

## MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS DE URUGUAY: INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

Sicardi, M<sup>1.</sup>; Frioni, L<sup>2.</sup>; García-Préchac, F<sup>3.</sup>

### RESUMEN

En Uruguay, se han determinado cambios significativos en la vegetación y en las propiedades físicas y químicas de los suelos como consecuencia del uso y manejo de los suelos en sistemas de producción agropecuaria y forestal. En el presente trabajo se resumen resultados experimentales obtenidos con el objetivo de conocer si la conversión de un suelo con pradera natural a plantación forestal de *Eucalyptus grandis* y la aplicación de diferentes sistemas de laboreo al plantar los árboles, afectan a las propiedades biológicas de los suelos. También se estudiaron experimentos de uso de tecnologías de siembra directa en mejoramientos forrajeros, incluyendo el uso de herbicidas a diferentes dosis. La respiración del suelo, el coeficiente de mineralización del C y varias actividades enzimáticas fueron afectadas significativamente por el cambio de uso del suelo de pradera natural a plantación forestal. La biomasa microbiana y las actividades de las fosfatasas ácida y alcalina mostraron variaciones significativas entre los sistemas de laboreo usados para plantar *E. grandis*. Las tecnologías de siembra directa no tuvieron efectos significativos sobre la estructura y actividades de las comunidades microbianas evaluadas. Los resultados indican que las actividades enzimáticas constituyen indicadores sensibles al cambio en el uso del suelo y a sistemas de laboreo en plantaciones forestales. Se discute la posibilidad de desarrollar índices microbiológicos de calidad de suelos, capaces de detectar el efecto de los cambios de uso y manejo.

**PALABRAS CLAVE:** actividades enzimáticas, bioindicadores, *Eucalyptus grandis*, uso del suelo.

### SUMMARY

## MONITORING SOIL QUALITY OF URUGUAYAN SOILS: MICROBIOLOGICAL INDICATORS

In Uruguay, significant changes on vegetation cover and on physical and chemical soil properties resulted from land-use and soil management changes in agricultural production and forest systems. In this paper we present a summary of the experimental results obtained in studies of the effect of soil use change, from natural pasture to *Eucalyptus grandis* plantation, and of the application of different tillage systems to plant the trees, on some soil microbiological properties. Similar studies were conducted to evaluate the influence of no-till planting of improved pastures, including herbicides use at different doses. Soil respiration, C-mineralization coefficient, and enzymatic activities were significantly affected by land-use change, from natural pasture to forest plantation. Microbial biomass and acid and alkaline phosphatase activities showed significant changes when they were evaluated between different tillage systems used for *E. grandis* plantation. There was no effect of no-till planting treatments of improved pastures on the structure and activities of soil microbial communities. The results indicate that enzymatic activities evaluated are sensitive indicators of land-use changes and different tillage systems in forest plantations. The possibility of developing microbiological soil quality indexes to detect land-use changes and soil management effects is discussed.

**KEY WORDS:** soil enzymes activities, bioindicators, *Eucalyptus grandis*, land use.

<sup>1</sup>Laboratorio de Microbiología de Suelos, Centro de Investigaciones Nucleares (CIN), Facultad de Ciencias, Universidad de la República Oriental del Uruguay, Iguá 4225, Montevideo, Uruguay <sup>2</sup>Laboratorio de Microbiología, Departamento de Biología Vegetal y <sup>3</sup>Laboratorio de Manejo y Conservación de Suelos y Aguas, Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República Oriental del Uruguay, Avenida E. Garzón 780, Montevideo, Uruguay. E-mail: sicardi@adinet.com.uy

## INTRODUCCIÓN

Los cambios en el uso de los suelos y las tecnologías de manejo utilizadas a lo largo de los años, plantean interrogantes en cuanto a sus efectos sobre las propiedades de los suelos y la sustentabilidad de los ecosistemas agrícolas y forestales. Por otro parte, preocupa la ocupación de nuevas tierras en usos productivos, sin haber sido previamente evaluados los recursos genéticos vegetales, animales y microbianos disponibles en ellas.

En Uruguay, el área dedicada a la forestación se ha incrementado a partir de la década de los 80 por una ley forestal que otorgó incentivos impositivos y crediticios. Actualmente el área de plantaciones forestales comerciales es de 700.000 hectáreas, en una superficie nacional de 16 Mha. Las unidades de cartografía de suelos de prioridad forestal se concentran en ciertas zonas del país y en la cercanía de los puertos del litoral, algunas plantaciones forestales también se han realizado en tierras con mayor productividad agrícola.

Los géneros *Eucalyptus* y *Pinus* están ampliamente distribuidos como monocultivos en el Norte y Oeste del país. *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) ha sido una de las especies más plantadas, por su rápido crecimiento y adaptación a diferentes regímenes de agua y variaciones de suelos (MGAP, 1999).

En el país, las empresas forestales aplican diferentes sistemas de laboreo del suelo en las filas y entrefilas de los árboles, al instalar las plantaciones y en la replantación luego de los cortes. Delgado *et al.* (2004), en suelos arenosos de Rivera (Acrisoles), encontraron que si la vegetación es controlada por medios químicos, se obtienen los mismos rendimientos a cosecha e inclusive antes, que en plantaciones realizadas con distintos tipos e intensidades de laboreo. Esto significa que el concepto básico de la siembra directa de cultivos anuales es aplicable a plantaciones forestales. Otros trabajos, analizaron el efecto de diferentes rotaciones de cultivos y pasturas, con diferente intensidad de laboreo, sobre la productividad de los ecosistemas, las propiedades físicas y químicas del suelo y su riesgo de erosión (García Préchac *et al.*, 2004).

En Uruguay, Carrasco *et al.*, (2004), determinaron que el cambio en la cubierta vegetal de praderas naturales a plantaciones comerciales de *Eucalyptus spp.*, con 20 años, produjo una pérdida significativa en el C orgánico del horizonte superficial mineral del suelo. Otros estudios realizados en plantaciones forestales, observaron disminuciones significativas del contenido de C en los primeros 2.5cm de profundidad (Pérez Bidegain *et al.*, 2001a). Por el contrario, otros autores encontraron que la forestación en diferentes suelos del país generó una tendencia a aumentar

el C orgánico en la transición entre los horizontes A y B (Durán *et al.*, 2001; Hill *et al.*, 2004). Trabajos en ejecución (J. Hernández, com. pers.), indican que en *Eucalyptus spp.* de 10 años, el mantillo de restos foliares tiene aproximadamente de 10 Mg/ha de C, es importante tener en cuenta el depósito de materiales vegetales sobre la superficie en plantaciones forestales (mantillo u horizonte O).

La degradación del suelo está asociada a la alteración de numerosos procesos biológicos realizados por las comunidades microbianas y por lo tanto se emplean a los microorganismos del suelo y sus actividades como indicadores válidos para el diagnóstico de impacto en los ecosistemas y en la calidad de los suelos (Roper & Ophel-Keller, 1998; Filip, 2002). El hecho de que los microorganismos utilicen la fracción más lábil de la materia orgánica del suelo, los hace sensibles a los cambios en la calidad de la misma. Esos cambios, determinados por la biomasa microbiana y actividades bioquímicas, serían el primer indicio detectable de un cambio en la cantidad total de materia orgánica del suelo (Powlson *et al.*, 1987; Frioni, 1999). El componente microbiológico es muy importante en el funcionamiento de los ecosistemas y constituye un marcador biológico potencialmente útil para evaluar sus perturbaciones.

Varios estudios obtuvieron diferencias marcadas en la estructura (relación entre grupos funcionales) y actividades de las comunidades microbianas por el efecto del manejo del suelo al comparar suelos cultivados y sin cultivar (Buckley & Schmidt, 2003) y por el empleo de técnicas de laboreo convencional y mínimo (Kirk *et al.*, 2004). Las enzimas en el suelo son mediadores y catalizadores de innumerables funciones como por ejemplo, descomposición de residuos orgánicos, transformación de la materia orgánica y liberación de nutrientes para el crecimiento de los vegetales (Dick, 1997; Frioni *et al.*, 2003). Actividades más bajas de deshidrogenasas, fosfatasas y ureasas fueron observadas en suelos degradados comparados con suelos con vegetación nativa (Jha *et al.*, 1992).

Por otra parte, la información disponible sobre el impacto de la forestación y sistemas de manejo, en la estructura y funcionamiento de las comunidades edáficas y su relación con la calidad del suelo y con otros componentes abióticos, es todavía escasa, en particular las metodologías de muestreo aplicadas no siempre son comparables entre los estudios.

En el año 2001, el laboratorio de Microbiología de Suelos (Facultad de Ciencias) y los de Microbiología y de Suelos y Aguas (Facultad de Agronomía), iniciaron un proyecto de investigación con el objetivo de conocer la influencia del uso y manejo de suelos, en sistemas forestales y agropecuarios, sobre la estructura y actividad de las

comunidades microbianas y su relación con otros componentes abióticos del suelo. En este trabajo se presentan y discuten los resultados sobre cambios en la calidad del suelo evidenciados con el uso de parámetros microbiológicos.

### Usos de los suelos

El estudio fue realizado en un área de prioridad forestal, departamento de Tacuarembó, en un Acrisol con plantación de *E. grandis* de 7 años (Durán *et al.*, 2001). En ambos suelos se muestreó en 3 sitios apareados, en las filas del bosque y en la pradera natural original en los cortafuegos, cada par se consideró un bloque en un diseño de bloques al azar. En los dos usos y dentro de cada sitio, se tomaron muestras compuestas (10 submuestras) de 0-10cm y de 10-20cm de profundidad, en primavera, verano e invierno. Los indicadores evaluados fueron: a) biomasa microbiana y respiración del suelo, b) actividades de deshidrogenasas, fosfatasa ácida y alcalina e hidrólisis del diacetato de fluoresceína (FDA) y c) densidades de grupos fisiológicos de microorganismos de interés agrícola según la metodología descrita en Sicardi *et al.* (2004).

La conversión de pastura a plantación forestal no afectó significativamente a las comunidades de celulolíticos totales, solubilizadores de fósforo y *Azotobacter* spp., indicando que esos parámetros no fueron sensibles al cambio en el uso del suelo. Recientemente, los métodos que analizan el ADN permiten obtener una visión más detallada de la estructura de las comunidades y de su diversidad genética (Kennedy & Gewin, 1997; Kennedy, 1999). Para obtener información de la estructura y la biomasa microbiana se determinan además los fosfolípidos de los suelos (marcadores) al ser específicos de grupos de microorganismos (Hedlund, 2002).

Los parámetros relacionados con la biomasa microbiana, respiración del suelo y el coeficiente de mineralización del C orgánico calculado, mostraron diferencias significativas entre los dos usos del suelo comparados. Las actividades de deshidrogenasas, FDA y fosfatasas alcalina y ácida, fueron indicadores reales y sensibles en detectar diferencias en la actividad microbiana del suelo bajo ambos usos. Al no ser significativas las interacciones de uso del suelo por fecha de muestreo en estas variables, se concluye que pueden usarse con independencia de la fecha de muestreo (Sicardi *et al.*, 2004).

### Intensidad de laboreo utilizada en la plantación forestal

El manejo de los suelos en las plantaciones forestales comprende el empleo de herbicidas, fertilizantes y distin-

tos tipos de labranza y métodos de plantación, tanto en la instalación del monte como en su restitución luego de los cortes. Si bien la mayoría de las técnicas de manejo de las plantaciones forestales han logrado el objetivo productivo, las de laboreo mecánico han provocado pérdidas de materia orgánica del suelo mineral en superficie y riesgo de erosión (Hallberg 1987; Reganold *et al.*, 1987; García Préchac *et al.*, 2001; Pérez Bidegain *et al.*, 2001b).

En el departamento de Rivera, en suelos clasificados como Acrisoles, se realizaron dos experimentos iguales con diseño de tres bloques al azar, comparando dos usos anteriores del suelo: a) pradera natural (CN) y b) chacra con agricultura intensiva durante varios años (ChV). Los tratamientos muestreados para el estudio de bioindicadores en cada uno de los dos ensayos fueron: a) fila de plantación con surcador, b) fila de plantación directa en pozos, sin laboreo, c) rotovador en la fila de plantación, d) aplicación de herbicidas en la entrefila y e) control de la vegetación en entrefilas con excéntrica. En ambos experimentos se dejaron en cada bloque parcelas de campo natural como tratamiento control. En los dos ensayos previo a realizar los tratamientos de intensidad de laboreo, se aplicó herbicida con dos meses de anticipación. La plantación de *E. grandis* fue en la primavera de 2001 y las muestras de suelo para el estudio de bioindicadores se tomaron en la primavera de 2003 (Bianchi, 2005).

Se realizó un análisis conjunto de los resultados de ambos experimentos. Se evidenciaron diferencias significativas en los parámetros biológicos evaluados, excepto con la actividad de deshidrogenasas (Cuadro 1). Esos resultados concuerdan con los obtenidos en el experimento de Tacuarembó (Sicardi *et al.*, 2004).

Valores significativamente más bajos presentaron las actividades enzimáticas de fosfatasa ácida y alcalina, biomasa microbiana y respiración, en el suelo ChV que en CN (datos no presentados), independientemente del laboreo aplicado al plantar los árboles.

Aún cuando las diferencias en los usos anteriores del suelo fueron marcadas, no se detectaron interacciones significativas con las intensidades de laboreo para plantar los árboles. Por el contrario, se detectaron efectos significativos entre las intensidades de laboreo. La actividad de deshidrogenasa de los suelos mostró valores significativamente diferentes ( $P < 0.04$ ) entre las filas y las entrefilas de la plantación. A niveles de significación importantes, la actividad de esta enzima también detectó la diferencia entre el uso del surcador y otras intensidades de laboreo (Cuadro 2).

Además de las deshidrogenasas, la biomasa microbiana y las fosfatasas fueron indicadores biológicos sensibles en determinar diferencias significativas entre las técnicas

**Cuadro 1.** Probabilidad de >F para cada variable determinada en el uso anterior del suelo (0-10cm) pradera natural (CN) versus agricultura intensiva convencional (ChV), luego de dos años de *E. grandis* (Bianchi, 2005).

| Variable   | Contraste CN vs. ChV |
|--|----------------------|
| Fosfatasa. ácida (mg pnitrophenol g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )    | 0.0011               |
| Fosfatasa. alcalina (mg pnitrophenol g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) | 0.001                |
| Deshidrogenasa. (ug INTF g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )             | 0.50                 |
| Biomasa microbiana (mg CO <sub>2</sub> -C/100g suelo)                  | 0.0006               |
| Respiración del suelo (mg CO <sub>2</sub> -C/100g suelo)               | 0.021                |

**Cuadro 2.** Probabilidad de >F para cada variable determinada en el suelo (0-10 cm), luego de la aplicación de laboreos para plantar *E. grandis grandis* (Bianchi, 2005).

| Variable                        | Laboreo vs. Sin Laboreo | Surcador vs. Rotovador | Surcador vs. otros Laboreos |
|---------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Fosfatasa ácida <sup>1</sup>    | 0.036                   | 0.31                   | 0.004                       |
| Fosfatasa alcalina <sup>1</sup> | 0.37                    | 0.23                   | 0.029                       |
| Deshidrogenasa <sup>2</sup>     | 0.48                    | 0.06                   | 0.05                        |
| Biomasa microbiana <sup>3</sup> | 0.05                    | 0.10                   | 0.015                       |

<sup>1</sup>mg pnitrofenol g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>; <sup>2</sup>ug INTF g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>; <sup>3</sup>mg CO<sub>2</sub>-C/100g suelo

de laboreo, aunque no todos los contrastes resultaron significativos. Todos los indicadores fueron capaces de evidenciar la diferencia entre el efecto del surcador en la fila, tratamiento más agresivo, comparado con el promedio de los otros tratamientos. El pasaje de este implemento abre un surco que quita 10-20cm del horizonte superficial, el de más alto contenido de materia orgánica y actividad biológica.

La mayoría de las variables microbiológicas analizadas mostraron valores significativamente más altos en las muestras de campo natural o de chacra vieja (tratamientos control) comparados con los de suelo con *E. grandis*, resultados que concuerdan con los obtenidos por Sicardi *et al.* (2004).

### Uso de tecnología de siembra directa en mejoramientos forrajeros

Las prácticas agrícolas alteran el balance entre los diferentes procesos que ocurren en el suelo. La restitución de ese balance depende de la reserva de energía y nutrientes y muchas veces cambia el tipo y actividad de los microorganismos.

Se planteó el interés en ampliar los estudios y determinar la influencia de sistemas de manejo de suelo utilizados en otras actividades agropecuarias, sobre los mismos indicadores microbiológicos.

El estudio se realizó en un experimento de la Facultad de Agronomía, localizado en el departamento de Florida, sobre un Brunosol éutrico de la Unidad Isla Mala del mapa 1:1Millón. El diseño fue en parcelas divididas en 3 bloques al azar. Los tratamientos fueron siembra directa versus siembra en cobertura de forrajeras sobre campo natural, combinadas con el empleo de los herbicidas glifosato y paraquat en diferentes dosis, incluyendo un tratamiento sin herbicidas. Las muestras compuestas de suelo (10 submuestras) se extrajeron a una profundidad de 0-10 cm, en todas las unidades experimentales. Se determinaron grupos fisiológicos de microorganismos (solubilizadores de fósforo, propágulos de hongos y heterótrofos totales), biomasa microbiana y respiración del suelo y actividades de deshidrogenasa, fosfatasa alcalina y ácida y FDA (Pereyra, 2002).

Resultados obtenidos a los dos años de la siembra, indican que los valores de respiración del suelo fueron significativamente más altos en el suelo con mejoramientos forrajeros sin aplicación de herbicidas que en los tratamientos con herbicidas en diferentes dosis. Este resultado se correlacionó directamente con la menor producción de biomasa aérea (forraje) de los mejoramientos en el primer año por efecto de los herbicidas sobre la vegetación (Pereira & Salvo, 2002), lo cual afectó la magnitud de la actividad biológica cerca de la superficie del suelo. Es importante destacar que la respiración del suelo en campo natural sin tratamiento, con menor productividad, no fue diferente al promedio de los tratamientos con herbicidas.

La respiración del suelo como indicador mostró diferencias significativas, sugiriendo su importancia para detectar efectos causados por la aplicación de herbicidas en agroecosistemas. Por el contrario, la densidad de microorganismos y las actividades de deshidrogenasa, fosfatasas ácida y alcalina y FDA no mostraron diferencias significativas entre los métodos de siembra y entre los tratamientos de herbicidas. Probablemente en los ecosistemas analizados tiene gran incidencia la dinámica y heterogeneidad espacial y temporal de las comunidades microbianas.

Los resultados obtenidos indican además la importancia del momento del muestreo del suelo y su seguimiento en el tiempo luego de la aplicación de los herbicidas, ya que al cambiar la composición florística de la vegetación y la producción de biomasa, ocurren rápidas variaciones en la estructura y actividad de las comunidades microbianas del suelo (Pereyra, 2002).

## PERSPECTIVAS DE ESTA LÍNEA DE TRABAJO

Los resultados obtenidos por nosotros evidenciaron una alta sensibilidad de algunos de los indicadores empleados, así como también variaciones en otros, según los usos y manejos de los suelos comparados. Es importante destacar, que en experimentos en campo como en comparaciones o monitoreos en producciones comerciales, se debe aplicar un sistema de muestreo de los suelos. Este es un punto crucial, ya que si no se tiene en cuenta la variación espacial natural, la generada por los diferentes usos y manejos y si no se extraen las muestras en base a un diseño experimental aleatorio, o muy cercanas en el espacio (con repeticiones y compuestas de varias submuestras), se corre el riesgo de hacer inferencias erróneas. Por lo tanto, no sólo es necesario contar con indicadores efectivos de la calidad del suelo, sino también desarrollar metodologías de investigación apropiadas.

En la forestación, por ejemplo, se deben extraer muestras de suelo de las filas y entrefilas por separado. En efecto, en esos cultivos plurianuales, es común un laboreo más intensivo en las filas que en las entrefilas; inclusive, en plantaciones recientes no se realiza laboreo en las entrefilas. Varios experimentos han observado diferencias significativas en el contenido de C orgánico entre campo natural y laboreos en las filas de plantaciones forestales pero no con las entrefilas sin laboreo (García Préchac *et al.* (2001).

Según Bouma (2002), la disponibilidad de indicadores que permitan evaluar el impacto del uso y manejo de los suelos en ecosistemas agrícolas y forestales es un requisito importante en cualquier sistema de producción sustentable. Por lo tanto, los esfuerzos deben dirigirse a proteger y restablecer funciones críticas de los suelos y al uso de prácticas de manejo adecuadas. Es necesario determinar e integrar indicadores apropiados para diferentes manejos y usos de las tierras, de manera de asegurar que los resultados sean útiles y entendibles por los agricultores quienes seguirán siendo los que toman las decisiones que inciden en la calidad de los suelos.

En el caso de los indicadores biológicos, éstos deben ser fáciles y rápidos de determinar y con altas correlaciones con parámetros físicos y químicos del suelo. La determinación de indicadores como los discutidos y otros, en varias situaciones con alto control y diseño estadístico (experimentos) es importante para lograr mayor exactitud en la selección de los mismos. Si bien una información mínima es difícil de obtener debido a la variabilidad inherente de los suelos, un conjunto flexible de indicadores físicos, químicos y biológicos podrían ser identificados y usados como herramienta para evaluar la calidad del suelo de un área específica y sus tendencias en el tiempo (Karlen *et al.*, 2003).

En la literatura, continúan las discrepancias sobre la validez y utilidad de los índices de calidad del suelo. Kirk *et al.*, (2004) consideran que un índice no define la calidad de un suelo porque no define los procesos continuos que ocurren en él, mientras que Van Bruggen & Semenov (2000) mencionan a los índices de biodiversidad como instrumentos útiles en evaluar los cambios en la estructura de las comunidades luego de una perturbación. Otros autores sugieren que la calidad del suelo se puede evaluar mediante el cálculo de índices integrando propiedades biológicas y bioquímicas (Trasar-Cepeda *et al.*, 1998).

En nuestro concepto, la calidad del suelo indica que con un manejo o mantenimiento para que conserve sus propiedades físicas, químicas y biológicas y sus procesos, se logra disminuir y evitar su degradación. Ese concepto no significa disminuir la importancia de introducir nuevas tecnologías y estrategias de manejo y uso de los suelos, sino complementar las actividades.

## BIBLIOGRAFÍA

- BIANCHI, P. 2005. Efectos del laboreo sobre la actividad biológica de un suelo en plantaciones de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden). Trabajo Final Licenciatura Biología. Universidad de la República, Facultad de Ciencias.
- BUCKLEY, D.H. & SCHMIDT, T.M. 2003. Diversity and dynamics of microbial communities in soils from agroecosystems. *Environ. Microbiol.* 5:441-452.
- BOUMA, J. 2002. Land quality indicators of sustainable land management across scales. *Agric. Ecos. Environ.* 88: 129-136.
- CARRASCO-LETELIER, L.; EGUREN, G.; CASTIÑEIRA, C.; PARRA, O. & PANARIO, D. 2004. Preliminary study of prairies forested with *Eucalyptus* sp. at the north western Uruguayan soils. *Environ. Pollution* 127:49-55.
- DELGADO, S.; AMARANTE, P.; HILL, M.; SALVO, L.; CLÉRICI, C.; GARCÍA PRÉCHAC, F. & HERNÁNDEZ, J. 2004. Efecto de la intensidad de laboreo sobre la implantación y crecimiento de *Eucalyptus grandis*. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná- Entre Ríos.
- DICK, R.P. 1997. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health. En: Pankhurst, C.E. Doube, B.M. and Gupta, V.V. (ed.), *Biological indicators of soil health*, pp.157-178. CAB International, Wallingford.
- DURÁN, A.; GARCÍA-PRÉCHAC, F.; PÉREZ BIDEGAIN, M.; FRIONI, L.; SICARDI, M.; MOLteni, C. & BOZZO, A. 2001. Propiedades físicas, químicas y biológicas. En: Informe Final, Proyecto Monitoreo ambiental de plantaciones forestales en Uruguay, Convenio UDELAR-División Forestal MGAP-Banco Mundial.
- FRIONI, L.; SICARDI, M. & PEREYRA, C. 2003. Indicadores biológicos de la calidad del suelo sensibles a diferentes prácticas de manejo. En: Universidad Nacional de Santiago del Estero (ed.) *Microbiología Agrícola*. ISBN 987-99083-5. pp. 23-37.
- FRIONI, L. 1999. *Procesos Microbianos*. Fundación de la Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina. Tomo II.
- FILIP, Z.K. 2002. International approach to assessing soil quality by ecologically-related biological parameters. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88:169-174.
- GARCÍA-PRÉCHAC, F.; PÉREZ BIDEGAIN, M.; CHRISTIE, S. & SANTINI, P. 2001. Efecto de la intensidad de laboreo para la plantación de *Eucalyptus dunnii* sobre la acumulación de biomasa aérea, el crecimiento radical y algunas propiedades físicas y químicas del suelo, *AGROCIENCIA* Vol. V, N° 1, 1-9.
- GARCÍA-PRÉCHAC, F.; ERNST, O.; SIRI, G. & TERRA, J.A. 2004. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay, Review. *Soil & Tillage Research*, 77(1) 1-13.
- HALLBERG, G.R. 1987. Agricultural chemicals in ground water: extent and implications. *Amer. J. Alternative Agric.* 2:3-15.
- HEDLUND, K. 2002. Soil microbial community structure in relation to vegetation management on former agricultural land. *Soil Biol. Biochem.* 34:1299-1307.
- HILL, M.; S. DELGADO, S.; SALVO, L.; AMARANTE, P.; CLÉRICI, C.; GARCÍA-PRÉCHAC, F. & HERNÁNDEZ, J. 2004. Cambios en calidad de suelo bajo plantaciones de 3 años de edad de eucaliptos y pinos en Uruguay. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná-Entre Ríos.
- JHA, D.K.; SHARMA, G.D. & MISHRA, R.R. 1992. Soil microbial population numbers and enzyme activities in relation to altitude and forest degradation. *Soil Biol. Biochem.* 24:761-767.
- KARLEN, D.D.; ANDREWS, S.S.; WEINHOLD, B.J. & DORAN, J.W. 2003. Soil quality: Humankind's foundation for survival. *J. Soil Water Conservation* 58: 171-179.
- KENNEDY, A.C. & GEWIN, V.L., 1997. Soil microbial diversity: present and future considerations. *Soil Sci.* 162, 607-617.
- KENNEDY, A.C. 1999. Bacterial diversity in agroecosystems. *Agric. Ecos. Environ.* 74:65-76.
- KIRK, J.L.; BEAUDETTE, L.A.; HART, M.; MOUTOGLIS, P.; KLIRONOMOS, J.N.; LEE, H. & TREVORS, J.T. 2004. Methods of studying soil microbial diversity. *J. Microb. Methods.* 58: 169-188.
- MGAP. 1999. Uruguay forestal: antecedentes, legislación y política, desarrollo actual y perspectivas. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Montevideo, Uruguay.
- PEREYRA, C. 2002. Actividad biológica en suelos bajo sistemas conservacionistas de siembra. Trabajo Especial II Licenciatura en Bioquímica. Universidad de la República, Facultad de Ciencias.
- PEREIRA, A.L. & SALVO, L. 2002. Mejoramiento extensivo con *Trifolium repens* en cobertura o siembra directa con diferentes tratamientos de la vegetación y densidades de siembra. Tesis Ing. Agr. Universidad de la República, Facultad de Agronomía.
- PÉREZ BIDEGAIN, M.; GARCÍA-PRÉCHAC, F. & DURÁN, A. 2001a. Soil use change effect, from pastures to *Eucalyptus* sp., on some soil physical and chemical properties in Uruguay. 3<sup>rd</sup> International Conference on Land Degradation, Rio de Janeiro.

- PÉREZ BIDEGAIN, M.; GARCÍA-PRÉCHAC, F. & METHOL, R. 2001b. Long-term effect of tillage intensity for *Eucalyptus grandis* planting on some soil physical properties in an Uruguayan Alfisol. 3<sup>rd</sup> International Conference on Land Degradation, Rio de Janeiro.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C. & CHRISTENSEN, B.T. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.* 19:159-164.
- REGANOLD, J.P.; ELLIOT, L.F. & UNGER, Y.L. 1987. Long-term effects of organic and conventional farming on soil erosion. *Nature.* 330:370-372.
- ROPER, M.M. & OPHEL-KELLER, K.M. 1998. Soil microflora as indicator of soil health. En: Pankhurst, C.E. Doube, B.M. and Gupta, V.V. (ed.), *Biological indicators of soil health*, pp.157-178. CAB International, Wallingford.
- SICARDI, M.; GARCÍA-PRÉCHAC, F. & FRIONI, L. 2004. Soil microbial indicators sensitive to land use conversion from pastures to commercial *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) plantations in Uruguay. *Appl. Soil Ecol.* 27:125-133.
- TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, C.; GIL-SOTRES, F. & SEOANE, S. 1998. Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. *Fertil. Soils.* 26:100-106.
- VAN BRUGGEN, A.H.C. & SEMENOV, A.M. 2000. In search of biological indicators for soil health and diseases suppression. *Appl. Soil Ecol.* 15:13-24.