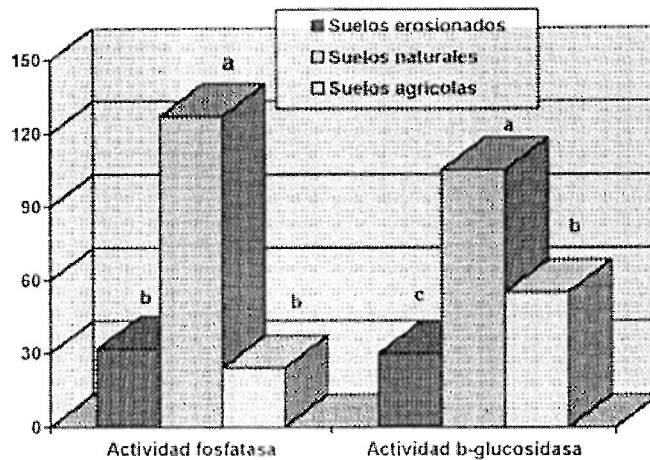


Figura 5. Media de los valores de actividad fosfatasa y actividad b-glucosidasa ($\mu\text{mol p-Nitrofenol g}^{-1} \text{h}^{-1}$) en los suelos estudiados. Para cada parámetro, los grupos de suelos seguidos de igual letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$, test MDS).

sis de las enzimas, o bien que, aunque éstos existan, al no haber vegetación no haya tampoco necesidad de sintetizar la enzima e hidrolizar fósforo orgánico. En los suelos agrícolas se detecta un valor de actividad fosfatasa aún menor que el encontrado en suelos degradados, posiblemente debido a la fertilización inorgánica aportada a esos suelo, ya que el fósforo inorgánico (el cual puede incorporarse al suelo con las citadas fertilizaciones) es un inhibidor de esta enzima.

d) Actividad (β -glucosidasa)

La (β -glucosidasa es la enzima que cataliza la hidrólisis de varios (-glucósidos presentes en el suelo o en los residuos de plantas en descomposición (Hayano and Tubaki, 1985) la hidrólisis de este tipo de sustratos juega un importante papel en la obtención de energía para los microorganismos, lo cual le confiere a esta enzima una gran importancia dentro del ciclo del carbono.

La falta de sustratos carbonados lábiles en los suelos erosionados (motivada tanto por la escasez de vegetación y materia orgánica, como por la pérdida de ésta por la escorrentía) es la

causante de la baja actividad (β -glucosidasa frente a aquellos suelos que no han sufrido acción antrópica (fig. 5). La mineralización de la materia orgánica, y con ello la desaparición del medio de las fracciones lábiles, es la causa de que también aparezcan bajos valores de (β -glucosidasa en los suelos agrícolas.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que el conjunto de bioindicadores determinados en suelos de clima semiárido del sureste mediterráneo español refleja la pérdida de calidad biológica y bioquímica cuando dichos suelos son abandonados y quedan desprovistos de cubierta vegetal. Respecto a los suelos que no han padecido acción antrópica alguna, aquellos que en la actualidad soportan cultivos también ven mermada su calidad; interesa sin embargo advertir que enzimas incluidas en el ciclo del N (como la ureasa) muestran valores elevados en los suelos agrícolas como consecuencia de que los fertilizantes empleados pueden actuar como sustratos de dichas enzimas.

En suelos sometidos durante largos años a procesos degradativos como la erosión, prácticamente cualquiera de los bioindicadores empleados da un claro reflejo de su baja actividad microbiana y por tanto, de su escasa calidad biológica. No se puede decir lo mismo de los suelos agrícolas, donde el cultivo ejerce influencia en algunos de los bioindicadores estudiados (carbono de la biomasa microbiana o actividades enzimáticas como la ureasa anteriormente citada).

REFERENCIAS

- Albaladejo, J. (1990). Impact of the degradation processes on soil quality in arid Mediterranean environment. p. 193-215. En J.L. Rubio and R.J. Ricks (ed.). Strategies to combat desertification in Mediterranean Europe. Commission of the European Communities. Luxembourg.
- Albaladejo, J., Castillo, V. & Martínez-Mena, M. (1994). Effect of vegetal cover on runoff and soil loss. *Annals Geophysical Supp.* **12**, C412.
- Beyer, L., Wackendorf, C., Balsen, F.M. & Balzan-Graf, V.R. (1992). The effect of soil texture and soil management on microbial biomass and soil enzyme activities in arable soils of Northwest Germany. *Agrobiol. Res.* **45**, 276-283.
- Brookes, P. C., McGrath, S. .P., Klein, D.A. & Elliot, E. T. (1984). Effects of heavy metals on microbial activity and biomass in field soils treated with sewage sludge. Environmental Contamination (International Conference, London, July 1984) CEP Ltd Adimburg UK, pp. 574-583.
- Carballas, M., Carballas, T. & Jaquin, F. (1979). Biodegradation and humification of organic matter in humiferous Atlantic soils. *Anal. Edafol. Agrobiol.* **38**, 1699-1717.
- Ceccanti, B. & García, C. (1994). Coupled chemical and biochemical methodologies to characterize a composting process and the humic substances. pp. 1279-1285. En N. Senesi and T. Miano (ed.) Humic substances in the global environment and implications on human health. Elsevier, New York.
- Cook, B.D. & Allan, D.L. (1992). Dissolved organic matter in old field soils: total amounts as a measure of available resources for soil mineralization. *Soil Biol. Biochem.* **24**, 585-594.
- Cheshire, M. V., Sparling, G. P. & Mundie, C. M. (1983). Effect of periodate treatment of soil on carbohydrate constituents and soil aggregation. *J. Soil Sci.* **34**, 105-112.
- De Luca, T.H. & Keeney, D. R. (1993). Soluble anthrone reactive carbon in soils: effect of carbon and nitrogen amendments. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **57**, 1296-1300.
- Dick, R.P. (1992). A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agric. Ecosyst. Environ.* **40**, 25-36.
- Fortun, A., Fortún, C. & Ortega, C. (1989). Effect of farm and manure and its humic fractions on the aggregate stability of a sandy-loam soil. *J. Soil Sci.* **40**, 293-298.
- García, C., Roldán, A. & Hernández, T. (1997). Changes in microbial activity after abandonment of cultivation on a semiarid Mediterranean environment. *J. Environ. Qual.* (En prensa).
- García, C., Hernández, T., Costa, F. & Barahona, A. (1996a). Organic matter characteristics and nutrient content in eroded soils. *Environ. Manage.* **20**, 133-141.
- García, C. & Hernández, T. (1996b). Organic matter in bare soils of the Mediterranean region with a semiarid climate. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, **10**, 31-41.
- García, C., Hernández, T. & Costa, F. (1994). Microbial activity in soils under mediterranean environmental conditions. *Soil Biol. Biochem.* **26**, 1185-1191.
- García, C., Hernández, T., Costa, F., Ceccanti, B. & Masciandaro, G. (1993). The dehydrogenase activity of soil as an

- ecological marker in processes of perturbed system regeneration. Proc. of the XI International Symposium of Environmental Biogeochemistry, Salamanca, Spain.
- Gil-Sotres, F., Trasar-Cepeda, M.C., Ciardi, C. & Ceccanti, B. (1992). Biochemical characterization of biological activity in very young mine soils. *Biol. Fertil. Soils* **13**, 25-30.
- Harris, J.A. & Birch, P. (1989). Soil microbial activity in opencast coalmine restoration. *Soil Use and Manage.* **5**, 155-160.
- Hayano, B. & Tubaki, K. (1985) Origin and properties of (-glucosidase activity of tomato field soil. *Soil Biol Biochem* **17**, 553-557.
- Jenkinson, D.S. & Ladd, J.N. (1981). Microbial biomass in soil: measurement and turnover. En: E.A. Paul and J.N. Ladd (ed.) *Soil Biochemistry*, Vol. 5. Marcel Dekker, New York.
- Kniters, A.T. & Mulder, W. (1993). Water soluble organic matter in forest soils. I. Complexing properties and implications for soil equilibria. *Plant and Soil* **152**, 215-224.
- López-Bermúdez, F. (1993) La erosión del suelo en el riesgo de desertificación de España. En: Medioambiente y Desarrollo antes y después de Río-92. Fundación Marcelino Botín, Santander, Spain, pp 119-147.
- Nannipieri, P., Ceccanti, B., Cervelli, S. & Matarese, E. (1980). Extraction of phosphatase, urease, protease, organic carbon and nitrogen from soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **44**, 1011-1016.
- Nannipieri, P., Greco, S. & Ceccanti, B. (1990). Ecological significance of the biological activity in soil. pp. 293-353. En: J.M. Bollag and G. Stozky (ed.) *Soil Biochemistry* Vol. 6. Marcel Dekker, New York.
- Paul, E.A. & Voroney, R.A. (1989). Field interpretation of microbial biomass activity and measurements. En: M.J Kleng and C.A. Reddy (ed.) *Current perspective in Microbial Ecology*. American Society for Microbiology, Washington, D.C. USA.
- Perez-Trejo, F. (1994) Desertification and land degradation in the European Mediterranean. Eur 14850. Office for Official Publications of the European Communities. Luxemburg.
- Powlson, D.S. & Jenkinson, D. (1981). A comparison of the organic matter, biomass, adenosine, triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and direct-drilled soils. *J. Agric. Sci.* **97**, 713-721.
- Ross, D.J.K., Tate, R., Cairus, A., Mayricbt, K.F. & Pursic, E.A. (1982). Restoration of pasture after topsoil removal: effect of soil carbon and nitrogen mineralization, microbial biomass and enzyme activities. *Soil Biol. Biochem.* **14**, 575-581.
- Smith, J.L., Papendick, R.I., Bezdicek, D.F. & Lynch, J.M. (1993). Soil organic matter dynamics and crop residue management. pp. 65-95. En: Blaine Meting (Ed.) *Soil microbial ecology*. Marcer Dekker, New York.
- Sparling, G.P. (1992). Ratio of microbial biomass carbon to organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian J. Soil Res.* **39**, 195-207.
- Tabatabai, M.A. (1982). Soil Enzymes. En: Page AL, Miller RH, Keeney DR (Eds) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2nd Ed. American Society of Agronomy, Madison, pp 501-534.
- Vance, E.D., Brookes, P.C. & Jenkinson, D. (1987). An extraction method for measuring microbial biomass carbon. *Soil Biol. Biochem.* **19**, 703-707.
- Yeomans, J.C. & Bremner, J.M. (1989). A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **19**, 1467-1476.