

CARACTERIZACIÓN DE LOS BIOSÓLIDOS DE AGUAS RESIDUALES DE LA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES “QUIBÚ”

E. Utria[✉], Inés Reynaldo, A. Cabrera, D. Morales, Ada Morúa y Nereida Álvarez

ABSTRACT. With the aim of evaluating the chemical and microbiological composition of biosolids from “Quibú” Residual Water Purifying Station, this work was carried out at the National Institute of Agricultural Sciences (INCA). The paper evidenced that these organic residuals have relatively high levels of organic matter (MO), nitrogen (N), phosphorus (P) and calcium (Ca), whereas lower levels of magnesium (Mg) and potassium (K). These contents were comparable with the most frequently used organic fertilizers in our agriculture and similar to other biosolids found in the world. Amounts of heavy metals and pathogenic microorganisms are recorded in lower levels than the maximum values set up by agricultural regulations in several countries. In general, results show that the agricultural application of these residuals could be a viable alternative to evacuate them, which could be very important in agricultural production systems.

RESUMEN. Con el objetivo de evaluar la composición química y microbiológica de los biosólidos de aguas residuales urbanas procedentes de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) “Quibú”, se realizó el presente trabajo en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). En él se evidenció que estos residuos orgánicos presentan niveles de materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P) y calcio (Ca) relativamente altos, y los niveles de magnesio (Mg) y potasio (K) se presentan en concentraciones bajas; en todos los casos los contenidos de estos son comparables con los abonos orgánicos más utilizados en la agricultura cubana y similares a los encontrados en otros biosólidos a nivel internacional. Los contenidos de metales pesados y microorganismos patógenos se encuentran en niveles inferiores a los máximos permisibles establecidos por las leyes de varios países para ser aplicados en la agricultura. De forma general, se observa que la utilización agrícola de estos residuos puede ser una alternativa viable para su evacuación y de vital importancia en sistemas de producción agrícola.

Key words: residue solids, heavy metals, microorganisms, agriculture, waste waters

Palabras clave: residuos sólidos, metales pesados, microorganismos, agricultura, aguas residuales

INTRODUCCIÓN

La necesidad de preservar el ambiente libre de contaminación exige la depuración de las aguas residuales antes de ser vertidas a los cauces receptores. En este proceso de depuración se generan elevadas cantidades de residuos orgánicos llamados lodos de depuradoras, biosólidos o fangos (1, 2, 3).

Para darle un destino adecuado a estos residuos, algunas alternativas han sido puestas en práctica; dentro

de ellas la utilización agrícola con sus distintas variantes (jardinería, agroforestería, entre otras) es la más adecuada, por ser estos residuos una fuente de MO (4, 5, 6) y nutrientes esenciales para las plantas (6, 7), fundamentalmente N (2, 8), P (9, 10) y Ca (10). Además, esta práctica es eminentemente sostenible, desde el punto de vista medioambiental y económico.

Los nutrientes contenidos en los biosólidos incrementan la biomasa y el rendimiento de las plantas (11, 12). Sin embargo, su aplicación en los suelos agrícolas puede presentar algunos aspectos negativos, como son la presencia de metales pesados (13) y microorganismos patógenos (14), los cuales cuando se presentan en concentraciones excesivas pueden influir negativamente en las características de los suelos y el desarrollo de las plantas de cultivo (2). Esta composición no sorprende dado su origen, pero es evidente que con un mejor control de las aguas vertidas y de los métodos de depuración, se puede potenciar el valor de los componentes útiles y disminuir la peligrisidad de los otros (15).

E. Utria, Profesor Asistente de la Facultad Agroforestal de Montaña del Centro Universitario de Guantánamo (CUG), carretera Guantánamo a Santiago, km 1½, Guantánamo; Dr.C. Inés Reynaldo y Dr.C. D. Morales, Investigadores Titulares del Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal; Dr.C. A. Cabrera, Investigador Titular del Departamento de Biofertilizantes, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, CP 32 700; Ada Morúa, Jefa de la Estación Depuradora de Aguas Residuales “Quibú”, 25 y 126, Playa, Ciudad de La Habana y Nereida Álvarez, Centro de Higiene y Epidemiología de Güines, La Habana, Cuba.

✉ eutria@inca.edu.cu, eutria@yahoo.es, eutria@hotmail.com

La presencia de metales pesados representa la principal limitante para el uso de los biosólidos en la agricultura (3, 16, 17). Entre estos metales existen algunos como el Cu, Zn, Ni, Fe y Mn, que son esenciales para las plantas y su deficiencia afecta su comportamiento, mientras que si se encuentran en exceso implican riesgos de fitotoxicidad (18, 19). Existen otros que no tienen funciones fisiológicas reconocidas y su presencia en el suelo siempre será un riesgo potencial, ya que pueden acumularse y contaminar el agua y los alimentos (20, 21).

Tomando en consideración lo planteado con anterioridad se realizó el presente trabajo, con el objetivo de evaluar la composición química y microbiológica de los biosólidos de aguas residuales urbanas procedentes de la Estación Depuradora de Aguas Residuales "Quibú".

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) ubicado en San José de las Lajas, La Habana.

Los biosólidos utilizados procedieron de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) "Quibú" de Marianao, Ciudad de La Habana. Estos fueron obtenidos mediante un proceso de digestión anaeróbica y su producción varía de 617-778 toneladas anuales. Su procedencia es fundamentalmente de origen residencial (aproximadamente 120 000 habitantes).

Para la caracterización química y microbiológica de los biosólidos, se tomaron tres muestras de cada lecho de secado (2) en cinco descargas de EDAR "Quibú" en diferentes meses y años (2001, 2002, 2003 y 2004).

Los análisis químicos se realizaron a cada muestra, mediante una digestión con una mezcla de H_2SO_4 y Se, según el método Kjeldahl y en el extracto se determinaron los contenidos de Ca^{2+} y Mg^{2+} por complexometría mediante valoración con EDTA, el P por colorimetría con el desarrollo del color azul del complejo molibdofosfórico, el N según el método de Nessler y el K^+ por fotometría de llama.

El contenido de MO se determinó según el método de Walkley y Black, el pH por el método potenciométrico con una relación sólido: agua de 1:2.5.

Para los análisis de metales pesados, se secaron las muestras a $105^\circ C$ y se disolvieron con HNO_3 en baño de María, para eliminar la materia orgánica; luego fueron redisueltas con HCl. La solución obtenida fue enrasada a un volumen conocido y su concentración determinada con un espectrómetro de absorción atómica (SOLAR 929).

Los análisis microbiológicos se realizaron por conteo directo en placas Petri para cada dilución y tipo de microorganismos. El número de unidades formadoras de colonias (UFC) se obtuvo por conteo directo en cada una de las placas y, posteriormente, se determinó la media y finalmente el número de microorganismos por gramo de suelo, para cada tipo y el valor obtenido se multiplicó por el factor de dilución. En todos los casos, se utilizaron

tres muestras del sólido (suelo, biosólidos y sus mezclas) y tres placas por muestra.

El conteo de bacterias, hongos y actinomicetos totales se realizó según la metodología descrita por Atla (22) y los nitro fijadores de nitrógeno totales por la metodología descrita por Pazos (23).

Bacterias totales: agar nutriente bacteriológico.

Hongos totales: agar extracto de malta.

Actinomicetos totales: agar almidón amoniacal.

Nitro fijadores totales: Medio de cultivo NFB.

La cuantificación de los microorganismos patógenos se realizó según las normas que aparecen a continuación:

Determinación cuantitativa de coliformes totales (ISO 4832:2002).

Determinación cuantitativa de coliformes fecales (NC 38-02-14).

Determinación cuantitativa de *Staphylococcus aureus* (ISO 6888-1:2002).

Determinación de *Salmonellas* (NC XXX: 2002).

Determinación de *Pseudomonas aeruginosa* (ISO 9000:2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I aparecen los resultados de los indicadores químicos, que con más frecuencia se analizan en trabajos de interés agronómico realizados con biosólidos. En ella se observa que estos residuos presentan un contenido relativamente alto de MO oxidable y los macronutrientes se encuentran en un orden decreciente: $Ca > N > P > Mg > K$ y sus niveles son comparables con los informados (24) para los abonos más utilizados en la agricultura cubana (A) y en diferentes biosólidos de aguas residuales urbanas (25, 26, 27), a nivel internacional (B). Las magnitudes del pH presentan valores que varían desde el neutro hasta ligeramente básicos.

Tabla I. Propiedades químicas de los biosólidos procedentes de cinco descargas de la Estación Depuradora de Aguas Residuales Urbanas "Quibú" (expresados en base seca)

Indicador	Media	Intervalo de confianza	Límites	
			A	B
MO %	42.35	39.34-45.36	17.14-63.51	20.6-57.4
Ca^{2+}	8.84	7.3-10.38	-	1.31-4.70
N	2.6	1.9-3.3	0.67-2.44	0.46-4.20
P	1.35	1.11-1.59	0.40-4.12	0.60-4.9
Mg^{2+}	0.84	0.62-1.06	-	0.35-1.28
K^+	0.76	0.49-1.03	0.33-3.6	0.13-1.11
pH	7.12	6.99-7.25	-	-
Relación C/N	10/1	8/1-14/1	8/1- 40/1	-

Contenido de MO, materia orgánica oxidables; Ca, calcio; N, nitrógeno; P, fósforo; Mg, magnesio y K, potasio. A, abonos orgánicos más utilizados en la agricultura cubana; B, biosólidos de aguas residuales urbanas a nivel internacional

Como se puede observar en dicha tabla, los mayores constituyentes de los biosólidos están representados por MO oxidable, Ca, N y P, lo cual indica que la procedencia de estos biosólidos es fundamentalmente de origen residencial, ya que existe una carga orgánica importante proveniente de las aguas albañales y del lava-

do y cocción de alimentos; dentro de esta carga orgánica viene el N y gran parte del P, ambos elementos forman parte de las proteínas y otros compuestos orgánicos presentes en estos residuos. Además, el P también proviene de los cuerpos microbianos de los residuales y de los saborizantes que utilizan fosfatos como aditivos.

Los contenidos relativamente altos de Ca y P en los biosólidos, también pueden ser producto de los detergentes utilizados en las limpiezas de locales y residencias, además del procedente arrastre en masa que provocan las corrientes de aguas residuales superficiales al pasar por los suelos de la zona (fundamentalmente Ferralítico Rojo y Pardos Carbonatados), los cuales están formados sobre rocas sedimentarias, como la piedra caliza, lo que provoca que dichos iones sean comunes en estas aguas residuales (28) y en los biosólidos, una vez que las aguas hayan sido depuradas y vertidas a los cauces receptores.

La relación C/N de los biosólidos se encuentra dentro del rango informado (29) para los abonos orgánicos más utilizados en la agricultura y es similar a los encontrados en el humus de lombriz, la cual varía de 10/1-13/1 y es considerada como óptima para los abonos orgánicos aplicados en los suelos de uso agrícola (30). Esta baja relación muestra que la MO presente en los biosólidos, es un material estabilizado y con un grado avanzado de mineralización, lo que evidencia que estos residuos son una fuente potencial de nutrientes en un breve plazo de tiempo, después de su aplicación. Esto es posible, porque ellos no contienen altos contenidos de ligninas, ni productos de alta resistencia al ataque microbiano, debido a su origen, fundamentalmente doméstico. Además, durante el proceso de depuración de las aguas residuales, estos residuos son sometidos a una continua degradación, que es el objetivo del proceso de digestión anaeróbica, mediante el cual se utilizan microorganismos capaces de degradar los compuestos orgánicos procedentes de diferentes orígenes que llegan a las estaciones depuradoras.

El pH en los biosólidos se encuentra en valores cercanos a la neutralidad, lo que puede influir notablemente en los valores de este parámetro en el suelo y propiciar

que cuando las magnitudes estén por debajo o por encima de 7, ellas tomen valores cercanos a la neutralidad. Este aspecto es muy importante, ya que en valores de pH cercanos a la neutralidad, los macronutrientes tienen una relativa movilidad en el suelo y su mayor tasa de asimilación por las plantas; mientras que la absorción de los metales pesados se ve limitada y, de esta manera, se evita que las plantas absorban niveles extremadamente excesivos o tóxicos de estos elementos, fenómeno que suele ocurrir en plantas desarrolladas en sustratos con pH ácido (31).

Los contenidos de metales pesados en los biosólidos utilizados se presentan en la Tabla II. Los metales pesados se encuentran en una secuencia de concentraciones decrecientes: Fe>Cu>Zn>Cr>Ni>Mn>Co>Pb, lo cual muestra las posibles fuentes de contaminación de estas aguas en su recorrido. En todos los casos, los niveles de estos elementos están por debajo de los límites máximos permisibles (17), según las Normativas de España (BOE 1990), Europa (CEE 1986), Estados Unidos (USEPA 1993), y México (32), las cuales regulan la utilización de los biosólidos con fines agrícolas (Tabla II). Basados en estos contenidos y si se tiene en cuenta que la presencia de metales pesados en los biosólidos es su principal factor limitante (16, 33), estos se pueden considerar aptos para ser aplicados en la agricultura.

El metal pesado que se encontró en mayor concentración en los biosólidos fue el Fe, quizás debido al arrastre en masa producido por las aguas residuales en su paso por los suelos de la zona, ya que los Ferralíticos Rojos en su composición química presentan elevadas concentraciones de óxido de Fe. En segundo orden de concentración le siguió el Cu, lo cual indica la presencia de un posible foco de contaminación sin control de este elemento en las aguas residuales que llegan a la Estación Depuradora de Aguas Residuales, ya que el Cu proviene fundamentalmente de los sistemas de explotaciones industriales.

Se destaca que el elemento que mayor variación experimentó en las diferentes descargas de biosólidos fue el Zn, quizás debido a los distintos factores que rigen las descargas de contaminantes realizadas por los

Tabla II. Contenidos totales de metales pesados en los biosólidos procedentes de cinco descargas de la Estación Depuradora de Aguas Residuales Urbanas "Quibú" y valores máximos permisibles para ser destinados al uso agrícola, según las normativas de diferentes países (expresados en base seca)

Indicador	Media	Intervalo de confianza	Valores máximos permisibles			
			BOE 1990	CEE 1986	USEPA 1993	NOM-004-ECOL-2001
Fe %	2.09	1.99 - 2.19	-	-	-	-
Cu	337.67	332.5 - 342.84	1000-1750	1000-1750	4300	1500-4300
Zn	135.0	61.82 - 208.18	2500-4000	2500-4000	7500	2800-7500
Cr	79.37	68.76 - 89.98	1000-1500	-	3000	1200-3000
Ni	59.5	52.98 - 66.02	300-400	300-400	420	420
Mn	55.67	54.24 - 57.10	-	-	-	-
Co	18.83	16.66-21.00	-	-	-	-
Pb	< LD	-	750-1200	750-1200	840	300-840

Contenido de Fe, hierro; Cu, cobre; Zn, cinc; Cr, cromo; Ni, níquel; Mn, manganeso; Co, cobalto y Pb, plomo. LD, Límites de detección (5 mg.kg⁻¹)

asentamientos urbanos durante las diferentes épocas del año, tales como: temperatura, precipitación, volúmenes de contaminantes vertidos a las aguas residuales, etc. Este elemento es un constituyente de los detergentes y su descarga en el agua es muy variable, lo que pudo haber influido notablemente en la composición de los biosólidos.

En la Tabla III se muestran las poblaciones de microorganismos presentes en los biosólidos. Se puede evidenciar que las poblaciones totales de microorganismos en estos residuos son muy variables y se encuentran en un orden de 10^7 en las bacterias y de 10^5 a 10^6 en los hongos y actinomicetos. Esto puede ser debido a diversos factores, los cuales van desde las diferentes etapas por las que pasan las aguas residuales durante su procesamiento después de su entrada a la Estación Depuradora de Aguas Residuales, hasta la influencia de los diferentes factores ambientales (radiación, temperatura, precipitación, etc.), una vez que los biosólidos han sido depositados en los lechos de secado, para lograr un nivel de humedad que permita manejarlos con facilidad. La concentración de microorganismos patógenos en los biosólidos, tales como Coliformes totales y fecales, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Salmonellas spp.*, no constituye una limitante para su uso en la agricultura, ya que los valores detectados se encuentran por debajo de los niveles aceptables para ser aplicados en sistemas de producción agrícola (34).

Se destaca el hecho que de la población de bacterias totales presente en los biosólidos, los microorganismos nitrificadores totales ocupan un lugar destacado, debido a su concentración relativamente alta en estos residuos. Este aspecto es muy importante y es una evidencia de que este material orgánico está parcialmente enriquecido en N, macroelemento de mayor demanda por las plantas, después del C, H y O.

De forma general, en este estudio se evidenció que los biosólidos de la Estación Depuradora de Aguas Residuales "Quibú" presentan potencialidades para ser aplicados en la agricultura, debido a su contenido de MO y nutrientes esenciales para las plantas, los cuales son comparables con los abonos orgánicos más utilizados

en la agricultura y con otros tipos de biosólidos a nivel internacional.

Los contenidos de metales pesados y microorganismos patógenos están por debajo de los niveles máximos establecidos por las normas de varios países, que regulan la aplicación de estos materiales orgánicos en sistemas de producción agrícola. Esto evidencia una notable ventaja de dichos residuos con respecto a los fertilizantes minerales, al tener en su composición además de macronutrientes en cantidades adecuadas, micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Ni, Mn) necesarios para el normal desarrollo de las plantas, representando un producto relativamente completo desde el punto de vista nutritivo. En el caso de los microorganismos, los contenidos encontrados son muy importantes en los suelos, debido al papel que estos juegan en la descomposición de la MO y los procesos biogeoquímicos de los elementos, como es el caso de los nitrificadores totales, los cuales juegan un papel preponderante en el ciclo del N.

Por todo esto es que se pueden considerar a los biosólidos de aguas residuales urbanas utilizados en esta investigación, aptos para ser aplicados en la agricultura, como fuente potencial de MO y nutrientes, que contribuyen a mejorar las propiedades químicas, físicas y microbiológicas de los suelos de Cuba.

REFERENCIAS

1. Silva, F. C. da; Boareto, A. E.; Berton, R.; Bazaglia, H.; Peixe, C. A. y Mendoça, E. Efeito de biosólidos de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado con cana-açúcar. *Pesq. Agrop. Bras., Brasília*, 2001, vol. 35, no. 5, p. 831-840.
2. Miralles, R.; Beltrán, E.; Porcel, M. A.; Beringola, M. L.; Martín, J. V.; Calvo, R. y Delgado, M. M. Influencia de tres tipos de biosólidos de estaciones depuradoras en el desarrollo de estaquillas de olivo. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 2002, vol. 14, no. 4, p. 163 - 169.
3. Cueva, G. y Walter, I. Metales pesados en maíz (*Zea may L*) cultivado en un suelo enmendado con diferentes dosis de compost de lodo residual. *Rev. Int. Contam. Ambient*, 2004, vol. 20, no. 2, p. 59-68.

Tabla III. Características microbiológicas de los biosólidos procedentes de cinco descargas de la Estación Depuradora de Aguas Residuales Urbanas "Quibú" y niveles de microorganismos patógenos aceptables según tipo de biosólidos (USEPA, 1993)

Microorganismos	Límites	USEPA, 1993	
		Nivel de microorganismos patógenos aceptable en biosólidos Biosólidos Clase A	Biosólidos Clase B
Bacterias totales	6.73×10^7 - 9.3×10^7	-	-
Nitrificadores totales	10^6	-	-
Hongos totales	2×10^5 - 3.2×10^6	-	-
Actinomicetos totales	2×10^6 - 4.5×10^6	-	-
Coliformes totales	1×10^1 - 1.1×10^3	-	-
Coliformes fecales	1.0×10^1	1×10^3 UFC.g ⁻¹ sólidos	1×10^3 - 2.10^6 UFC.g ⁻¹ sólidos
<i>Staphylococcus aureus</i>	< 100	-	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	negativa	-	-
<i>Salmonellas spp.</i> , UFC. 4 g muestra	negativa	3 UFC.4 g ⁻¹ sólidos	-

UFC: Unidades Formadoras de Colónias (-) no existe el dato

4. Polo, M. J.; Ordóñez, R. y Giráldez, J. V. Caracterización de los fangos de depuradora de la EDAR de Córdoba. Estudio de su aptitud agronómica. *Tecnología del Agua*, 1998, vol. 172, p. 20-27.
5. Miralles, R.; Beltrán, E.; Porcel, M. A.; Beringola, M. L.; Valero, J.; Calvo, R. y Delgado, M. Disponibilidad de nutrientes por el aporte en tres tipos de lodo de estaciones depuradoras. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 2003, vol. 19, no. 3, p. 127-136.
6. Nascimento, C. W. A.; Barros, D. A. S. y Melo, E. E. C. Soil chemical alterations and growth of maize and bean plants after sewage sludge application. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 2004, vol. 28, no. 2, p. 385-392.
7. Azevedo, C. de; Rocha, A.; Lima, M. R. de y Pohlman, M. Efeito residual do lodo de esgoto alcalinizado em atributos químicos e granulométricos de um cambissolo húmico. *Scientia Agraria*, 2001, vol. 2, no. 1-2, p. 87-91.
8. Barbarick, K. A.; Ippolito, J. A. y Peterson, G. A. Biosolid application to no-till dryland rotation. *Technical Report*. Colorado State University, 2003, 25 p.
9. Beltrán, E. M.; Miralles, R.; Porcel, M. A.; Delgado, M. M.; Beringola, J. V. y Bigeriego, M. Effect of sewage sludge compost application on ammonium-nitrogen and nitrate-nitrogen contents of an olive grove soil. En: *Proceedings International Soil Conservation. Organization Conference (12:2002:Pekin)*, 2002. t3, p. 395-402.
10. Carneiro, M. y Poggiani, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com biossólido. *Scientia Forestalis*, 2003, no. 63, p. 188-201.
11. Brofas, G. P. y Alifragis, D. Sewage sludge as an amendment for calcareous bauxite mine spoils reclamation. *J. Environ. Qual*, 2000, vol. 29, p. 811-816.
12. Cogger, C. G.; Bary, A. I.; Fransen, S. C. y Sullivan, D. M. Seven years of biosolids versus inorganic nitrogen applications to tall fescue. *J. Environ. Qual*, 2001, vol. 30, p. 2188-2194.
13. Walter, I.; Martínez, F.; Alonso, L.; Gracia, J. de y Cuevas, G. Extractable soil heavy metals following the cessation of biosolid application in agricultural soil. *Environ. Pollut*, 2002, vol. 117, p. 315-321.
14. Dumontet, S.; Scopu, A.; Kerje, S. y Krovacek, K. J. The importance of pathogenic organisms in sewage and sewage sludge. *J. Air Waste Manage Assoc.*, 2001, vol. 51, p. 848-860.
15. Soliva, M. Aplicación de lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbanas a la agricultura. *IQPC*. En: Fórum Internacional sobre: Tratamiento de lodos de depuradora: su minimización, valorización y destino final (2000:Madrid), 2000. p. 21.
16. Delgado, M.; Porcel, M. A.; Miralles, R.; Beltrán, E.; García, J.; Bellido, N. y Bigeriego, M. Empleo de compost de depuradora como fertilizante en el cultivo de maíz. *Vida Rural*, 2000, vol. 109, p. 24-26.
17. Illera, V.; Walter, I. y Cala, V. Niveles de metales pesados en *Thymus zygis* desarrollado en suelos enmendados con residuos orgánicos urbanos. *Rev. Int. Contam. Ambient*, 2001, vol. 17, no. 4, p. 170-186.
18. Martins, A. L. C.; Bataglia, O. C. y Camargo, O. A. Corn yield and uptake of Cu, Fe, Mn and Zn from sewage sludge-amended soil with and without liming. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 2003, vol. 27, no. 3, p. 563-574.
19. Passos, O. J.; Silva, C. A.; Wagner Bettiol, W.; Guimarães, L. R. y Dynia, J. F. Acúmulo de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em latossolo vermelho adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. *Ciênc. Agrotec. Lavras*, 2004, vol. 28, no. 1, p. 15-23.
20. Anjos, A. R. M. y Mattiazzo, M. E. Extratores para Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn em latossolos tratados com biossólido e cultivado com milho. *Scientia Agrícola*, 2001, vol. 58, no. 2, p. 337-344.
21. Keller, C.; McGrath, S. P. y Dunham, S. J. Trace metal leaching through a soil-grassland system after sewage sludge application. *J. Environ. Qual*, 2002, vol. 31, no. 5, p. 1550-1560.
22. Atla, R. M. "Handbook of Microbiological Media". Boca de Ratón: CRC Press, 1993, 1079 p.
23. Pazos, M. Aislamiento e identificación de cepas nativas, pertenecientes al género *Azospirillum* mediante técnicas moleculares. [Tesis de Maestría], Universidad de La Habana, 2000, 50 h.
24. Paneque, V. M. y Calaña, J. M. Abonos orgánicos. Conceptos prácticos para su evaluación y aplicación. La Habana:ACTAF, 2004. 54 p.
25. Andrade, C. A. y Mattiazzo, M. E. Nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após aplicao de biosólido (lodo de esgoto) em plantacoes florestais de *Eucalyptus grandis*. *Scientia Forestalis*, 2000, no. 58, p. 59-72.
26. Aparecida, M. y Castro, J. de. Extração e fitodisponibilidade de metais em resposta à adição de lodo de esgoto no solo. *Scientia Agrícola*, 2002, vol. 59, no.3, p.555-563.
27. Boeira, R. C.; Vieira, M. A. y Dynia, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 2002, vol. 37, no. 11, p. 1639-1647.
28. Leal, R. M. y Molerio, L. Estudio de vulnerabilidad en un sector del municipio San Antonio de los Baños, La Habana. *Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 2003, no. 4, p. 8.
29. Shoher, A. L.; Stehouwer, R. C. y Macneal, K. E. On-Farm assessment of biosolid effects on soil and crop tissue quality. *J. Environ. Qual.*, 2003, vol. 32, no. 5, p. 1873-1880.
30. Sánchez, J. Materia orgánica del suelo. Humus, origen, composición y dinámica. Alicante:Universidad de Alicante, 1999. 108 p.
31. Malavolta, E.; Vitti, G. C. y De Oliveira, S. A. Avalicao do estado nutricional das plantas: principios y aplicacoes. Piracicaba: Associacao. Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.
32. NOM-004-ECOL-2001. Norma oficial mexicana, protección ambiental; lodos y biosólidos; especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. SEMARNAT. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 18 de febrero de 2002.
33. Miralles, R.; Beltrán, E.; Porcel, M. A.; Delgado, M.; Beringola, M. L.; Valero, J.; Calvo, R. y Walter I. Emergencia de seis cultivos tratados con lodo, fresco y compostado, de estaciones depuradoras. *Rev. Int. Contam. Ambient*. 2002, vol. 18, no. 3, p. 139-146.
34. USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1993. Standards for the use or disposal of sewage sludge. *Fed. Regist.*, vol. 58, 9248-9415.

Recibido: 19 de octubre de 2005

Aceptado: 16 de junio de 2006