

Caracterización fisicoquímica y microbiológica de lodo residual como acondicionador de suelo durante el crecimiento de un cultivo de Cebollín (*Allium fistulosum* L.)

Yaxcelys A. Caldera^{1*}, Edixon C. Gutiérrez², Edith E. Blanco², María M. Torres²
y Edixon E. Gutiérrez²

¹Laboratorio de Investigaciones Ambientales. Núcleo Costa Oriental del Lago. Universidad del Zulia. Cabimas, Venezuela. ²Centro de Investigación del Agua. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

Recibido: 21-09-05 Aceptado: 22-06-07

Resumen

La aplicación como acondicionadores de suelo de los lodos producidos durante el tratamiento de las aguas residuales se presenta como una alternativa para su disposición, ya que los lodos contienen macronutrientes y micronutrientes requeridos por las plantas para su crecimiento y desarrollo. En esta investigación se caracterizó fisicoquímica y microbiológicamente un lodo residual estabilizado, proveniente del Sistema de Lagunas de Estabilización (SLE) de la Universidad del Zulia, durante el crecimiento de un cultivo de Cebollín (*Allium fistulosum* L.). Se aplicaron las dosis de 0, 20, 40 y 60 Mg de lodo ha⁻¹. Se determinaron las variables fenológicas: longitud de la planta, diámetro del pseudotallo y longitud de la raíz. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos para la variable longitud de la planta. Las plantas que recibieron tratamiento de 20, 40 y 60 Mg ha⁻¹ de lodo presentaron mayor altura 27,8; 25,8 y 27,1 cm respectivamente, que las plantas control (0 Mg ha⁻¹) donde la altura fue de 24,9 cm. Los lodos se clasifican como Clase B ya que contienen un número de coliformes fecales (9×10^2 NMP/g) por debajo del establecido en normativas internacionales. Los lodos podrían utilizarse como acondicionadores de suelo en actividades agrícolas.

Palabras clave: Acondicionador de suelo; Cebollín (*Allium fistulosum* L.); lodo residual; variables fenológicas.

Physiochemical and microbiological Characterization of residual sludge as soil conditioner during the growth of Scallion plants (*Allium fistulosum* L.)

Abstract

The application as soil conditioners of sludge produced during wastewaters treatment is an alternatives available to disposal. Sludge contains macronutrients y micronutrients required by the plants for their growth and development. In this investigation stabilized sludge from the Stabilization Ponds System (SPS) of the University of the Zulia was physicochemical and microbiologically characterized, during the growth of the Scallion plants (*Allium fistulosum* L.). Do-

* Autor para la correspondencia. E-mail: yaxcelys@hotmail.com

ses 0, 20, 40 and 60 Mg ha⁻¹ of sludge were evaluated. Phenological variables: plant height, pseudostem diameter and root length were measured. Results analysis showed significant differences ($p < 0.05$) for the plant height variable. The plants treatments with 20, 40 and 60 Mg ha⁻¹ of stabilized residual sludge presented greater heights 27.8; 25.8 and 27.1 cm respectively, when compared with control plants (0 Mg ha⁻¹) for which the plant height was 24.9 cm. Sludge are classified as Class B, with a fecal coliformes count of 9×10^4 MNP/g smaller than established in international regulations. Result indicates use of this sludge as soil conditioner in agriculture activities.

Key words: Phenological variables; residual sludge; scallion (*Allium fistulosum* L.); soil conditioners.

Introducción

El término lodo es generalmente usado para describir los sólidos producidos durante el tratamiento de las aguas residuales, desde procesos físicos, químicos y biológicos (aerobios y anaerobios) (1). Debido a que durante los últimos años el tratamiento de las aguas se está expandiendo rápidamente, en los países desarrollados (por los criterios exigidos para efluentes) y en los países en desarrollo (por la construcción de nuevas plantas de tratamiento), se estima un drástico incremento de la producción global de lodo (2), lo que ha llevado a las industrias a buscar nuevos e innovadores métodos de disposición de los lodos que varían desde la incineración hasta la aplicación sobre terrenos (3).

El empobrecimiento químico de los suelos por la pérdida de materia orgánica, arcilla y nutrientes, así como la pérdida de la capa superficial, como consecuencia de la erosión, están causando la disminución de su productividad y en ocasiones la pérdida total de la capacidad productiva (4). La aplicación de lodos residuales sobre el suelo se presenta como una alternativa para solventar estos problemas, ya que se han encontrado resultados beneficiosos tanto de tipo ambiental como económico, debido a que estos lodos proporcionan material orgánico, mejoran la estructura del suelo y ofrecen un gran potencial para el reciclaje de macronutrientes y micronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas (1, 5).

Sin embargo, en algunos casos hay factores que limitan la aplicación de lodos residuales sobre tierras agrícolas, entre estos se pueden citar: la carga microbiológica de origen humano y animal que presentan (6) y la acumulación de metales en el suelo y en las plantas (7). Por otra parte, el efecto de estos lodos sobre el suelo depende de: la variación del contenido de metales, las condiciones climáticas, las propiedades del suelo y el tipo de cultivo (8).

Algunos investigadores han recomendado la aplicación de lodos con fines agrícolas. Acosta (9) aplicó lodo residual, proveniente de una planta de tratamiento de aguas servidas, sobre el suelo durante el crecimiento de plantas de Maíz (*Zea mays* L.) a dosis de 0, 20, 40, 60, 80, 120 y 200 Mg ha⁻¹. Encontró los mejores resultados para dosis 40 y 60 Mg ha⁻¹. Por otra parte, García y col. (5) estudiaron el efecto que produce la aplicación de diferentes dosis de lodo (0, 20, 40, 60 y 80 Mg ha⁻¹), proveniente de una planta de tratamiento de una industria láctea, sobre el suelo y sobre el crecimiento de la planta ornamental de crecimiento rápido *Ixora* enana (*Ixora* sp). Concluyeron que los lodos residuales aplicados a dosis de 20 Mg ha⁻¹ aportaron los nutrientes requeridos para el crecimiento de las plantas.

En esta investigación se caracterizó fisicoquímica y microbiológicamente el lodo residual proveniente de la Laguna Facultativa, de la Serie C, del Sistema de Lagunas de Estabilización de la Universidad del Zu-

lia, aplicado como acondicionador del suelo durante el crecimiento de un cultivo de Cebollín.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó con lodo residual proveniente de la Laguna Facultativa, de la Serie C, del Sistema de Lagunas de Estabilización (SLE) de la Universidad del Zulia. Este Sistema embalsa las aguas residuales del Colector C de la Ciudad de Maracaibo, estado Zulia y está constituido por nueve lagunas, clasificadas en series A, B y C de diferentes diseños y operaciones. Cada serie contiene una laguna facultativa y dos de maduración. La laguna facultativa seleccionada para esta investigación tiene 89,90 m de largo y 31,50 m de ancho. El lodo generado durante el proceso de tratamiento del agua residual fue retirado de la laguna facultativa después de 6 años de operación y fue depositado en los lechos de secado para su estabilización.

Los lechos de secado se encuentran adyacentes al SLE y están constituidos por una capa de grava de tamaño regular de aproximadamente 30 cm, bajo una capa de arena limpia de 15 a 22 cm de profundidad, el área total es de 4 metros cuadrados.

Muestreo

La toma de muestra del lodo se realizó en los lechos de secado del SLE. Después de estabilizado el lodo se obtuvo una muestra compuesta, siguiendo la técnica de cuarteo, a fin de generar un valor analítico promedio representativo para el volumen de lodo considerado. La muestra consistió en una mezcla de sub muestras de igual volumen, tomadas a la misma profundidad y en diferentes puntos. Cada una de las muestras de lodo se colocó en recipientes plásticos de 0,5 kg y se refrigeraron para su traslado al laboratorio. Posteriormente las muestras de lodo fueron caracterizadas.

El suelo utilizado en esta investigación fue capa vegetal proveniente de la Planicie de Maracaibo, estado Zulia. Se realizó un muestreo al azar a diferentes profundidades y se colocaron las sub muestras en baldes. Posteriormente las sub muestras se mezclaron uniformemente obteniendo una mezcla compuesta. Se tomó 1 kg de la muestra (suelo) y se transfirió a bolsas plásticas para su traslado al laboratorio, donde fueron conservadas hasta el momento del análisis.

Las muestras de Cebollín se recolectaron en la zona de El Bajo, Municipio San Francisco del estado Zulia. Su propagación se realizó en forma vegetativa.

Estudio de crecimiento

El estudio de crecimiento de las plantas de Cebollín se llevó a cabo en un umbráculo, ubicado en las adyacencias del Centro de Investigación del Agua (CIA). Las dimensiones de éste fueron: 8 m de largo por 6 m de ancho, fue cubierto de plástico transparente para proteger las plantas de los animales rastroeros y plagas.

Después de estabilizado el lodo, se procedió a la incubación. Se llenaron bolsas de poliestireno de 3 kg con suelo a una altura de 20 cm. Se aplicaron las dosis de lodo de 0, 20, 40 y 60 Mg ha⁻¹, recomendadas por algunos investigadores como rango de dosis adecuado para el crecimiento de plantas en suelos acondicionados con lodo residual (5, 9). El lodo fue mezclado en forma superficial debido a que la raíz del cultivo cebollín ocupa los primeros 12 cm. El período de incubación fue 30 días.

Luego de la incubación se procedió a la siembra. Se prepararon todas las plantas que formaron las cepas o macollas. Se seleccionaron para la propagación las más grandes, vigorosas y sanas. Una vez desclavado el material (cortado el pedazo de tallo) fue desinfectado, usando una solución compuesta de funguicida, insecticida y acaricida, durante cinco minutos y finalmente fue secado.

Se colocaron tres plantas por bolsa, para cada tratamiento (20, 40, 60 Mg ha⁻¹), enterrándolas hasta una profundidad de 4 a 5 cm. Simultáneamente se colocaron plantas en suelo preparado de manera tradicional, sin lodo, las cuales funcionaron como control o testigo (0 Mg ha⁻¹). Las plantas fueron regadas diariamente a capacidad de campo. El estudio se realizó por triplicado.

Análisis de las muestras

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de lodo y suelo se realizaron en el laboratorio del CIA, siguiendo la metodología descrita en los Métodos para el análisis de suelos (10) (Tabla 1).

Las plantas fueron medidas en el momento de la siembra y posteriormente cada siete días se midió la longitud, el diámetro del pseudotallo y el largo de la raíz.

Se determinaron los parámetros microbiológicos coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF), estreptococos (EF) y enterococos (E) mediante las técnicas descritas en los métodos estándares (11) (Tabla 1).

El diseño experimental fue totalmente aleatorizado con ocho repeticiones. Presentando un arreglo factorial 5 x 8 de dos (2) factores a dos (2) niveles (factor lodo a 5 niveles y factor evaluación a 8 niveles). El aná-

lisis estadístico de los datos se realizó empleando el paquete SAS (12). Se analizó la varianza (ANOVA) y las medias fueron comparadas con la prueba de Tukey.

Resultados y Discusión

El suelo utilizado en esta investigación presentó un valor de pH de 6,7; el cual se encuentra en un rango de 5,5 a 7,5 considerado adecuado para suelos donde se aplicarán lodos, ya que en este rango se reduce al mínimo lixiviado de metales y se favorece al máximo las condiciones de crecimiento de cosecha (13). La conductividad eléctrica (CE) es baja (0,77 dS m⁻¹) por lo que podría afectar el rendimiento de cultivos muy sensibles como en el caso del Cebollín, ya que este valor indica poca solubilidad de sales y/o sustancias orgánicas. En cuanto al contenido de materia orgánica (MO), fue bajo (0,2%) por ser un suelo Franco Arenoso (arena 70%, limo 23% y arcilla 7%). Otros estudios han reportado valores relativamente bajos (0,76%) para MO en suelos arenosos (14).

El lodo residual estabilizado proveniente de la Laguna Facultativa, de la Serie C, del SLE de la Universidad del Zulia, presentó un valor del pH de 5,8, considerado relativamente bajo. Acosta y col. (15) señalaron que

Tabla 1

Métodos y técnicas empleados para el análisis fisicoquímico y microbiológicos de las muestras.

Parámetro	Método
pH	Potenciométrico ¹
Conductividad eléctrica (CE)	Conductimétrico ¹
Nitrógeno total	Destilación. Kjeldahl ¹
Materia orgánica	Combustión y humedad (Walkey & Black). Volumetría ¹
Fósforo total	Espectrofotometría UV-Vis ¹
Metales	Espectrometría de absorción atómica ¹
Coliformes totales y fecales	Técnica de fermentación de tubos múltiples ²

¹Método de Análisis de Suelo (10).

²Métodos Estándar para Evaluación de Aguas y Aguas Residuales (11).

varios investigadores han encontrado valores de pH en lodos residuales cercanos a la neutralidad. Los mismos autores reportaron un valor de pH menor (5,3) para un residuo orgánico de sábila. Tsakou y col. (14) encontraron el mismo valor de pH señalado en este estudio para un lodo residual de una planta de tratamiento de aguas municipales. Esto indica que el valor de pH varía dependiendo de las características y estabilidad del lodo.

El valor de CE encontrado ($2,4 \text{ dS m}^{-1}$) estuvo relativamente cercano al reportado comúnmente para lodos. La CE generalmente es superior a 3 dS m^{-1} en los lodos residuales y varía para cada lodo residual. Acosta y col. (15) comparando tres residuos orgánicos (lodo residual, residuo de sábila y estiércol) encontraron valores de CE de 1,93; 2,36 y $7,66 \text{ dS m}^{-1}$ respectivamente, atribuyendo los bajos valores del lodo residual al lavado y lixiviado de las sales solubles por la exposición al aire en los lechos de secado.

El porcentaje de MO para este lodo residual fue bajo (27,6 %) según lo establecido en la Normativa Española (15), quienes clasifican el compost como bajo en MO cuando los valores se encuentran entre 35 y 50%.

Por otra parte, el valor de nitrógeno total fue de 2,19%, ubicándose en el rango medio (entre 1,5% - 3%), mientras que el fósforo total presentó un valor de 6,35% considerado alto, ya que es superior a 2% (15). Blanco y col. (16) evaluando lodos sobrenadantes estabilizados del mismo sistema de tratamiento (SLE), reportaron resultados similares a los encontrados en este estudio en cuanto a porcentaje de fósforo y nitrógeno. Encontraron alto contenido de fósforo (5,46%) asociado al aporte de jabones y detergentes, contenido de nitrógeno de 1,90% y valores de MO de 46,0%. Indicaron que estos lodos sobrenadantes pueden ser aplicados como abono orgánico a suelos.

Las características fisicoquímicas de este lodo podrían compararse con las reportadas por otros investigadores para varios residuos orgánicos aplicados sobre suelos con fines agronómicos (Tabla 2). Se observa la diferencia en los valores para cada residuo indicando que los valores de los parámetros fisicoquímicos (pH, CE, MO, N y P) varían en función de la estabilidad de los lodos y de su procedencia. Los valores establecidos por la Normativa Española para compost, pueden servir de referencia para comparar los resultados de la caracterización fisicoquímica de

Tabla 2
Caracterización fisicoquímica de varios lodos residuales estabilizados.

Parámetro	L1	L2	L3	L4	L5	Normativa Española*
pH	5,8	6,5	5,64	5,1	6,7	-
CE (dS m^{-1})	2,6	1,93	-	-	2,32	0 - 2
Materia orgánica (%)	27,6	43,7	58,9	53,1	45,96	35 - 80
Nitrógeno (%)	2,19	2,04	3,87	-	1,90	0,5 - 3
Fósforo total (%)	6,35	0,13	3,27	-	5,46	0,5 - 2

L1: Lodo estabilizado de las lagunas de estabilización de LUZ (este estudio).

L2: Lodo estabilizado de la planta de tratamiento de aguas servidas del Centro de Refinación de Paraguaná (PDVSA). Acosta y col. (17).

L3: Lodo estabilizado de la planta de tratamiento de las instalaciones del Complejo Lácteo San José. García y col. (5).

L4: Lodo estabilizado de planta de tratamiento de aguas municipales. Tsakou y col. (14)

L5: Lodo sobrenadante estabilizado de las lagunas de estabilización de LUZ. Blanco y col. (16)

* Intervalos de valores (bajo y alto) establecidos por la Normativa Española para enmiendas orgánicas. Acosta y col. (15)

los lodos presentados en la Tabla 2, pues ninguno de estos fue compostado, sólo estabilizados.

En la Tabla 3 se presenta el contenido de metales Cu, Zn, Pb y Cr presentes en el lodo estabilizado, se observa que los valores se encuentran por debajo de las máximas concentraciones permisibles establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) (18), la Norma Oficial Mexicana (19) y la Comunidad Europea (20), para la aplicación de lodos o biosólidos a terrenos agrícolas. Estos resultados indican que según el contenido de los metales evaluados el lodo del SLE podría aplicarse en terrenos agrícolas.

Desde el punto de vista microbiológico, según las normativas internacionales (18,19) que regulan el contenido de patógenos en biosólidos aplicados sobre terrenos, estos lodos se clasifican como Clase B ya que contienen un número de bacterias coliformes fecales (9×10^2 NMP/g) menor a 2×10^6 NMP/g. Estos resultados indican que según este parámetro, desde el punto de vista sanitario los lodos residuales del SLE podrían emplearse como acondicionadores de suelo. Sin embargo, es necesario realizar otros análisis microbiológicos (*Salmonella*, enterovirus y huevos de helmitos) exigidos por las normativas internacionales para re-

comendar su aplicación. Resultados similares obtuvieron Senior y col. (6) para un lodo sobrenadante del mismo SLE. Por otra parte, Jiménez y col. (21) trabajando con lodos de plantas de tratamiento de México encontraron valores de coliformes en el rango de $1,1 \times 10^6$ NMP/g a $2,4 \times 10^6$ NPM/g indicando estos niveles una contribución importante de materia fecal, recomendando su tratamiento para ser clasificados como Clase B según la normativa de la EPA.

Los valores de caracterización fisicoquímica y microbiológica para los tratamientos, presentados en la Tabla 4, muestran el aporte de materia orgánica al suelo por parte del lodo, evidenciándose el incremento de los valores con la dosis de lodo para los diferentes tratamientos.

En cuanto a los valores de pH se observa una disminución con el incremento de la dosis de lodo y una disminución con respecto al valor inicial del suelo. Esto podría deberse al aporte de acidez del lodo. Estos resultados son diferentes a los reportados por Jiménez y col. (4) quienes observaron un incremento en el valor del pH a medida que incrementaron la aplicación de abono orgánico; asociando este incremento a bases orgánicas cambiables como calcio y magnesio y al efecto tamponador de la materia orgánica.

Tabla 3

Concentración de metales en el lodo y concentraciones máximas permisibles de metales (mg/kg peso seco) en lodos considerados aceptables sobre tierras agrícolas según normativas internacionales.

Metal (mg/kg)	Lodo ¹	EC ²	USA ³	México ⁴
Cu	189,1	1000-1750	4300	4300
Pb	643,0	750-1200	840	840
Zn	121,9	2500-4000	7500	7500
Cr	7,3	–	3000	3000

¹Lodos del Sistema de Lagunas de Estabilización de LUZ. (Este estudio).

²Comunidad Europea, Normativa 86/278 (18).

³Agencia de Protección Ambiental, valores máximos (19).

⁴Proyecto de Norma Oficial Mexicano, para lodo tipo bueno (20).

Tabla 4
Caracterización fisicoquímica y microbiológica de las mezclas lodo-suelo para los diferentes tratamientos.

Parámetro	Tratamiento (Mg ha ⁻¹)		
	20	40	60
pH	5,7	5,5	5,3
CE (dS m ⁻¹)	1,14	1,54	1,16
Materia orgánica (%)	2,28	2,90	4,89
Nitrógeno (%)	3,30	2,35	2,52
Humedad (%)	4,80	4,76	4,86
Fósforo extraíble (ppm)	96,63	106,43	135,67
Coliformes totales (NMP/g)	34 x 10 ³	80 x 10 ³	140 x 10 ³
Coliformes fecales (NMP/g)	7 x 10 ³	22 x 10 ³	9 x 10 ³
Manganeso (ppm)	5,52	6,51	4,79
Cobre (ppm)	0,63	0,68	0,79

Tabla 5
Prueba de medias para las variables fenológicas estudiadas durante el crecimiento del cultivo Cebollín.

Tratamiento (Mg ha ⁻¹)	Longitud de la planta (cm)*	Diámetro del pseudotallo (cm)*	Longitud de la raíz (cm)*
0	24,9 ^c	0,72 ^a	10,7 ^a
20	27,8 ^a	0,73 ^a	10,6 ^a
40	25,8 ^{bc}	0,72 ^a	11,9 ^a
60	27,1 ^{ba}	0,73 ^a	10,7 ^a

*Valores de medias con letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

En la Tabla 5 se muestra las medias de las variables fenológicas evaluadas durante el crecimiento del Cebollín (8 semanas) determinadas en este estudio. Se evidencia en esta tabla que sólo hubo diferencias significativas en cuanto a la longitud de la planta.

Las plantas que recibieron tratamiento de 20, 40 y 60 Mg ha⁻¹ de lodo residual estabilizado, presentaron mayor altura 27,8; 25,8 y 27,1 cm respectivamente, que las plantas control (0 Mg ha⁻¹) donde la altura promedio fue de 24,9 cm. El mayor valor de

altura fue para el tratamiento de 20 Mg ha⁻¹ de lodo. El incremento fue de 11,6% y 8,8 % en las plantas tratadas con 20 y 60 Mg ha⁻¹ de lodo, respectivamente, con respecto al tratamiento 0 Mg ha⁻¹. Los tratamientos de 20 y 60 Mg ha⁻¹ de lodo muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto al tratamiento control. Adicionalmente el tratamiento de 20 Mg ha⁻¹ de lodo mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto al tratamiento de 40 Mg ha⁻¹.

La aplicación de este lodo residual estabilizado sobre el suelo durante el crecimiento del cultivo Cebollín produjo resultados satisfactorios en cuanto a la longitud de la planta. El incremento observado sobre el crecimiento del Cebollín podría estar relacionado con los aportes de minerales como N y P presentes en el lodo residual, ya que se ha reportado que estos elementos favorecen el crecimiento vegetativo (22). Sin embargo, la aplicación de las dosis de lodo debe ser considerada ya que un exceso de nutrientes y metales podrían causar efectos perjudiciales a las plantas (18). Estos resultados indican que podría utilizarse el lodo del SLE como acondicionador de suelo a una dosis de 20 Mg ha⁻¹, representando la aplicación una disposición ambientalmente adecuada para este residuo.

Conclusiones

La aplicación del lodo residual estabilizado sobre el suelo durante el crecimiento del cultivo Cebollín produjo resultados satisfactorios en cuanto a la longitud de la planta, obteniéndose los mejores resultados para la dosis de 20 Mg ha⁻¹.

Las concentraciones de metales Cu, Zn, Pb y Cr en el lodo son menores a las concentraciones máximas reportadas en las normativas internacionales para aplicación de lodos sobre terrenos agrícolas.

Desde el punto de vista sanitario estos lodos se clasifican como Clase B ya que contienen un número de bacterias coliformes Fecales menor al límite establecido en normativas internacionales.

Agradecimiento

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES-LUZ) por el financiamiento otorgado para el desarrollo de esta investigación.

Referencias Bibliográficas

1. WANG J., STABNINOVA O., TAY S., IVANOU V., TAY J. *Wat Sci Tech* 49(10): 147-154, 2004.
2. ØDEGAARD H. *Wat Sci Tech* 49(10): 31-40, 2004.
3. BROOKS J., TANNER B., JOSEPHSON K., GERBA C., PEPPER I. *Wat Sci Tech* 50(1): 8-13, 2004.
4. JIMÉNEZ L., LARREAL M., NOGUERA N. *Rev Fac Agron (LUZ)* 21(4): 311-321, 2004.
5. GARCÍA Y., FERRER O., MARÍN M., GADO J. *Ciencia* 7(1): 46-56, 1999.
6. SENIOR A., BRICEÑO B., ARAUJO I., CASANOVA A., EL ZOUAHRE M., TOYO L., ACOSTA Y. *Multiciencias* 1(1): 35-44, 2001.
7. BIDWELL A., DOWDY R. *J Environ Qual* 16(4): 438-442, 1987.
8. KEEFER R., SINGH R., HORWATH D. *J Environ Qual* 15(2): 146-152, 1986.
9. ACOSTA Y. **Aplicación de lodos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (TAS) de Maraven-Cardón para el mejoramiento del suelo.** (Tesis de grado). Universidad del Zulia, Maracaibo (Venezuela), pp. 94, 1995.
10. Methods of Soil Analysis. 5th Edition. American Society of Agronomy and American Society for Testing and Materials, USA. Vol. I-II, 1979.
11. APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater** 17th edition. American Public Health Association, Washington D.C., USA, 1999.
12. Statistical Analysis System (SAS). SAS/STAT User's guide Version 6. 4th edition. SAS Institute Inc. Cary, NC, 1990.
13. Environmental Protection Agency (EPA). **Folleto informativo de tecnología. Aplicación de biosólidos al terreno** EPA 832-F-00-064, 2000.
14. TSAKOU A., ROULIANA M., CHRISTODOULAKIS N. *Bull Environ Contam Toxicol* 66: 735-742, 2001.

15. ACOSTA Y., PAOLINI J., FLORES S., BENZO Z. EL ZOUAHRE M., TOYO L., SENIORA. **Multiciencias** 3(1): 51-60, 2003.
16. BLANCO E., CÁRDENAS C., GRANADILLO V., ISEA D., SEPÚLVEDA J., DELGADO J. **Ciencia** 13(1): 85-93, 2005.
17. ACOSTA Y., PAOLINI J., BENITEZ E. **Rev Fac Agron (LUZ)** 21(4): 385-397, 2004.
18. Environmental Protection Agency (EPA). Land Application of Sewage Sludge. **Standards for the use or disposal of sewage sludge** EPA/b-93-002b. 40 CFR Part 503. Washington USA. 59, 1994.
19. EEC. **Council Directive 126/1986 on the protection of the soil when sewage sludge is used in agriculture** 86/278/EEC. Off J. of the Eur Comm. No L186/ 6-12. 1986.
20. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-ECOL-2001. Protección Ambiental. **Lodos y Biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final** México. 2001.
21. JIMÉNEZ B., MÉNDEZ J., SALGADO G., SHEINBAUM C. **Wat Sci Tech** 49(10): 171-178, 2004.
22. RODRÍGUEZ-PETTIT A., CLAVERO T., RAZZ R., CÁRDENAS C. **Rev Fac Agron (LUZ)** 22(2): 121-129, 2005.