

Evaluación de algunos indicadores microbiológicos en dos suelos arroceros de la provincia de Camagüey, Cuba

P. Chaveli*, L. Font*, B.J. Calero**, P. López*, A.M. Francisco*, R.D. Caballero*, M. Valenciano*

*Estación Experimental de Suelos Camagüey. Cacocúm #11, Reparto Puerto Príncipe, Camagüey.
E-Mail: suelos@eimanet.co.cu.

**Instituto de Suelos. Ministerio de la Agricultura, Apto, 8022, C.P. 10800, Capdevila Boyeros, La Habana, Cuba.

Resumen

La zona Sur de la provincia de Camagüey, se dedica al cultivo del arroz. En estos suelos se muestran síntomas de degradación con la consiguiente disminución de rendimientos provocados principalmente, además de otros efectos ambientales, por la salinidad. Esto perjudica las condiciones de vida de la microflora edáfica por lo que cualquier alteración de su actividad genera indicadores que pueden ser utilizados para identificar el estado de degradación del suelo. El estudio se desarrolló en dos tipos de suelos, Ferrasol y Vertisol. El muestreo se realizó a una profundidad de 0-20 cm. Como índices de evaluación se utilizaron la actividad respiratoria y celulolítica, la capacidad nitrificadora además de otros indicadores del suelo y el cultivo. Los resultados mostraron que en ambos tipos de suelos, existe un estado microbiológico potencialmente degradativo, lo que trae consigo un deterioro de la fertilidad y por tanto un desequilibrio del agroecosistema de estos suelos potencialmente salinos. Estas condiciones de deterioro y empobrecimiento del suelo constituyen un medio desfavorable para la mayoría de los microorganismos.

Palabras claves: Indicadores microbiológicos, degradación del suelo, salinidad, cultivo del arroz

Summary

Assessing of some microbial indicators in two cuban rice soils

The South area of the Camagüey province, Cuba is dedicated to rice crops. These soils show degradation symptoms with the rising fall of the agricultural yields and affectations of the environment caused mainly by the salinity. This harms the life conditions of the edafic microflora hence any alteration of its activity indicators can be used to identify the degradation state. This can be used to promote a sustainable development of the soil resource. For this study two types of soils were selected: Ferrasol and Vertisol. The sampling was carried out till a depth of 0-20 cm. As evaluative indexes the breathing activity, celulolitic and nitrifying capacity and other indicators of the soil and the cultivation were used. The results showed that in both types of soils, a potentially degrading microbiologic state was identified, this causes deterioration of the fertility and therefore an imbalance of the agroecosystem of these soils potentially saline. These conditions of deterioration and impoverishment of the soil constitute an unfavorable environment for most of the microorganisms.

Key words: Microbial indicators, soil degradation, salinity, rice cultivation

Introducción

La degradación del suelo fue definida por Matlock (1976) como un proceso insidioso que puede ser expresado como el efecto acumulativo de una serie de acciones, que pueden o no ser evidentes tales como la reducción y desaparición de la vegetación, mayor tasa de escorrentía y menor infiltración de las precipitaciones, que conducen a la erosión creciente del suelo y la pérdida de la fertilidad.

La degradación inducida por el hombre, ocasiona la destrucción del potencial biológico de los recursos naturales por el mal uso y manejo de los mismos (Ortiz *et al.*, 1994), lo que trae como consecuencia la generación de procesos degradativos del medio físico, económico y social de las poblaciones involucradas y su entorno.

En la actualidad, en Cuba la degradación de los suelos es la principal causa de la disminución de los niveles de producción por unidad de tierra cultivada, a diferencia de los años 40 cuando la causa más importante de los bajos rendimientos eran las malezas (Durán, 1998).

Algunos de los procesos naturales y/o antrópicos que determinan la degradación del suelo son la erosión, salinización, acidificación, contaminación y el empantanamiento (Febles y Miranda, 1988). Otros factores que influyen en la degradación son el deterioro de la fertilidad debido a los bajos contenidos de materia orgánica, baja capacidad de cambio catiónico, daños por salinidad y altos contenidos de sodio, predominio de iones tóxicos y manto freático próximo a la superficie (Galvez *et al.*, 1998).

La degradación de los suelos por efecto de la salinización se encuentra entre los problemas más apremiantes en la crisis alimentaria mundial. Para satisfacer las demandas actuales de producciones agrícolas, ha sido

necesario abordar cambios en la agricultura, de extensiva a intensiva. Esto ha potenciado el uso de zonas muy frágiles desde el punto de vista ecológico, que sin un adecuado manejo, se han degradado aún más rápidamente (Francisco, 2000).

La zona Sur de la provincia de Camagüey se encuentra dedicada al cultivo del arroz. En estos, suelos el monocultivo desde hace más de 50 años es una de las causas fundamentales de su degradación y el principal causante de su baja fertilidad (Navarro, 1998). Según estudios realizados en esta región por Francisco (2000), se han comprobado síntomas de degradación del suelo y empobrecimiento con la consiguiente caída de los rendimientos agrícolas. Las afecciones del entorno provocadas por la salinidad, sodicidad y empantanamiento, incrementado por los efectos adversos de la deforestación del litoral costero y subcostero, mal drenaje y manejo no diferenciado, coincide con las causas de los procesos de degradación en Cuba descritos por Socarrás (1998). Todos estos factores tienen un marcado efecto en las regiones tropicales (Hernández *et al.*, 1998) e influyen además en la disminución de la fertilidad, la sabanización y la destrucción mecánica y agrotécnica del suelo.

Para cuantificar los componentes lábiles de la materia orgánica (MO) se han propuesto un gran número de métodos, dentro de los que se encuentran los métodos de fraccionamiento físico y los métodos biológicos. Estos últimos se basan en el análisis de la población microbiana, que resulta ser el componente más activo y sensible al impacto externo dentro del suelo y que define sus características, especialmente en lo referente a su fertilidad, interviniendo en los procesos de descomposición de residuos, reciclado de nutrientes y transformaciones de la MO del suelo (Schnürer *et al.*, 1985; Collins *et al.*, 1992; Lobkov, 1999).

Las bases biológicas del manejo agrícola según Swift (1999), han permanecido hasta hace poco como el equivalente de un estado pre-Mendeliano, ya que el conocimiento de genética, fisiología, bioquímica y ecología de los organismos del suelo se encuentran poco explotadas para propósitos prácticos.

Los microorganismos del suelo pueden ser vistos como entes primariamente responsables en el mantenimiento de la calidad del suelo y por lo tanto el funcionamiento de los mismos puede servir como un marcador biológico sensible para la comprensión de un sistema dado. De esta manera Powlson et al. (1987) señalan que los cambios en la población microbiana provee evidencias anticipadas de los cambios en la calidad del suelo más que cualquier indicador de la calidad de la materia orgánica.

La determinación de indicadores microbiológicos es utilizada para evaluar el efecto de las prácticas de manejo agrícola sobre la fertilidad del suelo, y parecen reflejar con más sensibilidad los cambios en su calidad, que las determinaciones químicas de carbono y nitrógeno (Franzluebbers et al., 1995; Beyer, 1995). Estudios realizados por Chaveli et al. (2002) demostraron la eficacia de estos indicadores en la evaluación del estado degradativo del suelo en agroecosistemas potencialmente erosionados y el efecto de las medidas de conservación de suelo aplicadas.

La respiración es uno de los indicadores más antiguos y es frecuentemente usada para cuantificar la actividad microbiana del suelo. El uso de este indicador microbiológico unido a otros como la respiración inducida por sustratos, la nitrificación y la descomposición de la celulosa, han permitido estimar la actividad de la biomasa y como ésta es influenciada por propiedades físicas y químicas o prácticas de manejo agrícola (Campbell et al., 1992; Calero et al., 1999;

Font, 1999; Font et al., 2002; Chaveli et al., 2002; Font et al., 2003; Chaveli et al., 2003).

De esta forma la actividad microbiana del suelo constituye una medida fundamental de importancia ecológica, puesto que por una parte representa el nivel de actividad biológica, involucrando el componente lábil de la MO y por otro, integra los factores del medio ambiente y su influencia en la misma (Zagal et al., 2002).

El objetivo planteado en este trabajo fue la utilización de indicadores microbiológicos, para evaluar el efecto del manejo agrícola empleado para el cultivo del arroz en dos tipos de suelos en la zona Sur de la provincia de Camagüey.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en la zona Sur de la provincia de Camagüey, en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) "Rodolfo Ramírez Esquivel" área de producción de arroz perteneciente al municipio de Florida, provincia de Camagüey. Los suelos que predominan en esta región son los Ferrasoles y Vertisoles (USDA, 1994) y se encuentran afectados por la salinidad con una conductividad eléctrica media en extracto de saturación promedio de $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, clasificándose como moderadamente salinos.

En ambos tipos de suelo el manejo utilizado fue de siembra en seco con mejoramiento, que consiste en 13 labores mecanizadas de preparación de suelo sin lámina de agua y la aplicación de residuos de cosechas (5-8 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de masa verde) 60 días antes de la siembra. Se utilizó para el estudio la variedad de arroz J- 104 (Unión del Arroz, 2001) de ciclo medio de crecimiento y la densidad de siembra fue de 15 a 20×10^5 plantas/ha.

El muestreo se efectuó cuando el suelo se encontraba sin el cultivo establecido a la profundidad de 0-20 cm, tomando muestras compuestas en cada uno de los campos, durante tres años consecutivos. Las muestras para analizar se secaron al aire y se pasaron por un tamiz con malla de 2 mm (Calero et al., 1999).

Se utilizaron como índices evaluativos la respiración basal (RB), la respiración al añadir una fuente carbonada y nitrogenada de fácil degradación (RIC, RICN), la capacidad nitrificadora real y potencial del suelo (NR y NP) y la actividad celulolítica (DC).

La RB se determinó utilizando el sistema de frasco cerrado propuesto por Isemeyer (1952), por humedecimiento de 25 g de suelo al 60% de la capacidad máxima de retención de humedad, determinada según Forster (1995) y la determinación del CO₂ al cabo de 24 horas de incubación a 30 °C. Las soluciones utilizadas fueron las propuestas por Dommergues (1960). Para la determinación de la RIC, se aplicó glucosa a razón de 8,4 mg/g de suelo para los Ferrasoles y 10mg/g de suelo para los Vertisoles en solución acuosa y para la medida de la respira-

ción inducida con carbono y nitrógeno (RICN), el nitrógeno requerido para satisfacer la demanda de la biomasa microbiana en función del carbono se calculó considerando una relación C/N media para la biomasa no superior a 10 y asumiendo que sólo el 40% del C que se añade pasa a formar parte de la biomasa microbiana (Kelley y Stevenson, 1985).

La capacidad nitrificadora (NR) se determinó por incubación de 25 g de suelo durante 15 días según Bolotina y Abramova (1968). La extracción de nitrato se realizó con K₂SO₄ al 0,01% y se utilizó ácido disulfofenólico para el desarrollo del color. Para la nitrificación potencial (NP) se adicionó sulfato de amonio al 1% respecto al peso del suelo. El grado de descomposición de la celulosa (DC) se evaluó en tubos de ensayo utilizando tiras de papel de celulosa según Szegui (1988).

La tabla 1 recoge las principales características químicas y los rendimientos de las cosechas realizadas en la campaña correspondiente al momento de iniciar el estudio, en los Ferrasoles y Vertisoles.

Tabla 1. Características químicas y rendimientos del cultivo en los dos tipos de suelos antes de comenzar el estudio

Table 1. Soil chemistry characteristics and crop yields in both soil types before beginning the study

	pH (KCl)	M.O. %	P ₂ O ₅ mg 100 g s ⁻¹	K ₂ O	Rdtos t·ha ⁻¹
Ferrasol	5,6	1,47	4,49	12,70	3,51
Vertisol	5,5	1,77	9,14	11,09	2,92

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en la caracterización del estado microbiológico del Ferrasol indican que la tecnología de manejo utiliza-

da ha provocado el establecimiento de una zona microbiológicamente activa. Como se aprecia en la figura 1 la RB, índice de actividad potencial básica (Alef y Nannipieri, 1995), es alta y muestra valores similares e

incluyo mayores a los obtenidos por otros autores en este tipo de suelo (Alfonso *et al.*, 1998; Calero *et al.*, 1999); lo cual denota la presencia de un mayor número de microorganismos viables y de reservas energéticas capaces de sustentar el metabolismo de los mismos, debido a que la cantidad de CO₂ desprendido expresa la microflora presente en estado de latencia la cual se activa utilizando el carbono (C) y nitrógeno (N) bioló-

gicamente disponible en las estructuras orgánicas del suelo, una vez que al mismo se le proporciona las condiciones óptimas de temperatura y humedad después de secado al aire (Calero *et al.*, 1999); por consiguiente la actividad respiratoria es considerada un indicador directo de la actividad microbiana e indirecto de los contenidos de MO del suelo (Mattew y Daviel, 1990; Leita *et al.*, 1995; Cheng *et al.*, 1997).

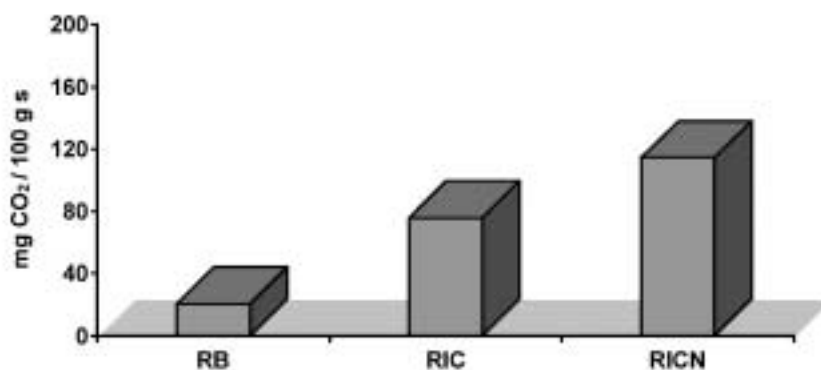


Figura 1. Comportamiento de la actividad respiratoria en el suelo Ferrasol.
 Figure 1. Behavior of the breathing activity in the Ferrasol soil.

La alta población microbiana existente en el suelo, unido al bajo contenido de materia orgánica determinado químicamente (tabla 1), no adecuado en este tipo de suelo, indica un estado microbiológico potencialmente degradativo ya que los microorganismos, al necesitar material orgánico para su metabolismo, ataca la fracción más estable de éste, lo cual provoca una degradación progresiva y lenta de la materia orgánica nativa del suelo. Estos resultados demuestran que el manejo al cual ha sido sometido este suelo no ha sido el mas adecuado

Cuando la respiración es inducida por sustratos, puede identificar la porción de la biomasa microbiana que está activa bajo

concentraciones conocidas de C y N (Anderson, 1982), sin que la misma se encuentre limitada por dichas reservas. Estos indicadores se incrementaron con respecto a la RB (figura 1), o sea, existe una respuesta de la microflora a la adición de fuentes externas de C fácilmente degradable, como la glucosa (RIC) y de N (RICN). Este comportamiento indica la presencia de un mayor número de microorganismos, pero los mismos se encuentran limitados por deficientes reservas energéticas en la MO.

La capacidad nitrificadora (NR y NP) indica la capacidad microbiológica del suelo para desarrollar los procesos de mineralización de las formas orgánicas y amónicas de

nitrógeno hasta nitrato, forma en la cual este elemento es preferiblemente asimilado por el cultivo, pero también fácilmente lixiviado del suelo (Quemada y Cabrera, 1995). En la figura 2 se observa el comportamiento de este indicador, mostrando valores inferiores a los encontrados bajo condiciones diferentes en otros suelos (Alfonso *et al.*, 1998; Calero *et al.*, 1999; Font *et al.*, 2002); este hecho pudiera estar asociado a los valores de pH de este suelo (tabla 1). Se corrobora lo planteado por Fernández y Novo (1988), sobre la influencia que tiene la reacción del suelo en el pro-

ceso de nitrificación, donde se manifiesta que la misma disminuye marcadamente por debajo de pH 6.

No se aprecia incremento alguno de la capacidad nitrificadora cuando se crean condiciones favorables para el proceso de conversión de amonio a nitrato (NP), lo cual muestra que existe una población baja de microorganismos nitrificantes. Este comportamiento pudiera deberse a que de todos los procesos microbiológicos, la nitrificación es el más sensible a la influencia tóxica de la salinidad de acuerdo a lo señalado por Tsai *et al.* (1992).

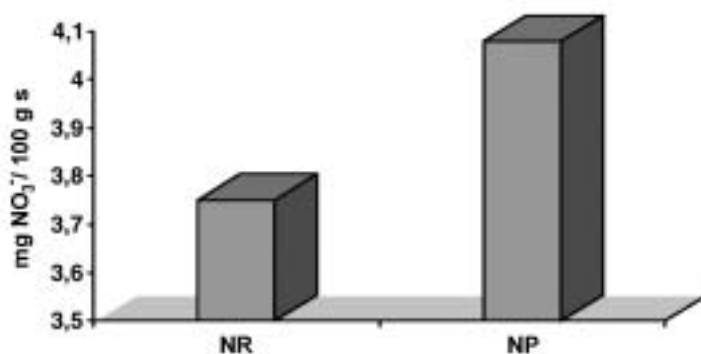


Figura 2. Comportamiento de la capacidad nitrificadora en el suelo Ferrasol.
Figure 2. Behavior of the nitrifying capacity in the Ferrasol soil.

Además estos suelos permanecen gran parte del tiempo bajo aniego, lo que propicia condiciones adversas para la permanencia de la microflora nitrificante (Siquiera y Franco, 1988; Primavesi, 1990).

En el caso de la RB en el Vertisol estudiado (figura 3), se observa que su valor resulta bajo con respecto a la obtenida para otros Vertisoles de la región (Mendoza *et al.*, 2001). El incremento de la respiración cuando ésta es inducida con glucosa (RIC) fue notable, y más aún con la adición de C + N (RICN), lo cual indica una microflora latente mucho más activa. Este hecho indica limita-

ciones de carbono y nitrógeno en el suelo para la actividad fisiológica de los microorganismos existentes.

La actividad nitrificadora en este tipo de suelo se muestra en la figura 4. La NP no presentó una respuesta similar a la discutida anteriormente en el Ferrasol, en el cual se observa un incremento de la misma con respecto a la NR, lo que evidencia que las condiciones para el proceso de conversión de amonio a nitrato no son muy favorables en el suelo nativo aún cuando existe mayor representatividad de microorganismos nitrificantes.

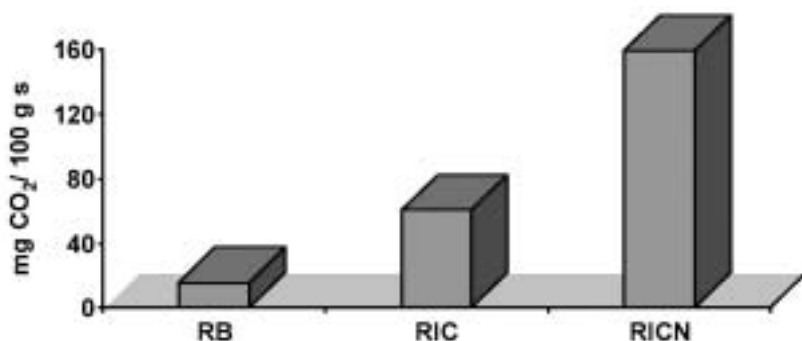


Figura 3. Comportamiento de la actividad respiratoria en el suelo Vertisol.
 Figure 3. Behavior of the breathing activity in the Vertisol soil.

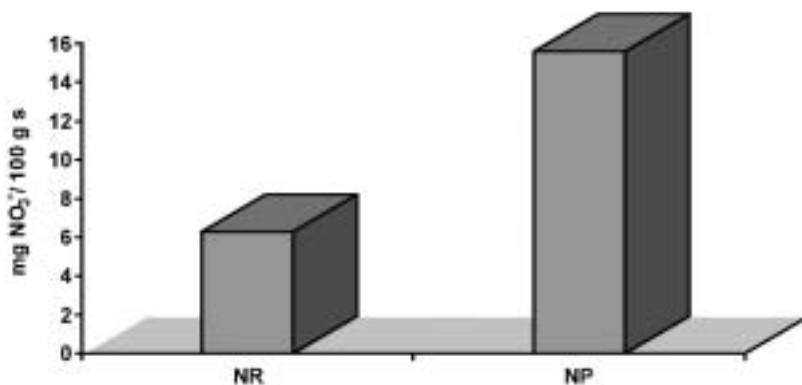


Figura 4. Comportamiento de la actividad respiratoria en el suelo Vertisol.
 Figure 4. Behavior of the breathing activity in the Vertisol soil.

La actividad celulolítica (DC) expresa la potencialidad de la microflora para degradar compuestos carbonados complejos. El comportamiento de este indicador en ambos tipos de suelo se muestra en la tabla 2. Este índice tuvo una mayor degradación de esta fuente carbonada en el Ferrasol aunque sus valores son muy inferiores a los reportados por varios autores en ese mismo período de evaluación (Font, 1999; Font et al., 2002; Chaveli et al., 2002).

En sentido general, existe degradación de la tierra en ambos suelos estudiados debido a

un deterioro de la fertilidad, no sólo como consecuencia de los bajos contenidos de materia orgánica como índice de degradación biológica (Gálvez, et al., 1998), sino también desde el punto de vista de su estado y actividad microbológica. El cultivo continuado del arroz unido a un manejo inadecuado de las aguas de riego, tecnologías de manejo no acordes a sus condiciones físicas, químicas y biológicas, los procesos de salinización y la deforestación del litoral costero, han llevado a que en ambos tipos de suelos se hayan agotado elementos energéticos que no permitan la expresión

de la microflora presente, resultando baja la población microbiana con respecto a la reportada en estos tipos de suelos bajo dife-

rentes condiciones de manejo (Alfonso *et al.*, 1998; Calero *et al.*, 1999; Font, 1999; Font *et al.*, 2002; Chaveli *et al.*, 2002).

Tabla 2. Comportamiento de la actividad celulolítica de ambos tipos de suelos
Table 2. Celulolytic activity in both types of soils

Suelo	DC (%) 7 días	DC (%) 14 días	DC (%) 21 días	vDC/ día(%) ^{&}
Ferrasol	13,29	23,41	57,29	2,73
Vertisol	1,91	5,3	34,37	1,67

[&]Velocidad de descomposición de la celulosa por día.

Conclusiones

Los suelos Ferrasol y Vertisol cultivados con arroz, reflejan la degradación potencial de su estado microbiológico, lo que trae consigo un deterioro de la fertilidad y por tanto un desequilibrio del agroecosistema.

El manejo inadecuado de los suelos, afectados entre otros factores por la salinidad, constituyen un medio desfavorable para la mayoría de los microorganismos, principalmente los nitrificadores.

Bibliografía

Alef K, Nannipieri P, 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. 575 pp. Ed. Academic Press Inc. San. Diego (EEUU).

Alfonso CA, Calero B, Morejón L, Somoza V, Guerrero A, Monedero M, 1998. Rehabilitación de Ferrasol degradados por compactación del Sur de la Habana. *Memorias del 16 Cong. Inter. de la Ciencia del Suelo*. Vol. III. 561 pp. Montpellier, (Francia).

Anderson J, 1982. *Soil respiration. Methods of soil analysis (segunda edición)* 9 pp. Part. 2,

Ed. Agron. Monog., Amer. Soc. Agron, Madison. (EEUU).

Beyer L, 1995. Soil microbial biomass and organic matter composition in soils under cultivation. *Biol. Fertil. Soils*. 19: 197-202.

Bolotina NI, Abramova EA, 1968. Método para determinar la capacidad nitrificadora del suelo. [en ruso]. *Agrojimia*. 4: 136- 141.

Calero B, Guerrero A, Alfonso CA, Somoza V, Camacho E, 1999. Efecto residual de la fertilización mineral sobre el estado microbiológico del suelo. *La Ciencia y el hombre*. Vol XI 33: 89-94.

Campbell CA, Brandt SA, Biederbeck VO, Zentner RP, Schnitzer M, 1992. Effect of crop rotations and rotation phase on characteristics of soil organic matter in a Dark Brown Chernozemic Soil. *Can. J. Soil Sci.* 72: 403-416.

Chaveli P, Font L, Gandarilla JE, Calero B, Valenciano M, 2002. Estudio microbiológico de un suelo Pardo sin Carbonatos propenso a la erosión para un manejo agrícola sostenible. *Centro Agrícola*. 4: 66-71.

Chaveli P, Font L, Calero B, Francisco AM, López P, Caballero R, Valenciano M, 2003. Uso de indicadores microbiológicos para la evaluación de la degradación de suelos Oscuros Plás-

- ticos arroceros de la provincia de Camagüey. Centro Agrícola. 3: 61-66.
- Cheng T, Killham K, Malcoms S, 1997. Dynamic response of microbial biomass respiration rate and ATP to glucose additions. *Soil Biol. Biochem.* 29(8): 1249-1256.
- Collins HP, Rasmussen PE, Douglas CL, 1992. Crop rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 783-788.
- Dommergues Y, 1960. La notion de coefficient de mineralization du carbone dans les sols. Un exemple d'utilisation des techniques biologiques. *Agron. Trop.* 1(1): 54-60.
- Duran JL, 1998. Degradación y manejo ecológico de los suelos tropicales con énfasis en los de Cuba. *Agricultura Orgánica.* 1: 7-10.
- Febles JM, Miranda R, 1988. La protección de los suelos. Monografía. 148pp. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana. La Habana. Cuba.
- Fernández C, Novo R. 1988. Vida microbiana en el suelo. 1ª y 2ª Parte. 525pp. Ed. Pueblo y Educación. Cuba.
- Font L, 1999. Uso de indicadores microbiológicos para evaluar el efecto a largo plazo de la fertilización mineral en un agroecosistema cítrico. Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencia. 68pp. Universidad de Camagüey, Camagüey. (Cuba).
- Font L, Calero B, del Castillo A, 2002. Estado microbiológico del suelo, base del manejo integral de un agroecosistema cítrico. *LEISA. Rev. de Agroecología.* 18(3): 21-22.
- Font L, Chaveli P, Calero B, Francisco AM, LÓPEZ P, Caballero R, Valenciano M, 2003. Impacto de algunos procesos degradativos sobre el estado microbiológico de un suelo Ferrasol cultivado de arroz. *Centro Agrícola.* 3: 67-72.
- Forster JC, 1995. Soil physical analysis. Determination of the gravimetric water content and soil dry mass. pp. 105-116. En: *Methods in applied soil microbiology and Biochemistry.* K. Alef and P. Nannipieri. (Ed). 575 pp. Academic Press Inc. San. Diego. (EEUU).
- Francisco AM, 2000. Nuevos indicadores para la caracterización y el diagnóstico de la salinidad de los suelos de Cuba. Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias. 80 pp. Universidad de Camagüey. Camagüey. (Cuba).
- Franzluebbers A, Zuberer D, Hon's F, 1995. Comparison of microbiological methods for evaluating quality and fertility of soil. *Biol. Fertil Soils.* 19: 135-140.
- Gálvez V, Otero L, Navarro N, 1998. Reflexiones sobre los suelos de la llanura sur de Pinar del Río. *Agricultura Orgánica.* 1: 14-15.
- Hernández C, Arteaga O, Peña JL, Peña F, Cancio T, León G, 1998. El establecimiento de pastos como alternativa eficaz contra la erosión del suelo en la región "Escambray" *Agricultura Orgánica.* 1: 21-22.
- Isemeyer H, 1952. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. pp. 215-217. En: *Methods in applied soil microbiology and Biochemistry.* K. Alef and P. Nannipieri. (Ed). 575 pp Academic Press Inc. San. Diego. (EEUU).
- Kelley KR, Stevenson FJ, 1985. Characterization and extractability of immobilized ¹⁵N From the soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 17(4): 517-523.
- Leita L, de Nobly M, Muhubachova G, Mondini C, Mardual L, Zerbi G, 1995. Bioavailability and effects of heavy metals in soil microbial biomass, survival during laboratory incubation. *Biol. Fertil Soils.* 19: 103-108.
- Lobkov VT, 1999. Biodiversity in agroecosystems as a factor optimizing the biological activity of soil. *Eurasian Soil Science.* 32: 664-668.
- Matlock W, 1976. Segments of vicious circle: Land degradation and water resources. Desertification process. *Problems and Perspectives.* pp. 45-50. University of Tucson, Arizona. (EEUU).
- Matthew R, Daviel D, 1990. Effects of conversion to organic agricultural practices on soil biota. *Amer. Jour of Altern. Agric.* 5(1): 26-32.
- Mendoza L, Pacheco O, Vento M, Francisco A, Sánchez M, 2001. La pérdida de suelo en los

- terrenos con relieve llano a ondulado. *Centro Agrícola*. 4:19-22.
- Navarro N, 1998. Degradación de los suelos provocado por el monocultivo en la Granja arrocera Caribe. *Agricultura Orgánica*. 1: 16-17.
- Ortiz ML, Ojeda A, Estrada J, 1994. Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra. 161 pp. Madrid, (España).
- Powlson DS, Brookes PC, Christensen BT, 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.
- Primavesi A, 1990. Manejo Ecológico do Solo. A agricultura em regioes tropicais. (novena edición). 549 pp. Nobel. (Brasil).
- Quemada M, Cabrera M, 1995. CERES-N model predictions of nitrogen mineralized from cover crop residues. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1059-1065.
- Schnürer J, Clarholm M, Rosswall T, 1985. Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents. *Soil Biol. Biochem.* 17: 611-618.
- Siqueira J, Franco V, 1988. *Biotechnology do Solo: Fundamentos e Perspectivas*. 36 pp: Ed. Ministerio da Educação. ABEAS; Lavras: ESAL. FAEPE Brasília (Brasil).
- Socarrás A, 1998. La vida del suelo: un indicador de su fertilidad. *Agricultura Orgánica*. 1: 12-13.
- Swift MJ, 1999. Towards the second paradigm: integrated biological management of soil. En: *Soil Fertility, Soil Biology and Plant Nutrition Interrelationships*. pp. 11-24. J.O. Siqueira, F.M. Moriera, A.S. López, L.R.G. Guilherme, V. Faquin, A.E. Furtini Neto, J.G. Carvalho (Eds). SBCS, Lavras. UFLA/DC. (Brasil).
- Szegui J, 1988. Cellulose decomposition and soil fertility. 241 pp. Akademiai Kiadó, Budapest, (Hungria).
- Tsai SM, Baraibar AVL, Romani VLM, 1992. Efeito de fatores do solo. Salinidade e pressão osmótica. Em: *Microbiología do solo*. pp. 59-72. Cardoso E.J.B.N.; Tsai, S.M. y Neves, M.C.P. (Eds). Sociedade Brasileira de Ciencia do solo. (Brasil).
- Unión del Arroz, 2001. *Instructivo Técnico del Arroz*. Segunda Edición. 119 pp. Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba.
- USDA, 1994. *Keys to soil taxonomic*. 305 pp. Soil conservation service. Sixth Edition.
- Zagal E, Rodríguez N, Vidal I, Quezada L, 2002. Actividad microbiana en un suelo de origen volcánico bajo distinto manejo agronómico. *Agricultura Técnica*. 62(2): 297-309.
- (Aceptado para publicación el 28 de enero de 2006).