

## USO DE AGUA RESIDUAL Y CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA Y BIOMASA MICROBIANA EN SUELOS DE LA LLANURA DE CORO, VENEZUELA\*

### USE OF WASTEWATER AND ORGANIC MATTER AND MICROBIOLOGICAL MASS CONTENT OF CORO PLAIN SOILS, VENEZUELA

Frank Ramón Zamora<sup>1§</sup>, Nectalí José Rodríguez Guevara<sup>2</sup>, Duilio Gilberto Torres Rodríguez<sup>3</sup> y Héctor José Yendis Colina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Estación experimental Falcón, avenida Roosevelt, edificio INIA, Coro, estado Falcón, C. P. 4101, Venezuela. <sup>2</sup>Departamento de Producción y Desarrollo Agrícola, Complejo Docente el Hatillo, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM), Facultad de Agronomía Coro, carretera coro-La Vela. Nucleo Hatillo A. P. 4101, estado Falcón, Venezuela, (nectajo@cantv.net), (hyendis@unefm.edu.ve). <sup>3</sup>Departamento de Química y Suelos, Unidad de Investigación en Suelos y Nutrición Mineral de Plantas (UISNMP). Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA), Redoma de Agua Viva, Nucleo Tarabana, edificio La Colina. A. P. 3101, (duiliorres@ucl.edu.ve). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: fzamora@inia.gob.ve.

## RESUMEN

El agua residual constituye un recurso importante que se puede utilizar para riego agrícola en las zonas semiáridas. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de riego con aguas residuales tratadas sobre las propiedades biológicas del suelo en el estado Falcón, Venezuela. Se analizó la calidad del agua en cinco puntos durante el proceso de tratamiento. El estudio se llevó a cabo en tres unidades de producción ubicadas en la llanura de Coro en 2007: con riego permanente de pasto, riego intermitente de hortalizas, y área sin riego previo con agua residual. Se colectaron 13 muestras compuestas de suelo y se analizaron en el laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Ceniap, Maracay. En cada muestra se determinó el contenido de carbono orgánico y los siguientes parámetros biológicos: biomasa microbiana, materia orgánica y poblaciones de hongos y bacterias. Los resultados observados mostraron que el riego permanente incrementó el contenido de materia orgánica alcanzando 4.31%, el cual fue significativamente superior ( $p<0.05$ ) a los tratamientos con riego intermitente y sin riego previo con agua residual con 1.33 y 0.88%, respectivamente. Estos incrementos se reflejaron en una mayor actividad biológica, lo cual se evidenció en el aumento de la biomasa microbiana y en las poblaciones de hongos y bacterias en el tratamiento con riego permanente.

**Palabras clave:** biomasa microbiana, contaminación, materia orgánica, metales pesados.

## ABSTRACT

The wastewater is an important resource that can be used for irrigation in the semiarid regions. The objective of this study was to determine the effect of the use of treated wastewater on the biological proprieties of the soil at Falcon state, Venezuela. The wastewater was previously analyzed at five points during the treatment process to assure its quality for irrigation. The study was carried out at three agricultural production units located at the Coro plain: a) under permanent irrigation of grass, b) intermittent irrigation of vegetable crops and c) in an area not previously irrigated with wastewater. Thirteen composite soil samples were taken and analyzed at the Agriculture National Research Institute (INIA), Ceniap, Maracay. Soil microbial biomass, organic matter and bacterial and fungi populations were determined. Results showed that under permanent irrigation, soil organic matter content increased up to 4.31% that was significantly ( $p<0.05$ ) higher than the intermittent and the soil no previously irrigated with wastewater with

\* Recibido: Noviembre, 2008  
Aceptado: Junio, 2009

1.33 and 0.88%, respectively. The higher content of soil organic matter reflected a larger biological activity that was evident from the increase in microbial biomass and bacterial and fungi populations in the permanently wastewater irrigated soil.

**Key words:** contamination, heavy metals, microbial biomass, organic matter.

## INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales tratadas constituyen un recurso hídrico abundante en las zonas con alta densidad de población y en las que se presentan problemas de déficit de este recurso. En diversos países del mundo, se valora la calidad de las aguas residuales para su uso en riego localizado o en cultivos hidropónicos, empleando los mismos criterios que se utilizan para las aguas superficiales o subterráneas en los parámetros de: contenido de sales, presencia de elementos potencialmente fitotóxicos (sodio, cloro y boro), presencia de microorganismos patógenos y la concentración de metales pesados, nutrientes y compuestos orgánicos.

En las zonas áridas y semi-áridas del mundo, el uso de aguas residuales cobra cada día mayor importancia para la sobre vivencia y el desarrollo socioeconómico. En este sentido, las aguas residuales generadas en los centros de población que cuentan con sistemas de drenaje se convierten en una importante alternativa para la producción agrícola.

El uso de aguas residuales para la producción agrícola puede incrementar el contenido de materia orgánica y de nutrientes en los suelos cultivados, lo cual contribuye a mantener o mejorar la fertilidad del suelo, pero también puede causar efectos nocivos que deterioran su calidad. La dinámica de la materia orgánica en el suelo desempeña un papel importante, en virtud de que la descomposición de la misma, controla la disponibilidad de nutrientes e influye en la liberación de moléculas orgánicas e inorgánicas enlazadas a la materia orgánica. Raber y Kogel-Knabner (1995). Por lo tanto, la incorporación del lodo de las aguas residuales durante varios años puede modificar la acumulación y la estabilidad de la materia orgánica, Soler *et al.* (2002) y mejorar las características químicas y fertilidad del suelo.

Las aguas residuales pueden constituir una alternativa como fuente de este recurso para los cultivos; además, puede aportar nutrientes que mejoran la fertilidad del suelo debido a el alto contenido de materia orgánica; sin embargo, su uso sin tratamiento previo puede ocasionar problemas en el suelo, por el alto contenido de sales y metales pesados; por otra parte, la presencia de algunos microorganismos como coliformes y *salmonella* spp. entre otros, pueden causar serios problemas a la salud humana.

Tomando en cuenta la escasez de agua que se presenta en la Llanura de Coro y el posible aprovechamiento de las aguas residuales, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto del uso de aguas residuales sobre el contenido de materia orgánica y biomasa microbiana en los suelos de la Llanura de Coro, estado Falcón, Venezuela, en 2007.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio está ubicada en la Llanura de Coro, estado Falcón, Venezuela entre las coordenadas 11° 25' 18" latitud norte y 69° 43' 25" longitud oeste en las fincas San Isidro, Santa Rosa y Valle Verde, que abarcan una superficie de 638 ha. Los suelos del área presentan texturas muy finas y desarrollo estructural débil a moderado. El drenaje interno y externo es de moderado a lento; permeabilidad muy lenta y pH alcalino. La fertilidad natural de estos suelos es baja y en general presentan problemas de erosión y de salinidad severa. Los suelos fueron clasificados como "Typic torrerts", muy fina, fina isohipertermica (Theis, 1999).

### Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental, en el que se evaluaron tres tipos de uso de la tierra (TUT), considerados como tratamientos, siendo los mismos: pastizales (uso permanente de aguas residuales); hortalizas (uso intermitente de aguas residuales) y suelo virgen (sin uso previo de aguas residuales). Se tomaron 13 muestras compuestas, cada una fue considerada como una repetición. Para el tratamiento pastizales se obtuvieron ocho muestras compuestas (Sector San Isidro); para el tratamiento suelo virgen se obtuvieron dos (sector Santa Rosa) y para el tratamiento hortalizas, se obtuvieron 3 (Sector Valle Verde) Figura 1.



en los siguientes puntos: a) descarga de aguas residuales (salida de la estación de bombeo), b) laguna de oxidación I, c) laguna de oxidación II, d) caño o laguna del productor, y e) área de riego bajo inundación (potreros). Las muestras se analizaron en el laboratorio del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales de Venezuela. Se determinaron los parámetros siguientes: coliformes fecales, coliformes totales, pH, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), aceites y grasas, fósforo total, nitrógeno total; sólidos totales disueltos y suspendidos, así como metales pesados Fe, Zn, Cu, Cr, Ni, Mg, Hg, Cd y Pb.

### Parámetros biológicos

La determinación de los parámetros biológicos se realizó en el laboratorio de biología de suelos del INIA, Ceniap, Maracay, estado Aragua, donde se practicaron las siguientes determinaciones: carbono orgánico (Walkley y Black 1934), carbón de la biomasa microbiana y población de hongos y bacterias. El método de laboratorio que se utilizó para la determinación del carbón de la biomasa microbiana fue el de fumigación e incubación y para bacterias totales se utilizó el conteo en placas (Espinoza y España, 2003).

### Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para determinar las diferencias entre los distintos tipos de uso de la tierra,

desde el punto de vista de manejo sobre las propiedades químicas y biológicas de los suelos. En aquellas variables en las que se detectaron diferencias significativas, se realizó prueba de separación de medias de Tukey para comparar los tratamientos en función de la magnitud de los valores obtenidos. El valor de probabilidad seleccionado en el estudio fue de  $p < 0.05$ . El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico computarizado STASTICAL-6.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de aguas residuales

Los resultados indican que no existe un alto nivel de contaminación de las aguas por elementos metálicos; no obstante, resultados preliminares en suelo mostraron alta concentración de cadmio y plomo, en niveles superiores a los valores máximos permitidos en la norma vigente. La caracterización mostró características típicas de aguas residuales urbanas como se puede observar en los parámetros correspondientes a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total (NT), fósforo total (PT) y los altos valores de coliformes totales. Estos resultados muestran que estas aguas pueden ser tratadas por medios biológicos, en virtud de que no se detectaron metales pesados (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Caracterización del sistema de tratamiento de aguas residuales, San Isidro, Llanura de Coro, estado Falcón, Venezuela.**

Punto de muestreo	Ce (uS cm)	ST (mg L)	S T D (mg L)	SS (mg L)	Cl (mg L)	Nt (mg L)	Pt (mg L)	SO <sub>4</sub> (mg L)	pH	DBO (mg L)	DQO (mg L)
A	624	492	399	93	56	18	2.3	108	7	78	190
B	769	604	492	112	130	23	5	130	7	13	61
C	792	584	507	77	70	23	5.1	153	7.2	13	76
D	792	584	507	77	67	23	5.1	67	7.2	13	76
E	779	752	499	253	129	23	5.1	84	7.1	13	76
Punto de muestreo	Aceites (mg L)	Detergentes (mg L)	Cd (mg L)	Cu (mg L)	Cr (mg L)	Fe (mg L)	Pb (mg L)	Zn (mg L)	K (mg L)	Coliformes (NMP 100ml)	
A	1	2.2	0.020	0.05	0.1	0.05	0.1	0.1	0	16000000	
B	1	0.41	0.020	0.05	0.1	0.05	0.1	0.1	0	16000000	
C	1	0.14	0.005	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1	0	130000	
D	1	0.14	0.005	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1	19	30000	
E	0	0	0.005	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1	19	90000	

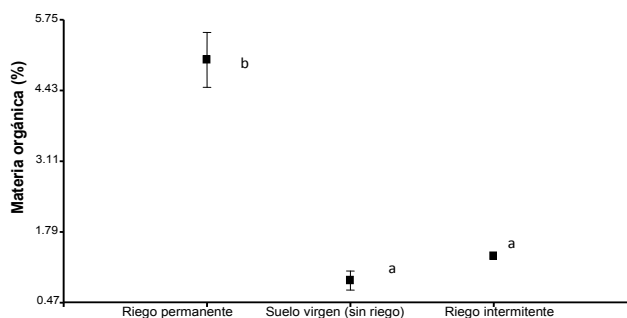
Ce= conductividad eléctrica; ST= sólidos totales; STD= sólidos totales disueltos; SS= sólidos solubles; A= descarga; B= laguna de oxidación I; C= laguna de oxidación II; D= laguna o caño del productor; E= área de riego bajo inundación.

Es importante destacar que las dos lagunas de oxidación presentaron problemas de funcionamiento, ya que ambas reflejan el mismo porcentaje de remoción de materia orgánica sin remoción efectiva de los nutrientes P y N; además, de observarse un incremento en la conductividad eléctrica del agua de las lagunas. Los primeros aspectos son importantes desde el punto de vista agrícola ya que los incrementos de carbono orgánico, fósforo y nitrógeno mejoran considerablemente la fertilidad del suelo; los niveles de conductividad eléctrica pueden llevar a la salinización del suelo, sobre todo por los altos contenidos de sulfatos observados en las aguas residuales. Autores como Lin (1988), Dempsey *et al.* (1989), Elliott *et al.* (1990), y Elliott y Dempsey (1991), señalaron que el uso continuo de aguas residuales mejora sustancialmente el ciclaje de nutrientes, al incrementar la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y carbono orgánico, tal como lo señalan los resultados referentes a carbono orgánico, nitrógeno y fósforo en los suelos muestreados.

### Contenido de materia orgánica

El análisis de las aguas empleadas en el área bajo estudio (Cuadro 1), mostró que las aguas crudas presentan un alto contenido de materia orgánica observándose altos valores en los parámetros DBO y DQO, aunque las lagunas de oxidación fueron eficientes en disminuir la materia orgánica, la aplicación constante de aguas residuales en el tipo de uso pastizal, ha incrementado los niveles de materia orgánica a valores de 4.31% los cuales fueron significativamente superiores ( $p < 0.05$ ) al contenido reportado en el suelo virgen el cual fue de 0.88%. Este último valor es similar a los suelos de las zonas semiáridas de Venezuela, donde los niveles de materia orgánica son bajos debido al escaso aporte de biomasa vegetal en estas zonas; por lo tanto, el uso de aguas residuales es una práctica prometedora para mejorar los niveles de fertilidad de esos suelos (Figura 2).

En el caso de hortalizas donde se regó de manera intermitente, aunque el incremento fue menor, este fue superior a los niveles presentados en el suelo virgen, obteniendo en promedio valores de materia orgánica de 1.33% con lo cual se evidencia el efecto benéfico de las aguas residuales sobre el contenido de materia orgánica en el suelo.



**Figura 2. Contenido de materia orgánica en tres tipos de uso de la tierra. Letras distintas indican diferencias significativas,  $p < 0.05$  y las barras indican el error estándar.**

Los contenidos de materia orgánica observados fueron similares a los reportado por Nascimento *et al.* (2004), quienes constataron incremento en el contenido de materia orgánica luego de la aplicación de aguas residuales en suelos de la zona semiárida brasileña, presentándose incrementos de 53% en un suelo espodosol y 62% en suelo argisol. Simonete *et al.* (2003), señalaron que esos incrementos son de gran importancia en suelos de las regiones semiáridas donde los valores de materia orgánica son sumamente bajos. El mantenimiento de los niveles de materia orgánica por la adición de aguas residuales dependerá de aplicaciones continuas de las mismas, dado que los efectos sobre los valores de carbono orgánico en el suelo pueden ser reparables debido a la rápida descomposición de la materia orgánica en condiciones tropicales (Oliveira *et al.*, 2002). Esto queda reflejado cuando se observa como el nivel de materia orgánica en el suelo donde se aplicó agua residual en forma intermitente para el riego de hortalizas, fue significativamente menor en comparación con aquel donde el riego se mantuvo de forma continua para el sistema de potreros. Otro aspecto a considerar, es el aporte de materia orgánica que realiza el sistema de producción predominante, como es el “pasto alemán”, a través de la descomposición de raíces y otros restos de la parte aérea de la planta.

Las aguas residuales contienen elementos en suspensión los cuales son retenidos por la matriz del suelo lo cual mejora las propiedades físicas y químicas, estructura, retención de nutrientes, además de propiciar una mayor actividad biológica que favorece la mineralización de los elementos, en especial de nitrógeno y fósforo. Mulvaney (1996),

señaló que el incremento de la materia orgánica contribuye a mejorar la capacidad de intercambio catiónico del suelo, siendo la mayor contribución el incremento de las cargas negativas lo cual se incrementa al elevarse los niveles de materia orgánica. Este autor señala, que a partir de las aguas residuales urbanas se obtiene lodos cuyos nutrientes son usados en la fertilización de algunos cultivos y dado los altos contenidos de materia orgánica pueden ser útiles en la recuperación de los suelos. No obstante, cuando estas aguas residuales provienen de efluentes industriales su aplicación puede producir la acumulación de metales pesados, especialmente algunos que por su movilidad pueden acumularse en suelo y ser absorbidos por las plantas.

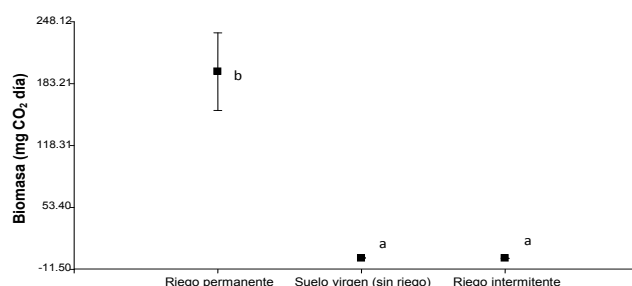
### Cambios en la actividad biológica

Uno de los efectos más notables del uso permanente de aguas residuales, ha sido la respuesta sobre la actividad biológica del suelo, observándose una marcada diferencia entre los valores de biomasa microbiana y el conteo de hongos y bacterias. El incremento de la materia orgánica mejora notablemente la actividad biológica en los suelos regados con aguas residuales. Sin embargo, un aspecto que no se evaluó y que pudiera explicar estos cambios fue la calidad de la materia orgánica, a continuación se presentan los resultados.

La biomasa microbiana fue significativamente más alta ( $p < 0.05$ ) en el suelo con riego continuo de aguas residuales con valores promedios de 198  $\mu\text{g}$  de carbono en comparación al suelo con riego intermitente y el suelo virgen, cuyos valores no superaron los 10  $\mu\text{g}$  (Figura 3a). Estas diferencias pueden ser producto de la incorporación de materiales orgánicos fácilmente biodegradables junto con las aguas, los cuales estimulan la actividad microbiana autóctona del suelo o a la incorporación de microorganismos exógenos (Perucci, 1992). En los resultados anteriores se reportó que los sistemas de eliminación de residuos no fueron eficientes y existía una gran cantidad de sólidos totales, así como nutrientes en las aguas usadas para riego.

Estos resultados coinciden con lo señalado por Filip *et al.* (1999), quienes reportaron que en suelos agrícolas de Alemania, regados durante 100 años con aguas residuales (efluentes primarios) se observó un incremento en el carbón de la biomasa microbiana (C-BM), medido por ATP, con respecto a los valores encontrados en los suelos de la misma zona regados sin aguas residuales,

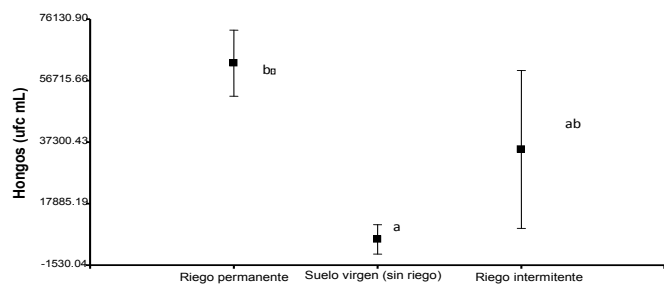
durante el mismo período. Este incremento en el C-BM se observó aún en suelos en los que el riego con aguas residuales se había interrumpido desde hacía 20 años; no obstante, estos resultados son diferentes a los observados en esta investigación ya que en el tipo de uso de la tierra con hortalizas cuyo riego fue interrumpido hace cinco años, los niveles de biomasa microbiana fueron bajos a pesar de que los niveles de materia orgánica fueron elevados. La discrepancia anterior probablemente se debe a las diferencias en el tiempo de irrigación con aguas residuales y al contenido de las mismas.



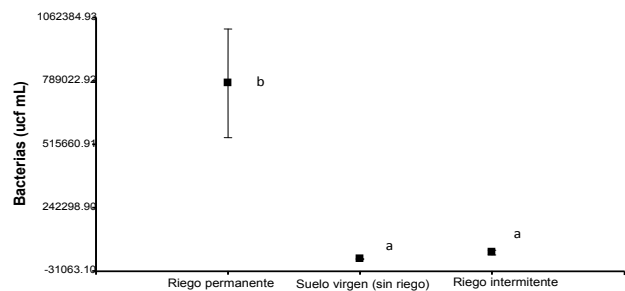
**Figura 3a. Biomasa microbiana en tres tipos de uso de la tierra. Letras diferentes indican diferencias significativas,  $p < 0.05$  y barras indican error estándar.**

Por otra parte, la actividad biológica de los suelos donde se utilizó agua residual pudo haber sido afectada por los niveles de metales pesados presentes en los mismos, que en promedio fueron de 2.30 mg kg para Cd y 23.30 mg kg para el caso de Pb; en tal sentido, estos niveles son superiores a los máximos niveles permitidos por la mayoría de las normas mundiales, donde en promedio los niveles aceptados son un máximo de 1.0 mg kg para el Cd y 10 mg kg para Pb. Epstein (2003), señaló que las altas concentraciones de metales pesados pueden ser tóxicas para los microorganismos, mientras que Alaman y Arcak (2000) señalaron que bajos niveles de estos metales tienen poco efecto en la actividad biológica del suelo y a su vez las aguas residuales tendrían poca incidencia en la actividad metabólica de los organismos heterótrofos. Los altos valores de metales pesados pudieran deberse al tiempo prolongado de riego de estos potreros con aguas residuales, a los altos contenidos de arcillas finas que favorecen la absorción de los metales pesados y al alto contenido de materia orgánica que incrementa la capacidad de intercambio catiónico aumentando la retención de los mismos y evitando su lixiviación.

En términos generales, las aplicaciones de aguas residuales presentaron una tendencia al aumento de hongos y bacterias (Figura 3b y 4), observándose diferencias significativas ( $p<0.05$ ), tanto en las poblaciones de hongos como de bacterias. Estos resultados nos permiten inferir sobre las alteraciones de la diversidad de microorganismos existentes, una observación importante es la tendencia al incremento de las comunidades microbianas, indicando una adaptación de estos microorganismos a las alteraciones causadas por el uso de aguas residuales.



**Figura 3b. Población de hongos (ufc mL) en tres tipos de uso de la tierra. Letras diferentes indican diferencias significativas,  $p<0.05$  y barras indican error estándar.**



**Figura 4. Población de bacterias (ufc mL) en tres tipos de uso de la tierra. Letras diferentes indican diferencias significativas,  $p<0.05$  y barras indican error estándar.**

La ausencia de efectos perjudiciales sobre los microorganismos, también fue observada por Hattori (1992), Jahnel (1992) y Fortes (2000), quienes estudiaron el efecto de metales pesados sobre la descomposición de la materia orgánica y sobre la microbiota del suelo, observando un aumento en el número de hongos en la muestra de suelo tratado con diferentes dosis de aguas residuales.

Los hongos, incluyendo levaduras, especies filamentosas y los mohos, están ampliamente distribuidos en la naturaleza; algunas especies presentan características de patogenicidad y otras son parasitarias. En aguas muy contaminadas, la densidad de hongos se ve incrementada, ya que están en relación directa con la materia orgánica; en tal sentido, la población de hongos fue mayor en el tipo de uso de la tierra regada con aguas residuales en forma continua en comparación con los otros usos, por lo que se han sugerido también como indicadores de contaminación. Desafortunadamente, no se ha logrado establecer un grupo o especie que sirva como indicador adecuado para los diversos tipos de agua residual. Los valores de  $6.2 \times 10^2$  UFC ml encontrados en el efluente, sugieren que es necesario seguir en el futuro su estudio, ya que los indicadores bacterianos tradicionales no presentan relación directa con los hongos y se ha reportado en el ambiente la presencia de hongos de importancia clínica como *Aspergillus*, *Trichophyton* y *Candida*.

Las bacterias heterotróficas, mesófilas y aerobias, aportan información valiosa acerca del número total de bacterias viables, y constituyen un recurso de evaluación para determinar el grado de exposición del agua contaminada por materia orgánica, respaldando el significado atribuido a los resultados de los análisis de los coliformes.

## CONCLUSIONES

La aplicación constante de aguas residuales en suelos con pastos incrementa los niveles de materia orgánica a niveles muy superiores a los del suelo virgen.

El incremento de la materia orgánica en el suelo bajo uso permanente de aguas residuales, conlleva a mayor actividad biológica expresada como biomasa microbiana y población total de hongos y bacterias, en comparación con los tratamientos donde se regó en forma intermitente (hortalizas) y sin uso de aguas residuales (suelo virgen).

## LITERATURA CITADA

Alaman, S. and Arcak S. 2000. Effects of the sewage sludge of Ankara waste water treatment plant on some soil biological activities. *In*: international Symposium on Desertification/ Konya. 156 pp.

- Dempsey, B.; Dewolfe, J.; Hamilton, D.; Lee, R. and Elliott, H. A. 1989. Land application of water plant sludges. 537-543.
- Espinoza, Y. y España, M. 2003. Manual de métodos de procedimientos en biología de suelos. INIA, CENIAP (en prensa).
- Elliott, H.; Dempsey, B.; Hamilton, D. and Dewolfe, J. 1990. Land application of water treatment sludges: impact and management. Am. Water Works Assoc. Res. Foundation, Denver, CO USA. 152 pp.
- Elliott, H. and Dempsey, B. 1991. Agronomic effects of land application of water treatment sludges. J. Am. Water Works Assoc. 83:126-131.
- Epstein, E. 2003. Land Application of sewage sludge and biosolids. N.Y. CRC Press Company (Ed). USA. 201pp.
- Filip, Z. S; Kanazawa, S. and Berthelin, J. 1999. Characterization of effects of a long-term wastewater irrigation on soil quality by microbiological and biochemical parameters. Soil Sci. Plant Nutr. 162:409-413.
- Fortes, P. 2000. Degradação de biossólido incorporado ao solo avaliada através de medidas microbiológicas. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 113 p.
- Hattori, H. 1992. Influence of heavy metals on soil activities. Soil Sci. Plant Nutr. 38:93-100.
- Jahnel, M. C. 1992. Método de plaqueamento por gotas e outros parâmetros microbiológicos na avaliação da degradação de lodo ativado de curtume em solos. 1997. 79 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Lin, S. 1988. Effects of alum sludge application on corn and soybeans. *In*: Environ. Eng.: Proc. of the Joint CSCE-ASCE Natl. Conf., Vancouver, BC, Canada. 13-15 July 1988. Can. Soc. of Civil Eng., Montreal, in conjunction with Environ. Canada and the Univ. of British Columbia. 321 p.
- Mulvaney, R. 1996. Nitrogen-inorganic forms. *In*: D. L. Sparks (ed.) Methods of soil analysis. Part 3. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI. PAGINAS.
- Nascimento, C. W. A.; Barros, D. A.; Melo, E. E. y Oliveira, A. B. 2004. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. Revista Brasileira de Ciência de Solo 28(2):385-392.
- Oliveira, F. C.; Matiazzo, M. E.; Marciano, C. R. y Rosseto, R. 2002. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. Revista Brasileira de Ciência de Solo 26(2):505-519.
- Perucci, P. 1992. Enzyme activity and microbial biomass in a field soil amended with municipal refuse. Biol. Fertil. Soils 14:54-60.
- Raber, B. and Kogel-Knabner, I. 1995. Desorption of PAH polycyclic aromatic hydrocarbons from soils under the influence of dissolved organic substances. Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. 76:421-424. Simonete, M. A.; Kiehl, J. C.; Andrade, C. A. y Teixeira, C. F. 2003. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira 38(10):1187-1195.
- Soler, R.; Brunetti, R. and Senesi, N. 2002. Comparative chemical and spectroscopic characterization of humic acids from sewage sludges and sludge-amended soils. Soil Sci. 167:235-245.
- Theis, M. 1999. Evaluación de las características físicas y químicas de un suelo regado con agua residual. Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. UNEFM. Venezuela. 43 pp.
- Walkley, A. and Black, A. 1934. An examination of the method for determination soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci 37:29-38.