

## FERTILIZACIÓN DOSIFICADA CON BIOSÓLIDOS ACONDICIONADOS

Margarita Beltrán Villavicencio, Mabel Vaca Mier, Alethia Vázquez Morillas, Raymundo López Callejas, Raúl Hachec

Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco  
Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Azcapotzalco, 02200, México, D.F.  
Teléfonos: 53 18 90 75/53 18 9579/Fax: 53 18 90 80  
[mbv@correo.azc.uam.mx](mailto:mbv@correo.azc.uam.mx), [mvm@correo.azc.uam.mx](mailto:mvm@correo.azc.uam.mx)

### RESUMEN

En este trabajo se presenta un estudio sobre la aplicación de biosólidos estabilizados acondicionados con zeolita (clinoptilolita) y roca fosfórica para su aplicación en la agricultura a través del cultivo de lechuga de hoja rizada (*Lactuca. Sativa* var. *Intybacea* Hort). Se utilizaron tres sustratos para realizar el experimento, el primero consistió de un suelo deficiente en nutrientes (sustrato A), el segundo fue una mezcla de este mismo suelo deficiente con biosólidos acondicionados (sustrato B) y para el tercero se utilizó un suelo altamente fértil (sustrato C).

Los biosólidos utilizados se obtuvieron del tratamiento secundario de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Toluca Norte, ya estabilizados y prensados. El suelo y los biosólidos fueron caracterizados antes de la experimentación y al final de ella. La tasa de fertilización con los biosólidos acondicionados que se aplicó fue con base en los requerimientos de N del cultivo, la tasa de aplicación de biosólidos se calcula tomando en cuenta el contenido de los nutrientes que ya se encuentran en el suelo y el contenido de nutrientes que tienen los biosólidos a aplicar.

La condición experimental que reporta mejores resultados, evaluada a través de la generación de biomasa de la especie vegetal al final de la experimentación, es la del suelo fértil (140g/planta, base húmeda) y muy parecido al suelo fertilizado con biosólidos acondicionados con clinoptilolita y roca fosfórica (120 g/planta, base húmeda) y finalmente el suelo testigo, pobre en nutrientes, (80 g/planta).

### ABSTRACT

This research evaluates the advantages of applying stabilized biosolids -mixed with zeolites (clinoptilolite) and phosphoric rock- in soil. Biosolids, stabilized and pressed, were obtained from the Waste Water Treatment Plant Toluca Norte. The assessment was performed by growing lettuce (*Lactuca. Sativa* var. *Intybacea* Hort) in soils with and without biosolids.

Three different types of experimental conditions were tested: A) plain soil with low nutrients content, B) plain soil with low nutrients content improved with biosolids and C) rich, high nutrients content soil. Main properties of soils and biosolids were analyzed prior and after the experiments. In soils amended with biosolids, amount of biosolids was calculated based on N

content and requirements. After the experiment, results were assessed in terms of biomass of lettuce produced for each experimental condition.

The best biomass results were obtained for rich soil (140g/plant), followed closely by soil amended with biosolids (120 g/plant). Poor soil, used as a control, presented a yield of 80 g biomass/plant. It is clear that addition of biosolids improve the quality of the soil, and subsequently, its capacity to support plant growth.

**PALABRAS CLAVE:** biosólidos, fertilización, zeolitas.

## INTRODUCCIÓN

En el país, hasta el 2001 existían 1,132 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, de las cuales el 47 % son lagunas de estabilización (CNA, 2001), susceptibles de acumular sedimentos. El resto de las plantas emplean diferentes procesos, tales como lodos activados, filtros rociadores, tanques sépticos, primario avanzado, biológicos, anaerobios, zanjas de oxidación y tanques Imhoff (CNA, 2001). Una cantidad considerable de los lodos generados por estas plantas es descargada al drenaje, o es desechada sin algún tipo de tratamiento en presas, terrenos o en las mismas fuentes de suministro, y en el mejor de los casos ha sido dispuesta en lagunas y rellenos sanitarios (Castrejón *et al.*, 2002; Barrios *et al.*, 2001). Dado que el principal problema que presentan los lodos es su alto contenido microbiológico (Castrejón *et al.*, 2002), el desecharlos sin algún control trae consigo una doble problemática: por un lado el vertido de los lodos en sitios inadecuados puede generar severos problemas de contaminación, y por otro, se están desperdiciando las propiedades benéficas de los lodos, que pudieran ser aprovechadas en las actividades agrícolas.

Existe la norma NOM-004-ECOL, que establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes, en los lodos y biosólidos, para su aprovechamiento y disposición final. El objetivo de esta norma es posibilitar el aprovechamiento de los lodos y proteger al medio ambiente y la salud humana.

**Zeolitas.** Las zeolitas son aluminosilicatos hidratados de alta porosidad, empleadas con frecuencia como catalizadores. Su descubrimiento en México es relativamente reciente. La similitud geológica volcánica de regiones piroclásticas del norte de México y el sur de Arizona y California, sugería que deberían existir depósitos de zeolita, sin embargo fue hasta 1972 que Mumpton examinó una serie de sedimentos piroclásticos en el río Atoyac, situado a 15 km al noroeste de Oaxaca. Recolectó algunas muestras de un yacimiento verde que se encuentra a 100 m de la autopista 190, 3 km al norte del pueblo de ETLA. Mediante subsecuentes exámenes por difracción de rayos X se determinó que esas muestras consistían de las zeolitas mordenita y clinoptilolita (Mumpton, 1973). Estos materiales se extraen de canteras de ésta y otras localidades en el área, y son usados en la región de Oaxaca en edificios, paredes, cimientos y estructuras desde el tiempo de los mayas, y están presentes en los famosos edificios arqueológicos de Mitla y Monte Albán, e incluso en el convento de Santo Domingo (Mumpton, 1973). En México, además de los yacimientos reportados por Mumpton, Liberto de Pablo en su reporte "The clay deposits of Mexico", presentado en la Conferencia Internacional de Arcillas en 1978 (en Bosch y Schifter, 1997), informó sobre el

yacimiento de Ixtlán de los Hervores. En 1989 se reportaron dos nuevos yacimientos, esta vez en el estado de Sonora, uno rico en clinoptilolita en el municipio de Rayón y el otro conteniendo erionita en el municipio de Agua Prieta (Bosch y Schifter, 1997).

La zeolita tipo clinoptilolita tiene afinidad por el amonio en sus sitios de intercambio y un entramado rígido tridimensional con túneles internos de  $10^{-9}$  m. Esos túneles internos son pequeños, tanto que pueden impedir el paso de los microorganismos (de tamaño  $10^{-6}$  m); por consiguiente, la clinoptilolita tiene el potencial para proteger físicamente al  $\text{NH}_4^+$  de la nitrificación bacteriana y puede reducir las pérdidas por volatilización (Ferguson y Pepper, 1987).

Las propiedades físicas y químicas de la clinoptilolita, permite que esta zeolita sea utilizada en agronomía y horticultura, en procesos de fertilización dosificada, la zeoponía y el acondicionamiento y restauración de suelos (Allen *et al.*, 1993; Allen y Ming, 1995; Allen *et al.*, 1995a;). La fertilización dosificada es una técnica que utiliza zeolitas como mejoradores de suelos, sean éstos naturales o sintéticos, mediante las reacciones de intercambio iónico y de disolución de minerales.

El N juega un papel muy importante en los procesos metabólicos de las plantas. El uso eficiente del nitrógeno por la planta se disminuye por la transformación biológica de  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ , aunque ambas son formas disponibles para las plantas, el  $\text{NO}_3^-$  es más móvil que el  $\text{NH}_4^+$ . Esto hace al  $\text{NO}_3^-$  más susceptible de perderse por lixiviación. También bajo condiciones anaeróbicas, el  $\text{NO}_3^-$  puede ser desnitrificado biológicamente, y convertido en gases, lo que resulta en una pérdida adicional de N del suelo. Al evaluar la retención del  $\text{NH}_4^+$  en un suelo arenoso mejorado con clinoptilolita, a tasas de 0, 5 y 10% de clinoptilolita por volumen de suelo, se encontró que la pérdida del  $\text{NH}_4^+$  disminuía cuando se incrementaba la cantidad de clinoptilolita. Además, el efecto de la clinoptilolita en la retención del  $\text{NH}_4^+$  fue más acentuado cuando la cantidad inicial de  $\text{NH}_4^+$  aplicado aumentó. La clinoptilolita reduce la pérdida de  $\text{NH}_4^+$  de la mezcla del suelo y permite un incremento en el uso eficiente del N por la planta (Ferguson y Pepper, 1987).

En este trabajo se presenta un estudio sobre la aplicación de biosólidos estabilizados, acondicionados con zeolita (clinoptilolita) y roca fosfórica, para su aplicación en la agricultura a través del cultivo de lechuga de hoja rizada (*Lactuca. Sativa* var. *Intybacea* Hort). Se utilizaron tres sustratos para realizar el experimento, el primero consistió de un suelo deficiente en nutrientes, el segundo fue una mezcla de este mismo suelo deficiente con biosólidos acondicionados y para el tercero se utilizó un suelo altamente fértil de invernadero.

## METODOLOGÍA

**Preparación y caracterización de suelo y biosólidos.** El suelo se obtuvo del jardín del Edificio "O" de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco a profundidad de 1 m y los biosólidos provienen del tratamiento secundario de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Toluca Norte, los cuales se encontraban estabilizados con cal y prensados ( $\text{pH} = 7.8 \pm 0.2$ ) y no reportaban huevos de helminto.

La caracterización del suelo y los biosólidos se llevó a cabo realizando las siguientes determinaciones, cada una de ellas por triplicado:

- pH - método EPA 9045C (EPA, 1995).
- espacio poroso
- textura – prueba al tacto.
- densidad - método del picnómetro (Reyes, 1996).
- materia orgánica - método Walkley-Black (Jackson, 1976).
- capacidad de intercambio catiónico (CIC)
- humedad y sólidos totales (lodos) (EPA, 2002).
- concentración de metales pesados - digestión ácida - método EPA 3050 (EPA, 1986, EPA,1986).
- determinación de nutrientes:
  - nitrógeno (N) - método Kjeldahl modificado (para lodos, EPA, 2002).
  - fósforo (P) - método de Bray-I (para lodos, EPA, 2002).
  - potasio (K) - espectrofotometría de absorción atómica - método EPA 7610.

Se evaluó el efecto de la adición de biosólidos a un suelo con bajo contenido de nutrientes, mediante el crecimiento de una especie vegetal en el mismo. La experimentación se llevó a cabo en el invernadero del Departamento de Energía (UAM-A), se registraron temperaturas y humedad relativa. La selección de la especie vegetal, la lechuga de hoja rizada (*Lactuca Sativa* var. *Intybacea* Hort), se basó en que se produce y consume durante todo el año ya que es de fácil cultivo en varios estados. Se sembraron las semillas en cajas que contenían 20 kg de suelo y la tasa de aplicación de los biosólidos que se agregó fue de acuerdo a los requerimientos de nitrógeno, fósforo y potasio por parte del cultivo y tomando en cuenta el contenido de nutrientes que ya se encontraban en el suelo y el presente en los biosólidos.

Se utilizaron tres sustratos para realizar el experimento, el primero consistió de un suelo deficiente en nutrientes (sustrato A), el segundo fue una mezcla de este mismo suelo deficiente con biosólidos acondicionados (sustrato B), y para el tercero se utilizó un suelo altamente fértil de invernadero (sustrato C), todos realizados con cuatro réplicas para el tiempo terminal. Para los muestreos intermedios (cada 20 días) se establecieron los experimentos por duplicado para realizar la cuantificación de biomasa vegetal en pruebas destructivas (3 condiciones experimentales x duplicado x 5 muestreos).

A un tiempo de 90 días cuando se visualizó el desarrollo óptimo se retiró la especie vegetal de los sustratos y se caracterizó con los siguientes parámetros:

- a) Cuantificación de biomasa vegetal en base húmeda.
- b) Análisis de metales pesados en tejido vegetal para garantizar que no se asimilaran durante el proceso.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización del suelo se presenta en la tabla 1, se determinaron las concentraciones de metales de fondo en el suelo de prueba y ninguno excede a los intervalos de referencia

(Kabata-Pendias y Pendias, 1992). También se determinaron en los biosólidos y nunca excedieron los límites máximos permisibles de la NOM-004.

Tabla 1 Caracterización del suelo.

Parámetro	Suelo deficiente (A)	Suelo fértil (C)
pH (unidades)	8.2± 0.2	6.5± 0.3
Densidad real (DP) (g/cm <sup>3</sup> )	2.055 ± 0.007	1.81 ± 0.09
Densidad aparente (DA) (g/cm <sup>3</sup> )	0.81 ± 0.01	0.97 ± 0.05
Espacio poroso (%)	60.78 ± 0.52	53.60 ± 0.12
Materia orgánica (%)	3.63 ± 0.43	3.63 ± 0.43
Capacidad de intercambio catiónico (CIC) (meq/100g)	5.66 ± 0.16	5.66 ± 0.16
Composición textural	87.5% limoso- 12.5% arcilloso	87.5% limoso- 12.5% arcilloso
Nitrógeno (ppm)	693.5 ± 6.5	9100 ± 33.5
Nitrógeno (%)	0.0693± 6.5 x 10 <sup>-4</sup>	0.91± 3.35 x 10 <sup>-3</sup>
Fósforo(ppm)	89.5 ± 2.9	75 ± 3.1
Potasio (ppm)	19.01 ± 0.024	334 ± 25.3

Para el suelo deficiente de nutrientes (sustrato A), la capacidad de intercambio catiónico está considerada dentro de un intervalo bajo (Reyes, 1996), pero ésta se verá favorecida al mezclarse con los biosólidos y en cuanto a los nutrientes, en nitrógeno está en el intervalo de clase pobre, en fósforo es alto y el potasio se presenta con un valor muy bajo (Reyes, 1996). En el caso del suelo fértil, todos los nutrientes se presentan como altos.

Como se puede apreciar en la tabla 2, los biosólidos presentan un pH alcalino debido a que se obtuvieron estabilizados de la planta de tratamiento de aguas residuales. Existe un alto contenido de materia orgánica (Reyes, 1996) y un valor elevado para la capacidad de intercambio catiónico (Reyes, 1996), lo que es favorable al realizar la mezcla con el suelo. Los biosólidos presentan alta humedad y la contenido de nutrientes elevado. No se registró presencia de huevos de helmintos.

Tabla 2 Resultados de la caracterización de biosólidos.

Parámetro	Valor obtenido
pH (unidades)	7.8 ± 0.2
Materia orgánica (%)	55.2 ± 3.1
Capacidad de intercambio catiónico (CIC) (meq/100g)	33.11 ± 0.615
Nitrógeno (ppm)	5600 ± 400
Nitrógeno (%)	0.56 ± 0.04
Fósforo (ppm)	553.5± 23.5
Potasio (ppm)	1395 ± 15
Huevos de helminto	No detectados

### Tasa de aplicación de biosólidos

Se realizó un balance de nutrientes, tomando en cuenta la relación de los requerimientos de nutrientes para el cultivo (*Lactuca. Sativa* var. *Intybacea* Hort) que es N:P:K de 2:1:5; para obtener un rendimiento de 45 ton/ha se necesitan 100 kg/ha de N, 50 kg/ha de P como  $P_2O_5$ , 250 kg/ha de K como  $K_2O$  (Moroto, 1992).

Para obtener una productividad de 2 plantas/caja, se requieren, 4524 mg de N/caja (20 kg), 2262 mg de P/caja y 11310 mg de K/caja, que garanticen contenidos altos de nutrientes. Estas cantidades son aportadas por los biosólidos acondicionados. Para proporcionar los requerimientos nutritivos deseados, se necesitan 800 g de biosólidos acondicionados con 200 gramos de la mezcla de clinoptilolitas (clinoptilolita saturada con amonio y clinoptilolita saturada con potasio en proporción 3:1 y el producto obtenido se mezcla con la roca fosfórica, en una proporción de 5 partes a 1, esta mezcla aporta 6.17 mg  $NH_4^+$  /g, 46.68 mg P/g y 8.52 mg K/g) (Allen *et al.*, 1995b, Cárdenas, 2002).

### Generación de biomasa del cultivo vegetal

En cuanto al crecimiento vegetal, las plantas que se desarrollaron en el suelo con biosólidos tuvieron una generación de biomasa muy cercana a las que crecieron en el suelo fértil, y tal como se esperaba, la menor masa registrada fue en el suelo deficiente de nutrientes. En la figura 1 se presenta el desarrollo de las plantas a los 30 días de germinación.



Figura 1. Crecimiento de la lechuga a un tiempo de 30 días.

En la tabla 3 se muestra la producción de biomasa vegetal generada al tiempo terminal en las cuatro réplicas con la desviación estándar correspondiente y en la figura 2 durante el proceso de desarrollo de la especie vegetal.

Tabla 3. Producción de biomasa de las lechugas en los diferentes medios de crecimiento

Sustrato	Biomasa generada en 90 días (g), base húmeda $\pm \sigma$
Suelo, bajo en nutrientes (sustrato A)	80 $\pm$ 12.2
Suelo más biosólidos acondicionados (sustrato B)	120 $\pm$ 17.8
Suelo fértil (Sustrato C)	140 $\pm$ 13.6

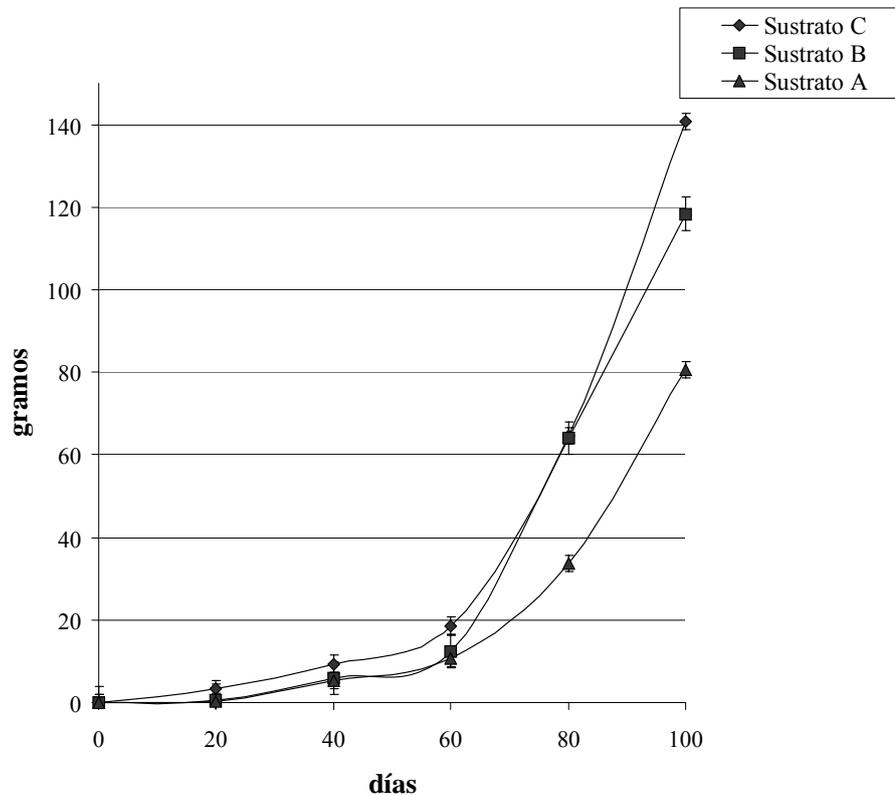


Figura 2. Crecimiento vegetal de la lechuga en los diferentes sustratos

La mayor generación de biomasa corresponde al sustrato B y C, no siendo así para el caso del sustrato A donde la baja generación de biomasa es debida a baja concentración de nutrientes en esta condición experimental.

La humedad en las plantas se encuentra en el intervalo del 85 al 90 %.

Al final de la experimentación se realizó una determinación de metales con el fin de corroborar que no existieran metales pesados en el tejido vegetal, no se presentaron excedidos a los intervalos de referencia en ninguno de los casos (Kabata-Pendias y Pendias, 1992).

## CONCLUSIONES

De las tres pruebas experimentales, las que dieron mejores resultados en cuanto a generación de biomasa fueron la del sustrato fértil y la del sustrato acondicionado (mezcla de suelo con biosólidos, clinoptilolita y roca fosfórica). El suelo testigo, sustrato deficiente de nutrientes, generó la menor cantidad de biomasa (42% menos con respecto a los anteriores).

El crecimiento de las lechugas empleando como fertilizante la mezcla de biosólidos con clinoptilolitas presentó una respuesta equivalente al crecimiento en un suelo fértil, en cuanto a la forma, talla y color de las plantas. La producción de biomasa fue similar en ambas condiciones, lo que sugiere que esta mezcla podría ser empleada como sustituto de fertilizantes comerciales.

Las concentraciones de metales en los biosólidos son un factor limitante en su aplicación en suelos cuando éstas rebasan los límites establecidos, por lo que es muy importante realizar un análisis adecuado para determinar que cantidad de metales están presentes en los biosólidos.

De esta manera y según los resultados es factible el uso de biosólidos acondicionados ya que presentan buenas características como fertilizante, además al hacer la caracterización correspondiente y el consiguiente balance de nutrientes, se puede agregar él o los nutrientes faltantes para obtener mejores resultados, esto se puede llevar a cabo con clinoptilolita según sea el caso, ya que tiene características de liberación de nutrientes que la hacen idónea para esta aplicación, además de ser abundante en México.

## REFERENCIAS

Allen, E. R., L. R. Hossner, D. W. Ming, y D. L. Henning. (1993). *Solubility and cation exchange in phosphate rock and saturated clinoptilolite mixtures*. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 1368 - 1374.

Allen, E. R. y D. W. Ming, (1995). *Recent progress in the use of natural zeolites in agronomy and horticulture*. Natural Zeolites '93, D. W. Ming and F. A. Mumpton, eds., 477-490.

Allen, E. R., D. W. Ming, L. R. Hossner, y D. L. Henning. (1995a). *Modeling transport kinetics in clinoptilolite – phosphate rock systems*. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 248 – 255.

Allen, E. R., D. W. Ming, L. R. Hossner, D. L. Henning, y Ch. Galindo.(1995b). *Growth and nutrient uptake of wheat in clinoptilolite – phosphate rock substrates*. Soil Sci. Soc. Am. J. 87: 1052 – 1059.

Barrios, J. A., A. Rodríguez, A. González, B. Jiménez y C. Maya, (2001). *Quality of sludge generated in wastewater treatment plants in México: meeting the proposed regulation. Specialized conference on sludge management: regulation, treatment, utilization and disposal*, Acapulco México, International Water Association.

Bosch, G. P. e I. Schifter. (1997). *La zeolita. Una piedra que hierve*. La Ciencia para Todos. Ed. Fondo de Cultura Económico, segunda edición, México.

Cárdenas, J., (2002). *Manejo ambiental de biosólidos para uso agrícola*. Proyecto de investigación para obtener el grado de Maestro en Ciencias e ingeniería Ambientales, UAM.

Castrejón, A., J. A. Barrios, B. Jiménez, C. Maya, A. Rodríguez y A. González. (2002). *Evaluación de la calidad de lodos residuales en México*. Memorias, XIII Congreso Nacional 2002 FEMISCA. AIDIS. Guanajuato, Gto. México.

CNA. (2001). Inventario nacional de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Comisión Nacional del Agua, subdirección general de construcción, unidad de agua potable y saneamiento, gerencia de potabilización y tratamiento.

Diario Oficial de la Federación, (2002), NOM-EM-138-ECOL-2002, Que establece los límites máximos permisibles de contaminación en suelos afectados por hidrocarburos, la caracterización del sitio y procedimientos para la restauración. México.

EPA. (1992), *Acid digestion of sediments, Sludges, and Soils*, Método 3050A, Revisión 1, Julio.

EPA. (1986), *Cd, K, Zn, Hg, Pb, Cu, Mg, As, Ni, Cr (Atomic Absorption, Direct Aspiration)*, Metodos: 7130, 7610, 7950, 7471, 7420, 7210, 7461, 7061, 7520, 7190 Respectivamente. Septiembre.

EPA. (1995) *Soil and wastewater pH*. Método 9045C. Revisión 3. Junio.

EPA, (2002). 40 CFR Protection of Environment chapter I. Subchapter 0. *Sewage Sludge*. Part 503—Standards for the use or disposal of sewage sludge. Electronic Code of Federal Regulation. <http://www.epa.gov/>

Ferguson, G. A. e I. L. Pepper. (1987). *Ammonium retention in sand amended with clinoptilolite*. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 231 – 234.

Jackson, M.L., (1976), *Análisis Químico de Suelos*, Ediciones Omega, España.

Kabata-Pendias, A., Pendias, H., (1992) *Trace Elements in soils and plants*, 2<sup>a</sup> ed., CRC Press.

Moroto, J. V. (1992). *Horticultura, herbácea especial*. Ediciones Mundi – Prensa. 3a edición. 200-218.

Mumpton, F. A. (1973). *First reported occurrence of zeolites in sedimentary rocks of Mexico*. American Mineralogist. 58: 287 – 290.

Reyes, J.I., (1996) *Fundamentos teórico-prácticos de temas selectos de la ciencia del suelo*. Parte I, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Libros de texto, Manuales de Prácticas y Antologías, México.