

**CARACTERIZACIÓN, CORRECCIÓN DE PROBLEMAS Y
USO COMO SUSTRATO DE BIOSÓLIDOS GENERADOS
EN “EMBOTELLADORA EL CARMEN”**

JESÚS JOAQUIN MORALES LOPEZ

T E S I S

**Presentada como Requisito Parcial para Obtener el
Grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
PROGRAMA DE GRADUADOS**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Julio de 2006**

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**CARACTERIZACIÓN, CORRECCIÓN DE PROBLEMAS Y USO
COMO SUSTRATO DE BIOSÓLIDOS GENERADOS EN
“EMBOTELLADORA EL CARMEN”**

TESIS POR

JESÚS JOAQUIN MORALES LOPEZ

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada
como requisito parcial, para optar al grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal

Dr. José Hernández Dávila

Asesor

Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Asesor

Dr. Valentín Robledo Torres

Asesor

Dra. Manuela Bolívar Duarte

Dr. Jerónimo Landeros Flores
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Junio Del 2006.

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por iluminarme en el sendero de la vida y darme la fortaleza para alcanzar las metas trazadas.

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”

Mi **ALMA TERRA MATER**, por nuevamente abrirme sus puertas y darme la oportunidad de superarme y actualizarme profesionalmente.

A mi asesor y amigo Dr. José Hernández Dávila

Con mucho respeto y admiración por confiar en mi y motivarme a culminar con éxito el proyecto emprendido. Por brindarme de manera desinteresada su amistad, por sus consejos y por su valiosa colaboración en la realización del presente trabajo.

Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Con admiración y respeto, que con el dinamismo y entusiasmo con que realiza su trabajo, motiva a la superación de las metas trazadas. Por participar en este proyecto, con su valioso apoyo y amistad recibido en el transcurso de mi carrera.

Dr. Valentín Robledo Torres

Por su sincera amistad y por otorgarme el privilegio de ser su alumno. Por su valiosa colaboración para la culminación del presente trabajo, por las facilidades otorgadas en el transcurso de la carrera.

Dra. Manuela Bolívar Duarte

Con mucho cariño y respeto, porque siempre creyó en el proyecto emprendido. Por iniciarme en el mundo de los biosólidos y por brindarme su gran amistad. Por su valiosa colaboración en el presente trabajo.

A la empresa Embotelladora El Carmen S.A. de C.V.

De esta ciudad de Saltillo Coahuila, por las facilidades otorgadas para la realización del presente trabajo.

Muy especialmente mi profundo agradecimiento a la **QFB. Sonia Acosta Vega**, jefa del Departamento de Ecología por la confianza otorgada al proyecto emprendido.

A mi amiga QFB Alma Gloria Rodríguez

Encargada de la planta de tratamiento de la Embotelladora El Carmen S.A de C.V., por su desinteresado apoyo para la realización del presente.

A los técnicos y personal del departamento de Horticultura.

A Manuel, el amigo, Abigail, Laurita, por el apoyo recibido en el transcurso de mi carrera.

A mis compañeros y amigos de la Maestría

A mi veintiúnico compañero de generación JESÚS ANGELES, a los compañeros y amigos Antero, Saret, Alvaro, Hugo, Memo, que siempre convivieron y compartieron anécdotas, que siempre estuvieron disponibles para apoyarme en mi carrera, y a los que no mencione gracias por su amistad sincera.

A mis Paisanos y Amigos

Ing. Martell e Ing. Idalia y Familia, C.P Patricia e LAE Rafael y Familia, Miguel y Familia, Nacho y Paty, por su amistad sincera y por compartir momentos inolvidables

DEDICATORIA

A mi esposa: Liliana

Por ser la impulsora de mis proyectos, por motivarme a realizar mis sueños y alcanzar mis metas, por ese amor y apoyo inmenso que siempre he encontrado en ti. Gracias.

A mis hijos: Itzel Alejandra y Állan Jesús

Porque son mi fuente de inspiración, porque los logros alcanzados son una muestra del cariño que desde siempre contaran de mí. Porque son mi motivo de orgullo y de superación, Los Amo.

A mis Padres: Margarito y Amalia

Como muestra del cariño y amor que siento por Uds. porque me enseñaron a amar a la familia, el trabajo y la superación constante. Como reconocimiento a los sacrificios realizados para la superación de nuestra familia.

A mis Hermanos y Familia:

Ingeniero Agro. Rafael y Lic. Ma. Esther; Lic. Y Teniente de Caballería

Juan Carlos y TCP. Lidia; Profa. Rosa Maria e Ing. Eleasib.

Por que cada logro en la familia es de todos, al igual que cada caída, porque en las buenas y en las malas han estado ahí, gracias por compartir, siempre estarán en mi corazón.

A la familia Luna Rosales, mis Cuñados y Familia:

Ramón y Francisca, pilares y soporte de la familia; Lupe y Sergio, Silvia y José, José Luis y Martha, Ramón y Sara, Homero y Amalia, Enrique y Benita. Por su amistad y permitirme ser parte de la familia Luna Rosales.

COMPENDIO**Caracterización, Corrección de Problemas y Uso como Sustrato de
Biosólidos Generados en “Embotelladora El Carmen”**

Por

JESÚS JOAQUIN MORALES LOPEZ

MAESTRO EN CIENCIAS EN
HORTICULTURA**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Julio del 2006.

Dr. José Hernández Dávila. – Asesor –

La generación de grandes cantidades de lodo, presenta problemas en la industria debido al costo de su deposición, por otro lado su uso en la agricultura representa una alternativa viable. Para ello es necesario se cumplan las características contempladas en las normas correspondientes.

En este trabajo se caracterizó el lodo generado en la empresa Embotelladora El Carmen en Saltillo, Coah. y se determinó su posible uso como

sustrato para la producción de trasplantes vegetales. Los resultados mostraron que los lodos se clasifican como biosólidos y pueden ser utilizados de forma segura en la agricultura. Presentan problemas de salinidad y alcalinidad mismas que fueron corregidos al aplicar biodesal (3.0 ml/L de agua) y ácido sulfúrico (1.25 M) con lo cual bajaron los valores de CE y pH a $1.68 \text{ dS}\cdot\text{cm}^{-1}$ y 6.81, respectivamente.

En ensayos con diversas especies vegetales de semilla grande y chica, con mezclas de biosólido y peat moss en cinco dosis diferentes, se observó alta germinación al utilizar semillas grandes.

En ensayo con maíz (*Zea mays* L.), al considerar la materia seca, el área foliar, la TCC, la TRC, la TAN y la TRCF se concluye que es posible producir trasplantes al mezclar el biosólido en cantidad menor a 25 por ciento.

Palabras claves: Lodos, biosólidos, sustrato, trasplantes.

ABSTRACT

**Characterization, Correction of Problems and Use as Substratum of
Generated Biosólid in "Embotelladora El Carmen"**

By

JESÚS JOAQUIN MORALES LOPEZ

MASTER IN SCIENCES IN
HORTICULTURE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Buenvista, Saltillo, Coahuila, July of 2006.

Dr. José Hernández Dávila. – Advisor –

The generation of great the sludge quantities, present problems at the industry due to the cost of his deposition, in addition his use in the agriculture represents an alternative viable. He is necessary for it comply with the contemplated characteristics in the standards corresponding.

The generated sludge was characterized in this work at the company Embotelladora El Carmen en Saltillo, Coah, and determinate if use possibility as substratum from the plants transplanting production. The result show that sludge classify as biosolid and hey can be utilized of certain form in the agriculture. They present the salinity and alkalinity problems that they were corrected to the to apply biodesal (3.0 ml/L of water) and sulfuric acid (1.25 M) with it as CE valuables and pH decreased to $1.68 \text{ dS}\cdot\text{cm}^{-1}$ y 6.81, respectively.

In essays with diverse vegetable species of seed big and small, with mixtures of biosólido and peat most in five dosis different, I observe high germination to utilize seeds big.

In the essay with maize, to consider the dry matter, the area foliar, the TCC, la TRC, the TAN and TRCF concludes that to produce transplanting is possible to the to mix the biosolid in quantity small to 25 per cent.

Key words: sludge, biosolid, substratum, transplanting

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	.....	1
Objetivos	.....	2
Hipótesis	.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA	.....	4
Problemática de los Residuos Generados de las Plantas de Tratamiento	.....	4
Aplicación de Biosólidos en la Agricultura	.....	7
Biosólidos y la Legislación	.....	10
Problemática actual de los biosólidos en México	.....	11
Uso de biosólidos como sustrato	.....	13
Uso de biosólidos en el cultivo del maíz	.....	13
Artículo: Caracterización, Corrección de Problemas y Uso como Sustrato de Biosólidos Generados en “Embotelladora El Carmen”..		16
Relación de tablas y figuras en español	.....	48
Relación de tablas y figuras en Ingles	.....	49
CONCLUSIONES	.....	50
LITERATURA CITADA	.....	51

INTRODUCCIÓN

En la Región Sureste de Coahuila, la tendencia es la instalación y uso de plantas de tratamiento de aguas residuales, debido a la escasez de este elemento vital en esta zona. Además, el creciente desarrollo industrial de la entidad, hace suponer que ha futuro, habrá un problema derivado de este tipo de sistema.

Las empresas establecidas en la región son sometidas al cumplimiento de normas ambientales requeridas por el tipo de actividades o servicios que desarrollan, a la vez, requieren de sistemas de tratamiento específicos acordes a sus necesidades; concretamente, la empresa Embotelladora El Carmen S.A. de C. V. tiene una gran generación de biosólidos la cual en un futuro, sino es que ya, ocasionará un problema en cuanto a costos de deposición final de los mismos.

La acumulación de grandes cantidades de biosólidos representa un problema para la industria generadora y para la comunidad. El uso de estos biosólidos como sustratos para la producción de alimentos vía hortalizas, producción de flores, producción de plantas de ornato y especies forestales es viable e interesante, pero existe escasa información científica que permita su

uso, además, no se conocen las condiciones ni concentraciones óptimas que permitan generalizarlo.

En diversas instituciones generadoras de conocimiento científico se han realizado trabajos experimentales que dan idea de la importancia de realizar trabajos que representen la solución de un problema y consecuentemente genere un beneficio social en la comunidad.

Con la caracterización del biosólido, en este proyecto de investigación se pretende generar conocimiento de los contenidos del mismo y, generar conocimiento científico que determinarán en lo futuro la reducción de los problemas de su deposición y su posible uso como sustrato en la producción de transplantes de vegetales.

Con lo anterior, se pretende lograr los siguientes:

OBJETIVOS

GENERAL:

Generar conocimiento científico acerca de los biosólidos que genera la empresa Embotelladora El Carmen S. A. de C. V. y determinar su posible utilización en la producción de transplante de vegetales.

ESPECIFICOS:

- 1.- Caracterizar mediante análisis de CRETIB y agronómicamente los lodos generados por la empresa Embotelladora El Carmen S. A. de C. V.
- 2.- Identificar posibles problemas en los lodos generados por la empresa Embotelladora El Carmen S. A. de C. V. y proceder a su eliminación.
- 3- Determinar y recomendar una dosis óptima de lodos generados por la Embotelladora El Carmen S. A. de C. V., para su uso en la producción de trasplantes de hortalizas.

Para el logro de los objetivos citados, se plantean las siguientes:

HIPÓTESIS

Por las características de los lodos industriales que genera la Embotelladora El Carmen S.A. de C. V., es posible clasificarlos como biosólidos.

Estos biosólidos son de uso agronómico seguro y pueden ser utilizados como sustrato para la producción de trasplantes agrícolas.

REVISIÓN DE LITERATURA

Problemática de los Residuos Generados de las Plantas de Tratamiento.

La tecnología más común para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales, aplicadas en México y en el mundo, es el proceso de lodos activados, un proceso biológico que consume grandes cantidades de energía y genera grandes cantidades de lodos orgánicos. Estos lodos, separados del agua tratada en la última etapa del proceso, contienen más del noventa por ciento de agua y son altamente biodegradables. Para facilitar el manejo y la eliminación de los lodos se suelen aplicar procesos de deshidratación. Hasta ahora las principales vías de eliminación han sido transportar los lodos a confinamientos, esparcirlos en la tierra, verterlos al mar e incinerarlos (Bontoux *et al.*, 1999).

Smith (1996), menciona que a principios de ese año comenzó en Europa la prohibición del vertido al mar de los lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales. Las restricciones que se propusieron sobre el transporte a confinamientos pretendía excluir todo residuo orgánico de esta vía de eliminación. Potencialmente, la opción más atractiva entonces sería esparcir los lodos en terrenos agrícolas, porque podrían reciclar nutrientes y ser útiles desde

el punto de vista agronómico. Sin embargo, debido a los procesos físico-químicos que intervienen en el método de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales, el lodo tiende a concentrar trazas de metales pesados y compuestos orgánicos, poco biodegradables (por ejemplo: plaguicidas, productos químicos domésticos, etc.) presentes en las aguas residuales. Ello suscita problemas tanto para el medio ambiente como para la salud pública. Otro problema sería la existencia de suficiente terreno agrícola en las proximidades de los centros de producción de lodos, para evitar gastos de transporte.

La cantidad de lodos generados por un sistema de tratamiento es variable, dependiendo de diversos parámetros, entre ellos si el sistema de tratamiento biológico involucra procesos aeróbicos o anaeróbicos. La generación de sólidos finales en un proceso aeróbico puede llegar a ser el doble que en un proceso anaeróbico (Cortés, 2003).

Santiago (2000), menciona que la calidad del lodo depende, fundamentalmente, de cuatro grupos de contaminantes principales:

Metales

Principalmente zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cromo (Cr). Su potencial de acumulación en los tejidos

humanos y su bio-magnificación en la cadena alimentaría suscitan preocupaciones, tanto medioambientales como sanitarias.

Nutrientes importantes en las plantas

Nitrógeno y fósforo. Su peligrosidad radica en su potencial de eutrofización para las aguas subterráneas y superficiales. Sin embargo, se pueden considerar como fertilizantes valiosos y el principal valor para la agricultura, de los lodos industriales, reside en su alto contenido en materia orgánica y por lo tanto de elementos esenciales para las plantas.

Contaminantes orgánicos

Plaguicidas, disolventes industriales, colorantes, plastificantes, agentes tenso activos y muchas otras moléculas orgánicas complejas, generalmente con poca solubilidad en agua y elevada capacidad de adsorción, tienden a acumularse en los lodos. Todos ellos son motivo de preocupación por sus efectos potenciales sobre el medio ambiente y, en particular, sobre la salud humana. Una característica específica de estos, es su potencial de biodegradación que puede ocurrir después de esparcir los lodos en la tierra o durante el composteo.

Agentes patógenos

Los agentes patógenos que se han encontrado en los lodos son las bacterias como la Salmonella, los virus sobre todo, enterovirus, los protozoos, los tremátodos, los céstodos y los nemátodos. Como resultado, para que cualquier vertido de los lodos sea seguro se precisa la eliminación, o al menos una inactivación suficiente, de estos agentes patógenos.

Los biosólidos provenientes de aguas residuales domésticas contienen tres nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas: nitrógeno, fósforo y potasio. Los nutrientes contenidos en los biosólidos pueden estar en diversas formas químicas. Por ejemplo, el nitrógeno puede estar como nitratos, amonio o nitrógeno orgánico y el fósforo, puede estar como ion fosfato y orto fosfato (Cortés, 2003).

Aplicación de Biosólidos en la Agricultura

El uso de residuos en la agricultura data desde la antigüedad, el Imperio Romano, utilizaba desechos humanos en la agricultura, los antiguos chinos, usaban *night soil* en la agricultura, en los EUA en 1880 existían reportes de 103 de 222 ciudades, los cuales usaban los desechos humanos en la agricultura (Barrios, 2004)

Fondahl (1999) menciona que California un Estado con 31 millones de habitantes utiliza en tierras agrícolas, el 52 por ciento de los biosólidos producidos (390,000 toneladas por año en base seca), mientras que Arizona utiliza el 86% de lo que produce, lo cual corresponde a 56,000 t.año⁻¹.

El destino generalizado actual de estos residuos es el confinamiento en rellenos sanitarios, sin embargo en otros Países es común su aplicación en suelos agrícolas, pastizales, bosques o elaboración de composta (USEPA, 1999).

Smith (1996) menciona que con frecuencia, la aplicación de biosólidos a tierras de cultivo es, posiblemente, el método de eliminación más barato. Se puede comparar con lo que se hace tradicionalmente con el estiércol o los residuos de ganadería. Ofrece una oportunidad para reciclar nutrientes de las plantas y materia orgánica beneficiosos para las cosechas. Además, parece que, en muchos casos, la aplicación de los lodos al suelo puede mejorar las propiedades físicas de éste, aumentando la productividad de las cosechas.

Sin embargo, Bontoux *et al.* (1999) mencionan cuidar los contaminantes químicos o patógenos presentes en los lodos, para que no produzcan efectos adversos. Por ejemplo, las concentraciones de metales pesados en los lodos suelen ser mayores que las que existen en el suelo y estos elementos pueden quedar retenidos indefinidamente en las capas de suelo. Por tanto, las

aplicaciones repetidas de lodos aumentarán gradualmente el contenido en elementos traza del suelo. Según la aplicación de los lodos y las concentraciones de los metales, se puede calcular el tiempo (generalmente de 70 a 80 años) en que se alcanzarán las concentraciones máximas permisibles de cada elemento en el suelo. Pasado este período los lodos no se pueden aplicar más, de forma segura. Zn, Cu y Hg son los principales elementos que limitan el resultado de lodos en las tierras de cultivo, mientras que el Cd suscita problemas específicos debidos a su toxicidad y a su movilidad variable.

El uso de lodos digeridos, procedentes de la depuración de aguas residuales urbanas y de residuos sólidos urbanos, como fertilizantes orgánicos es uno de los principales medios de reutilización de estos residuos sólidos, si bien tiende a disminuir debido a la contaminación por cationes pesados a que da lugar (López *et al.*, 2000).

Sin embargo, la necesidad evidente de incrementar los volúmenes de agua tratada, traerán como resultado un aumento considerable de sólidos residuales que deberán ser utilizados racionalmente para evitar impactos ambientales negativos. La aplicación correcta de la legislación en este tema, permitirá un aumento en los métodos de manejo y utilización benéfica de biosólidos tales como en suelos agrícolas, bosques y composta, entre otros. En corto plazo el potencial de beneficio puede alcanzar 52,000 ha·año⁻¹ a nivel nacional, con el consecuente ahorro de fertilizantes químicos (Flores, 2003).

Los resultados de investigación y validación de biosólidos realizados desde 1999 en el Valle de Juárez, Chihuahua, confirman la factibilidad de su utilización en suelos agrícolas, pero estudios a mediano plazo se consideran necesarios para conocer el impacto en la productividad de los suelos y calidad de los productos (Flores y Figueroa, 2004).

Biosólidos y la Legislación

En lo referente a la legislación, en el país actualmente se cuenta con la NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental.- Lodos y biosólidos, la cual establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos o biosólidos, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana.

La norma en mención es la única que existe y es de observancia obligatoria para todas aquellas personas físicas y morales que generen lodos y biosólidos, generados como se expreso anteriormente.

Los biosólidos son definidos por la NOM-004-SEMARNAT-2002 en su apartado 3.7 como: los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que por su contenido de nutrientes y por sus propias

características o por las adquiridas después de un proceso de estabilización, pueden ser susceptibles de aprovecharse.

Dicho de otra forma, los biosólidos son lodos que se generan en las plantas de tratamiento y que contienen gran cantidad de materia orgánica, con características físicas y químicas susceptibles de ser utilizados en la agricultura y altamente biodegradables.

Por otra parte, el conocimiento de la calidad de los biosólidos es un aspecto decisivo para su manejo, disposición o utilización. El proceso para dictaminar el destino de un lodo o biosólido inicia con lo establecido por la Norma NOM-052-ECOL-1993, la cual señala un análisis CRETIB (corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológico-infeccioso) (Flores, 2003).

Una vez cumplido este requisito son sometidos a los requerimientos contemplados en la NOM-004-SEMARNAT-2002, para una vez cubiertos ser utilizados en libremente en la agricultura.

Problemática actual de los biosólidos en México

En el año 1992, se inicio el monitoreo de 546 plantas de tratamiento, las cuales no tenían bien documentados los tipos de plantas de tratamiento que operaban en el país, solamente se conocían las formas de manejo y

eliminación centrado en transporte a rellenos sanitarios, confinamientos, esparcidos al suelo, vertidos al mar e incinerados pero, no existen reportes de volúmenes de lodos generados en el país, (CNA, 2003).

Jurado *et al.* (2004), basándose en estimaciones realizadas en el 1996, reporta que la generación de biosólidos en México alcanzará aproximadamente 650 000 t en materia seca (MS) por año, en un futuro próximo, para estados Unidos se estiman 12 millones y para la comunidad europea, con 15 miembros, 7.5 millones.

Por su parte, Flores (2003) estimó que el volumen de los sólidos residuales es de 480,363 t·año⁻¹, ó bien en base húmedo (70 por ciento) es de 1.6 millones de toneladas. Una dosis promedio de 50 t·ha⁻¹ alcanzaría para aplicarse en 32,280 ha, ó bien para 51,981 ha si se considera la capacidad instalada de tratamiento de agua nacional que generaría 2.6 millones de toneladas de sólidos en base húmedo.

En la actualidad se tienen en el país alrededor de 1360 plantas de tratamiento urbanas (CNA, 2003), sin considerar las industriales, esto aunado a la normatividad vigente, que promueve la creación de más plantas de tratamiento, serán en un futuro fábricas de lodos, a las cuales se les debe de plantear alternativas de solución para evitar que los lodos generados se conviertan en un problema. Es decir, Por lo que es importante encontrar

propuestas de solución que nos permitan vivir en un entorno ecológico más estable.

Uso de biosólidos como sustrato

Domínguez (2005) Menciona que para el 2002 se tienen registradas 1205 ha de invernadero y 365 ha en construcción; para el 2005 se estima habrá en el país 3000 ha en producción, todas ellas utilizando plántulas de calidad y por ende requiriendo grandes volúmenes de sustrato para su producción.

Montes *et al.* (2005) mencionaron que el uso de grandes volúmenes de sustrato para producción de plantas, eleva los costos, proponiendo que el biosólido, sea una alternativa de sustrato, para disminuir los costos de producción, en el caso de la planta de agave.

Hernández *et al.* (2005) encontraron que plantas ornamentales, cultivadas en fibra de coco mezcladas con biosólidos, mostraron resultados similares, que los crecidos en sustratos comerciales, la mezcla al 30 por ciento de lodo residual composteado + fibra de coco, resulto ser el más conveniente sustrato a utilizarse, desde un punto de vista económico y ambiental.

Uso de biosólidos en el cultivo del maíz.

En experimentos de campo realizados estimando la disponibilidad de los elementos potencialmente tóxicos, se determinaron los niveles de Cd, Zn, Cr, Cu, Ni, Pd, a través de la acumulación de los mismos en los tejidos del cultivo de maíz, en base a resultados obtenidos se observó que ningún elemento potencialmente tóxico, presentó concentraciones indicadas como riesgosas para la salud o el medio ambiente (Rodríguez, *et al.*, 2003)

Zamora *et al.* (1999), en trabajo realizado adicionando lodos residuales de una planta de tratamiento urbano, en el cultivo de maíz, menciona incrementos de un 35 por ciento en rendimiento con respecto a la fertilización química convencional. Atribuyendo dichos resultados a los nutrimentos básicos de N P K que contenían los lodos.

Uribe *et al.* (2002) reportaron que en la región agrícola de Delicias, Chih., se observaron incrementos en rendimiento de forraje verde con la aplicación de biosólidos que fluctuaron entre 11 y 18 por ciento en comparación al testigo fertilizado y 27 a 35 por ciento en comparación al testigo absoluto. Se concluyó, que en maíz forrajero la dosis más adecuada de biosólidos digeridos anaeróbicamente, desde el punto de vista agronómico y económico resultó ser $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de biosólidos en base seca.

Un grupo de docentes y alumnos del Departamento de Investigaciones en Ciencias Agrícolas, del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, estudia la utilización de biosólidos en la agricultura, cuyos primeros resultados han permitido incrementar hasta en un 40 por ciento la producción de maíz y algunas hortalizas (Rodríguez, 2004).

Caracterización, corrección de problemas y uso de sustrato del biosólido

**CARACTERIZACIÓN, CORRECCIÓN DE PROBLEMAS Y USO COMO
SUSTRATO DE BIOSÓLIDOS GENERADOS EN “EMBOTELLADORA EL
CARMEN”**

**CHARACTERIZATION, CORRECTION OF PROBLEMS AND USE AS
SUBSTRATUM OF GENERATED BIOSÓLID AT "EMBOTELLADORA EL
CARMEN"**

RESUMEN

El trabajo se realizó para caracterizar los lodos que genera la empresa Embotelladora El Carmen en Saltillo, Coah. y determinar su posible uso como sustrato para la producción de trasplantes. Los resultados mostraron que los lodos se clasifican como biosólidos y presentan problemas de salinidad y alcalinidad que fueron corregidos al aplicar biodesal (3.0 ml/L de agua) y ácido sulfúrico (1.25 M) con lo cual bajaron los valores de CE y pH a $1.68 \text{ dS}\cdot\text{cm}^{-1}$ y 6.81, respectivamente. En el ensayo con maíz (*Zea mays* L.), al considerar la materia seca, el área foliar, la TCC, la TRC, la TAN y la TRCF se concluye que es posible producir trasplantes al mezclar el biosólido en cantidad menor a 25 por ciento.

Palabras clave: Lodos, biosólidos, sustrato, trasplantes.

SUMMARY

Work is realized to characterization the sludge of generate the Embotelladora "El Carmen" in Saltillo, Coah., and determinate if use possibility as substratum from the transplanting production. The result show that sludge classify as biosolid and they present the salinity and alkalinity problems that they were corrected to the to apply biodesal (3.0 ml/L of water) and sulfuric acid (1.25 M) with it as CE valuables and pH decreased to $1.68 \text{ dS}\cdot\text{cm}^{-1}$ y 6.81, respectively. In the essay with maize, to consider the dry matter, the area foliar, the TCC, la TRC, the TAN and TRCF concludes that to produce transplanting is possible to the to mix the biosolid in quantity small to 25 per cent.

Key words: sludge, biosolid, substratum, transplanting.

INTRODUCCIÓN

En la Región Sureste de Coahuila, por su creciente desarrollo industrial, se puede suponer que habrá un problema con los residuos derivados del tratamiento de aguas residuales. Concretamente, la empresa Embotelladora El Carmen S.A. de C. V. genera lodos que en un futuro, sino es que ya, ocasionarán un problema en cuanto a costos por su deposición final. El uso de estos materiales como sustrato en la agricultura, es viable e interesante, pero existe escasa información científica al respecto aunque, en diversas

instituciones se han realizado trabajos experimentales; sin embargo, hay que tener cuidado con los contaminantes presentes en los lodos, sobre todo con metales pesados, exceso de nutrientes importantes en las plantas, contaminantes orgánicos y agentes patógenos (Smith, 1996; Bontoux *et al.*, 1999; López *et al.*, 2000; Santiago, 2000; Cortés, 2003).

En la legislación Mexicana, existe la norma NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental.- Lodos y biosólidos, la cual establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos con el fin de posibilitar su aprovechamiento o deposición final (NOM, 2002). Aunque, el proceso para dictaminar el destino de un lodo o biosólido inicia con lo establecido por la Norma NOM-052-ECOL-1993, que indica un análisis CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico-infeccioso) (Flores, 2003). Hasta ahora las principales vías de eliminación han sido transportar los lodos a confinamientos, esparcirlos en la tierra, verterlos al mar e incinerarlos (Bontoux *et al.*, 1999).

Por otra parte, autores como Montes *et al.* (2005) mencionaron que la producción de trasplantes demanda grandes volúmenes de sustrato que eleva los costos y, propone que el biosólido, sea una alternativa de sustrato para disminuirlos. En este sentido, Hernández *et al.* (2005) cultivaron plantas ornamentales en fibra de coco mezclada con biosólidos y, reportaron resultados similares, a los obtenidos en sustratos comerciales. Zamora *et al.* (1999), adicionaron lodos residuales en un cultivo de maíz, y reportaron incremento de

35 por ciento en rendimiento. También, personal de la BUAP al usar biosólidos en maíz y hortalizas reportaron incremento del rendimiento hasta en 40 por ciento (Rodríguez, 2004). Sin embargo, hay que tener cuidado al usar materiales alternativos como sustrato ya que antes de esto, debe realizarse lo siguiente: caracterización de los materiales (física, química y biológica), estudio crítico de sus propiedades, mejora sencilla, si correspondiera, de dichas propiedades y ensayos de crecimiento vegetal (Kämpf y Fermino, 2000).

Por lo anterior, se planteó el objetivo de caracterizar los lodos que genera la empresa Embotelladora El Carmen S. A. de C. V. y determinar su posible utilización en la producción de trasplantes vegetales.

MATERIALES Y MÉTODOS

a. Caracterización de los lodos por análisis CRETIB y NOM-004. A muestras tomadas de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Embotelladora El Carmen S.A. de C.V., se les realizó el análisis CRETIB en la empresa Concentrados Industriales, con acreditación ante la EMA según claves AG-142-021/04, A-059-005/04, FRA-148-020/04, de fecha 16 de junio del 2005. El análisis se hizo de acuerdo con lo establecido en la NOM-052/053-SEMARNAT/94. Después de este análisis, los lodos fueron sometidos al cumplimiento de los requisitos planteados en la NOM-004-SEMARNAT-2002, que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de

contaminantes (metales pesados y microorganismos) en los lodos o biosólidos, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o deposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana.

b. Caracterización agronómica. En el mes de junio del 2005, se obtuvieron muestras de lodos, igual que aquellas tomadas para el análisis CRETIB, y fueron trasladadas al laboratorio de Riego y Drenaje de la UAAAN, en donde se determinaron las características Agronómicas: 1) **Fertilidad**, se determinó la cantidad de S, B, Ca, Zn, Cu, Mn, Fe, Mg, N inorgánico, P y K, 2) **Características físicas y Químicas**, se analizó la textura, la CC, el PMP, la Da, la MO y los CO_3 y 3) **Diagnóstico de salinidad y sodicidad**, se determinó la CE, el pH, Ca, Mg, Na, K, CO_3 , HCO_3 , SO_4 , RAS y cloruros.

c. Ensayos 1 y 2. El pH y la CE fueron dos de los problemas que se detectaron, en los biosólidos, por lo cual se realizaron ensayos para corregirlos. Para ello, primero se determinó la humedad a saturación en la muestra del lodo y después, se preparó el ensayo para corregir el pH con las dosis 0.5 (T1), 1.0 (T2) y 1.5 (T3) Molar de ácido fosfórico / litro de agua y, el T4 o testigo con agua destilada. El segundo ensayo se preparó para corregir la CE con las dosis 1.0 (T1), 2.0 (T2) y 3.0 (T3) ml de biodesal / litro de agua y, el T4 o testigo con agua destilada.

En ambos experimentos las unidades experimentales (UE) constaron de muestras de biosólido con peso de 50 g y se colocaron en vasos de plástico del # 4, con pequeños orificios en el fondo y, cinco repeticiones en un diseño completamente al azar. A cada UE se le aplicaron 35 ml de solución previamente preparada con ácido fosfórico o biodesal. Posteriormente las muestras se dejaron reposar y al tercer día, se tomo la lectura del pH (1^{er} ensayo) y la CE (2^o ensayo) de la siguiente manera: En un recipiente de vidrio se colocaron 5.0 g de muestra, se le agregó agua hasta completar 50 g, posteriormente se traslado a un agitador magnético y se agitó por 20 minutos, al terminar se tomaron las lecturas de pH o CE. Se repitió el procedimiento por cinco veces, cada tercer día.

d. Ensayo 3. De acuerdo a los resultados de los ensayos anteriores, se planteo el siguiente trabajo con 10 tratamientos que resultaron de combinar tres dosis de ácido fosfórico (0.75, 1.0 y 1.25 M) con tres dosis de biodesal (2.5, 3.0 y 3.5 ml de producto por litro de agua) más un testigo con agua destilada: Estos tratamientos fueron establecidos en un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones. El procedimiento, fue hecho de igual manera a lo realizado en los anteriores ensayos. Las variables evaluadas fueron pH y CE.

e. Deshidratación del biosólido. El biosólido se colocó extendido dentro de un macrotúnel y una vez seco, se molió utilizando un pizon (compactador de suelos en albañilería) y después se pasó por un tamiz (malla de albañil), para

tener un material uniforme y mayor facilidad al momento de hacer las mezclas en base a volumen.

f. Prueba preliminar. Por las características del sustrato, se realizó una prueba para determinar su efecto en la germinación de semillas pequeñas y grandes. Los tratamientos a probar fueron mezclas de sustrato en las concentraciones siguientes: 0+100, 25+75, 50+50, 75+25 y 100+0 porcentaje de peat moss y biosólido, respectivamente. Cada mezcla se colocó en charolas de 60 y 128 cavidades. Se utilizaron cuatro charolas por tratamiento y una por repetición. El procedimiento fue humedecer la mezcla hasta capacidad de campo y después se realizó la siembra. Para las semillas pequeñas, se utilizaron charolas de plástico de 128 cavidades y para las semillas grandes, charolas de poliestireno de 60 cavidades. Los cultivos sembrados fueron: Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) var. Río Grande, Chile Serrano (*Capsicum annuum* L.) var. Tampiqueño, Brócoli (*Brassica oleracea*) var. Peyet, Lechuga (*Lactuca sativa*) var. Great Lakes, Chile Pimiento (*Capsicum spp*) var. California Wonder, Sandía (*Citrullus lanatus*) var. Charleston Grey, Melón (*Cucumis melo*) var. Top Mark y Maíz var. AN 447. Después, se colocaron las charolas dentro de un macrotúnel. La variable medida fue días a emergencia al considerar como plenitud de fase cuando el 80 por ciento de las plantas por tratamiento emergieron y se observaron a simple vista. Con la fecha de siembra y los días transcurridos hasta que se cumplió lo anterior, se estimó esta variable.

g. Uso como sustrato. Con los resultados del ensayo anterior, se realizó un experimento para determinar el efecto del biosólido en el crecimiento de trasplantes de maíz. El procedimiento para el establecimiento de este ensayo fue igual al que se realizó para establecer el ensayo anterior, solo que en este se trabajó únicamente con maíz de la var. AN 447. Las variables evaluadas fueron: *Área foliar*: Se midió el área foliar del vástago de una plántula por tratamiento y repetición con un analizador portátil LI – 3000 (LI-COR Inc., Lincoln, NE). *Materia seca*: Se secaron plántulas completas a temperatura de 60 – 70 °C durante 72 horas y después se pesaron en balanza analítica. Se realizaron cinco muestreos cada cinco días a partir de los 15 días después de la siembra. El tratamiento 4 se muestreo ocho veces. *Análisis de crecimiento*, con el fin de realizar un análisis funcional del crecimiento, los datos de área foliar y materia seca se usaron en un modelo logístico para estimar los parámetros β_0 , β_1 y β_2 . Con ellos, se resolvió el modelo y se estimaron, a través del tiempo, valores de área foliar y materia seca para calcular cuatro índices fisiotécnicos: tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa relativa de crecimiento (TRC), tasa de asimilación neta (TAN) y tasa relativa de crecimiento foliar (TRCF) con las fórmulas que reportó Hernández (2003).

RESULTADOS

a) Caracterización de los lodos por análisis CRETIB y NOM 004.

Según el informe de los análisis CRETIB, presentados por la empresa

Concentrados Industriales, realizados a los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Embotelladora El Carmen, de acuerdo con lo establecido en la NOM-052/053- SEMARNAT/94, los lodos presentan las características contenidas en la Tabla 1. Los resultados no sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en la norma citada.

Tabla 1. Resultado del análisis CRETIB realizado a los lodos de la Embotelladora el Carmen. (CR = características del residuo)

Parámetro	Resultado
Corrosividad	Negativo
Reactividad	Negativo
Explosividad	Negativo
Toxicidad	Negativo.
Inflamabilidad	No aplica por las CR
Biológico infeccioso	No aplica por las CR

Después del análisis anterior, los lodos fueron sometidos al cumplimiento de los requisitos planteados en la norma NOM-004-SEMARNAT-2002 y los resultados en cuanto a metales pesados, se muestran en la Tabla 2. Por otra parte, por su contenido del indicador bacteriológico de contaminación (Tabla 3), los residuos no rebasan los valores mínimos permisibles de coliformes fecales, salmonella y huevos de helminto.

Tabla 2. Resultados de contaminantes según el análisis realizado a los lodos de la Embotelladora El Carmen, de acuerdo con la NOM 004-SEMARNAT-2002. (mg =miligramos, kg =kilogramos, MS = materia seca)

Parámetro	Resultado (mg/kg de MS)	CLASIFICACIÓN	
		EXCELENTES (mg/kg de MS)	BUENOS (mg/kg de MS)
Arsénico	0.36	41	75
Cadmio	34.55	39	85
Cobre	56.91	1500	4300
Cromo	< 46.99	1200	3000
Mercurio	< 0.183	17	57
Niquel	< 15.10	420	420
Plomo	461.38	300	840
Zinc	136.18	2800	7500

Tabla 3. Clasificación de lodos por su contenido de coliformes fecales, patógenos y parásitos de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002. (HV = huevo viable, NMP = número más probable, MS = materia seca, g = gramos)

CLASE	INDICADOR BACTERIOLÓGICO DE CONTAMINACION		
	Coliformes fecales (NMP/g MS)	<i>Salmonella</i> ssp. (NMP/g MS)	Huevos de Helminto HV/g MS)
A	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 1
B	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35
MUESTRA	240 x 10 ⁻⁸	Menor de 300	0

b) Caracterización agronómica

b.1 Fertilidad del residuo. Los 11 elementos analizados tienen valores que varían de medio a alto excepto, el potasio que presenta valor bajo (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados de la caracterización agronómica por fertilidad y física de los biosólidos generados en la Embotelladora El Carmen. (*kg·ha⁻¹ de nitrógeno disponible, CLASIF = clasificación, CARACT = característica, HD = humedad disponible).

ELEMENTO	VALOR (ppm)	CLASIF	CARACT	VALOR
AZUFRE	11.71	Medio	ARENA (%)	87.24
BORO	1.20	Medio	LIMO (%)	5.28
CALCIO	1837.50	Medio	ARCILLA (%)	7.48
ZINC	5.32	Alto	CC (%)	105.75
COBRE	6.32	Muy alto	PMP (%)	55.51
MANGANESO	8.04	Medio	HD (%)	50.24
HIERRO	30.56	Alto	Da (g.cm ⁻³)	0.660
MAGNESIO	272.50	Medio		
NITRÓGENO.	47.50	178.6*		
FOSFORO	21.81	Medio		
POTASIO	156.0	Bajo		

b.2 Características físicas De acuerdo a las características físicas mostradas en el Tabla 4, el biosólido tiene alto porcentaje de arena, alta

capacidad de campo, por encima de la máxima normal de un suelo agrícola, alta capacidad de humedad disponible y con densidad aparente muy baja.

b.3 Diagnóstico de salinidad y sodicidad. Al considerar el diagnóstico de salinidad y sodicidad cuyos resultados se presentan en el Tabla 5, se detectaron problemas en el biosólido en estudio. Así la CE con valor de 5.45 $\text{dS}\cdot\text{cm}^{-1}$ y el pH con valor de 8.4, parecen ser los problemas mas serios que tiene el biosólido aunque, también hay que considerar que tiene problemas de sodio.

Tabla 5. Resultados del diagnóstico de salinidad y sodicidad en extracto de saturación de los biosólidos generados en la Embotelladora el Carmen. (RAS = Relación de absorción de sodio, CE = Conductividad eléctrica).

ELEMENTO	UNIDADES	VALOR	CLASIFICACION
CE	dS/cm	5.45	Mod. Salino
pH	U	8.4	Alcalino
MO	%	1.92	Medio
SODIO	meq/L	27.76	Alto
CO ₃	meq/L	0.00	Bajo
HCO ₃	meq/L	9.44	Alto
SO ₄	meq/L	6.80	Bajo
RAS		8.35	Sódico
CLORUROS	meq/L	38.40	Alto

Corrección de problemas.

Ensayos 1 y 2.

En el ensayo 1 los tratamientos mostraron diferencias significativas con $P \leq 0.01$ y se logró reducir el valor de pH (Tabla 6). Se observó que al aplicar ácido fosfórico 1.0 M se logró reducir 1.72 unidades en el valor original del pH. Al aplicar 1.5 M de ácido fosfórico se redujo el pH hasta un valor de 4.28. En el ensayo 2 se detectaron diferencias significativas entre tratamientos con $P \leq 0.01$ y se logró reducir el valor de CE. El tratamiento donde se aplicó el desalinizante comercial Biodesal en proporción de $3 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}$ de agua, fue el que mayor redujo el valor de CE al alcanzar $1.68 \text{ dS} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Tabla 6. Corrección de pH con ácido fosfórico y salinidad (CE) con biodesal, en muestras de biosólidos de la empresa Embotelladora El Carmen. Los valores son promedio de cinco repeticiones. (TRAT = tratamiento, M = molar, TEST = testigo. Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con Tukey a $P \leq 0.01$).

TRAT	pH		TRAT	CE ($\text{dS} \cdot \text{cm}^{-1}$)
0.5 M	7.81	B	1 ml	2.836 B
1.0 M	6.81	C	2 ml	2.210 C
1.5 M	4.28	D	3 ml	1.680 D
TEST	8.53	A	TEST	5.483 A

Ensayo 3.

Con los resultados obtenidos en los ensayos anteriores, se realizó el tercer experimento y sus resultados se muestran en el Tabla 7. De aquí se desprende que el mejor tratamiento para corregir el pH y la CE resultó ser donde se aplicó 1.25 M de ácido fosfórico + 3 ml de biodesal al alcanzar valores de 6.46 y 1.33, respectivamente.

Tabla 7. Corrección de pH y salinidad en muestras de biosólidos de la empresa Embotelladora El Carmen. Los valores son promedio de cinco repeticiones. (M = molar, AF = ácido fosfórico, ml = mililitro, B = biodesal, L = litro. Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con Tukey a $P \leq 0.01$).

TRATAMIENTO	pH	CE
		dS. cm ⁻¹
0.75 M de AF + 2.5 ml de B / L de agua	6.78 B	1.357 D
1.0 M de AF + 2.5 ml de B / L de agua	6.53 CD	1.468 BC
1.25 M de AF + 2.5 ml de B / L de agua	6.53 CD	1.341 D
0.75 M de AF + 3 ml de B / L de agua	6.58 C	1.396 CD
1.0 M de AF + 3 ml de B / L de agua	6.49 CDE	1.409 CD
1.25 M de AF + 3 ml de B / L de agua	6.46 DE	1.332 D
0.75 M de AF + 3.5 ml de B / L de agua	6.56 C	1.409 CD
1.0 M de AF + 3.5 ml de B / L de agua	6.42 E	1.516 B
1.25 M de AF + 3.5 ml de B / L de agua	6.42 E	1.474 BC
Testigo con agua destilada	8.59 A	5.473 A

Prueba preliminar.

De los seis cultivos establecidos, tres fueron de semilla pequeña y ninguno de ellos emergió en las mezclas donde se incluyó el biosólido; solo emergieron las semillas que tuvieron como sustrato peat moss al 100 % (datos no incluidos). La emergencia se dio en los tres cultivos de semilla grande en todos los tratamientos pero las plantas de melón y sandía murieron por efecto de una helada. Los datos de emergencia de dos de los últimos cultivos se presentan en la Figura 1. Al inicio de la emergencia, seis días después de siembra, se observó 25.4 % más de semillas de maíz que emergieron en el tratamiento con 100 % de peat moss en comparación con el tratamiento con 75 % de peat moss + 25 % de biosólido aunque, a los 10 días ambos tratamientos alcanzaron el 100 % de emergencia. Al incrementar la cantidad del biosólido por arriba del 50 % la emergencia de las semillas de maíz fue más lenta pero no influyó en el porcentaje de emergencia ya que, todos los tratamientos alcanzaron el 100 %. En el caso de las semillas de sandía, el comportamiento de los tratamientos con 100 % de peat moss y 25 % de biosólido más 75 % de peat moss, es muy similar al que mostraron en la emergencia las semillas de maíz. En los tratamientos con 50 % de biosólido más 50 % de peat moss y 75 % de biosólido más 25 % de peat moss la emergencia de semillas de sandía, se retrazó cinco días con respecto al tratamiento con 100 % de peat moss. En el tratamiento con 100 % de biosólido no se alcanzó el 100 % de emergencia.

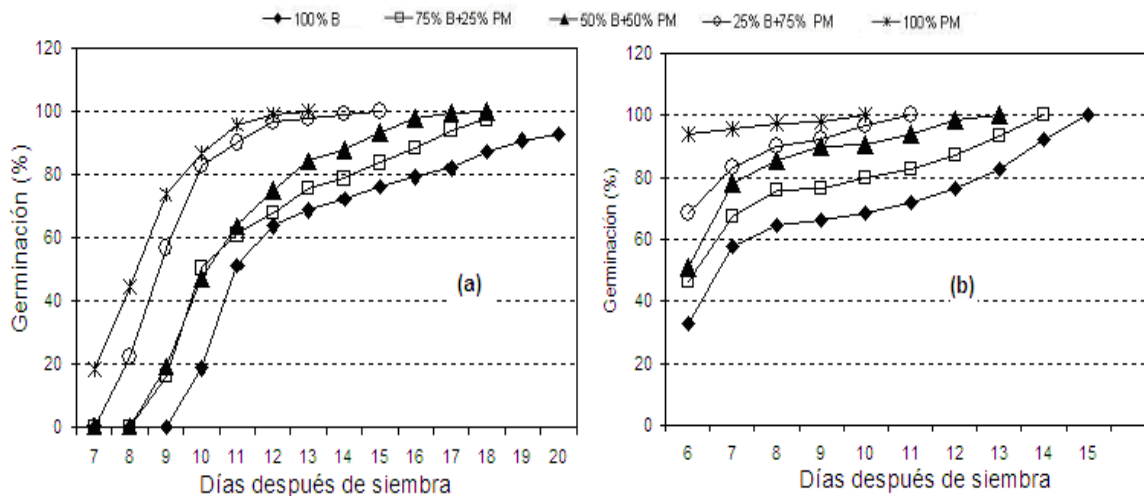


Figura 1. Efectos en la emergencia de maíz (a) y de sandía (b) del biosólido y peat moss en diferentes mezclas

Uso como sustrato.

Área foliar y peso seco. Los resultados en cada fecha de muestreo, mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$); En la Figura 2a se puede observar que la acumulación de materia seca se comporta de manera similar hasta los 30 dds en los tratamientos donde se aplicó biosólido con valores de $0.2 \text{ g.planta}^{-1}$ hacia abajo y, a partir de esta fecha, el tratamiento 4 mostró superioridad hasta que a los 40 y 45 dds tuvo los valores más altos con $1.0 \text{ g.planta}^{-1}$. Sin embargo, el tratamiento 5 fue superior y mostró diferencias estadísticas con respecto a los otros tratamientos, ya que paso de 0.1 a $0.9 \text{ g.planta}^{-1}$ en 15 días. Por otra parte, el tiempo en que la planta estuvo lista para el trasplante varió entre tratamientos; así, en el tratamiento 5 estuvieron listas a los 30 dds y, en el tratamiento 4 a los 45 dds. En los tratamientos 1, 2 y 3 las

plantas murieron entre los 30 y 35 dds. En la Figura 2b se observa la acumulación de área foliar, que tiene un comportamiento similar al de la materia seca. Aquí se destaca el hecho de que el tratamiento 5 superó al tratamiento 4 en la producción de área foliar aún y cuando éste último, acumuló mayor cantidad de materia seca.

Tasa de crecimiento del cultivo.

Los resultados de los análisis para cada una de las fechas de muestreo detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre tratamientos y los resultados de las comparaciones de medias con Tukey ($P \leq 0.01$) se muestran en el Tabla 8. La tendencia de este índice fue iniciar con valores promedio bajos ($0.0013 \text{ g.planta}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$), hasta llegar a un valor máximo a los 38 dds con $0.0973 \text{ g.planta}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (valor variable para cada tratamiento) por tanto, la tendencia es ascendente y sigue el comportamiento típico del crecimiento de un vegetal. A los 38 dds el tratamiento 4 fue superior al resto de los tratamientos.

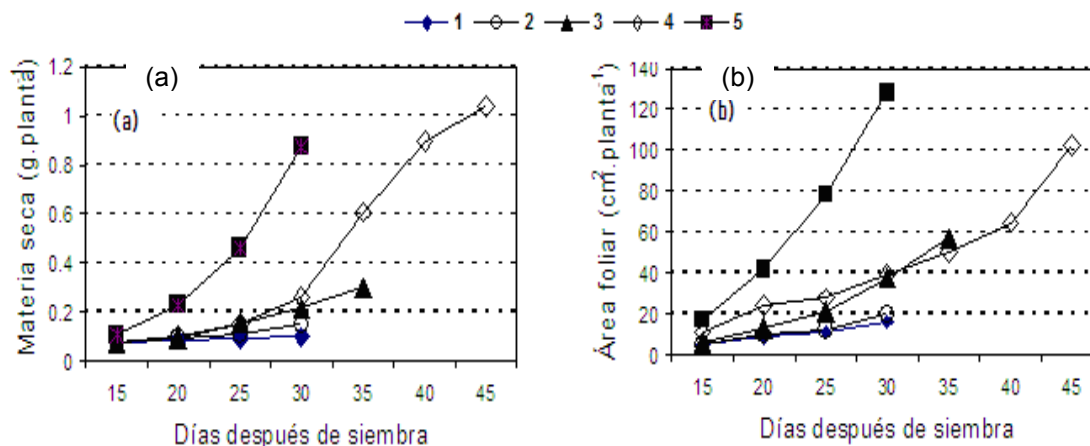


Figura 2. Acumulación de materia seca y producción de área foliar en maíz por efecto de diferentes mezclas de sustrato. 1 = 0+100, 2 = 25+75, 3 = 50+50, 4 = 75+25 y 5 = 100+0 porcentaje de peat moss y biosólido, respectivamente

Tabla 8. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en plántulas de maíz por efecto de cinco mezclas de biosólido mas peat moss en seis fechas de evaluación. (TRAT = tratamiento, T1 = 0+100, T2 = 25+75, T3 = 50+50, T4 = 75+25 y T5 = 100+0 porcentaje de peat moss y biosólido, respectivamente, dds = días después de siembra, ND = no disponible).

TRAT	TCC, g.planta ⁻¹ .d ⁻¹					
	13 dds	18 dds	23 dds	28 dds	33 dds	38 dds
T1	0.0013 B	0.0013 B	0.0015 D	0.0016 B	ND	ND
T2	0.0026 B	0.0031 B	0.0038 CD	0.0051 B	ND	ND
T3	0.0054 AB	0.0075 B	0.0111 BC	0.0171 B	ND	ND
T4	0.0062 AB	0.0108 B	0.0186 B	0.0323 A B	0.0561	0.0973
T5	0.0227 A	0.0327 A	0.0528 A	0.0772 A	ND	ND

Tasa relativa de crecimiento. Los análisis de varianza para cada una de las fechas de muestreo detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre tratamientos. En el Tabla 9 se muestran las comparaciones de medias con Tukey ($P \leq 0.01$) y se pudo observar, que al inicio la TRC fue alta pero, esta eficiencia disminuyó a través del tiempo. Así, valores de $0.1916 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ se alcanzan al inicio de las evaluaciones hasta caer, a los 28 dds, a un valor de $0.096 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$. En cambio el tratamiento 4 mantiene su valor de TRC casi constante hasta los 38 dds.

Tabla 9. Tasa relativa de crecimiento (TRC) en plántulas de maíz por efecto de cinco mezclas de biosólido mas peat moss en seis fechas de evaluación. (TRAT = tratamiento, T1 = 0+100, T2 = 25+75, T3 = 50+50, T4 =75+25 y T5 = 100+0 porcentaje de peat moss y biosólido, respectivamente, dds = días después de siembra).

TRAT	TRC, $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$											
	13 dds		18 dds		23 dds		28 dds		33 dds		38 dds	
T1	0.0166	B	0.0161	B	0.0159	C	0.0158	B	ND	ND		
T2	0.0364	B	0.0361	AB	0.0359	BC	0.0359	AB	ND	ND		
T3	0.0853	AB	0.0792	AB	0.0771	AB	0.0753	AB	ND	ND		
T4	0.1099	AB	0.1098	AB	0.1097	A	0.1097	A	0.1092	0.1075		
T5	0.1916	A	0.1384	A	0.1141	A	0.0960	A	ND	ND		

Tasa de asimilación neta.

Los resultados de los análisis para cada una de las fechas de muestreo, detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre tratamientos, la comparación de medias se muestra en el Tabla 10. Este es uno de los índices que más fueron afectados por la aplicación de biosólidos. Así se observan dos tendencias, una decreciente de los tratamientos 1, 2, 3 y 5 y otra ascendente del tratamiento 4. El tratamiento 5 inicia con valor de TAN relativamente alto ($0.0015 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) y, al momento que la planta esta lista para el trasplante, termina con valor tan bajo como $0.0007 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En cambio, el tratamiento 4 inicia con valor de 0.0006 y termina con $0.0016 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

Tabla 10. Tasa de asimilación neta (TAN) en plántulas de maíz por efecto de cinco mezclas de biosólido mas peat moss en seis fechas de evaluación. (TRAT = tratamiento, T1 = 0+100, T2 = 25+75, T3 = 50+50, T4 = 75+25 y T5 = 100+0 porcentaje de peat moss y biosólido, respectivamente, dds = días después de siembra).

TRAT	TAN, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$					
	13 dds	18 dds	23 dds	28 dds	33 dds	38 dds
T1	0.0003 B	0.0002 B	0.0001 C	0.0001 B	ND	ND
T2	0.0005 B	0.0004 AB	0.0003 BC	0.0002 AB	ND	ND
T3	0.0009 AB	0.0007 AB	0.0005 AB	0.0005 AB	ND	ND
T4	0.0006 AB	0.0005 AB	0.0007 A	0.0008 A	0.0011	0.0016
T5	0.0015 A	0.0009 A	0.0007 A	0.0006 AB	ND	ND

Tasa relativa de crecimiento foliar.

Los resultados del análisis para cada una de las fechas de muestreo, indican diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre tratamientos y las comparaciones de medias se muestran en la Tabla 11. Al considerar que la planta primero tiene que construir “la fábrica” de fotoasimilados, el índice de TRCF es uno de los más importantes e interesan valores altos y sostenidos. El tratamiento cinco es el que logra esto, y por tanto el uso de biosólido como sustrato retrasa la formación de follaje. El tratamiento 5 con solo peat moss como sustrato inició con valores altos de TRCF ($0.1815 \text{ cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) hasta disminuir a valores de 0.078.

Tabla 11. Tasa relativa de crecimiento foliar (TRCF) en plántulas de maíz por efecto de cinco mezclas de biosólido mas peat moss en seis fechas de evaluación. (TRAT = tratamiento, T1 = 0+100, T2 = 25+75, T3 = 50+50, T4 = 75+25 y T5 = 100+0 porcentaje de peat moss y biosólido, respectivamente, dds = días después de siembra).

TRAT	TRCF, $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$					
	13 dds	18 dds	23 dds	28 dds	33 dds	38 dds
T1	0.0981 B	0.0849 B	0.0737 C	0.0631 AB	ND	ND
T2	0.1076 B	0.0925 B	0.0846 BC	0.0803 AB	ND	ND
T3	0.1393 AB	0.1248 AB	0.1136 AB	0.1050 A	ND	ND
T4	0.1339 AB	0.0878 B	0.0635 C	0.0533 B	0.0493	0.0479
T5	0.1815 A	0.1660 A	0.1279 A	0.0780 AB	ND	ND

DISCUSIÓN

a) Caracterización de los lodos por análisis CRETIB y NOM 004.

De acuerdo con los resultados del análisis CRETIB, que se presentan en la Tabla 1, se observó que no sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en la norma citada, por lo que el residuo a juicio de la autoridad podría ser considerado, manejado y dispuesto como no peligroso. De los resultados al aplicar la norma NOM-004-SEMARNAT-2002 en cuanto a metales pesados (Tabla 2), se deduce que los lodos de la Embotelladora El Carmen cumplen con los requisitos planteados, y pueden ser clasificados y utilizados como biosólidos de calidad buena; es decir, que su contenido de metales pesados no rebasa, en ningún elemento, los valores mínimos permisibles en la norma citada, pero por su contenido de plomo se clasifica como tal. Por otra parte, por su contenido del indicador bacteriológico de contaminación (Tabla 3), los residuos se pueden clasificar como de Clase C al no rebasar los valores mínimos permisibles de coliformes fecales, salmonella y huevos de helminto. Por tanto, este material se puede usar con la seguridad de que no causará problemas a la salud humana.

b) Caracterización agronómica

b.1 Fertilidad del residuo. Los valores altos de los elementos analizados significa que el biosólido al ser aplicado para uso en la agricultura puede aportar nutrientes en cantidades considerables para las plantas y puede implicar ahorro económico al usar menos fertilizantes sin afectar el buen funcionamiento del vegetal.

b.2 Características físicas De acuerdo a las características físicas mostradas en la Tabla 4, el biosólido se clasifica de textura arenosa, alta capacidad para almacenar agua y dejarla disponible para la planta y con densidad aparente muy baja lo que implica alta porosidad. Es decir, es un residuo para uso agrícola que posiblemente, no presente problemas para el desarrollo de las plantas.

b.3 Diagnóstico de salinidad y sodicidad. Al considerar este diagnóstico cuyos resultados se presentan en la Tabla 5, se detectaron problemas en el biosólido en estudio. Así, la CE con valor de $5.45 \text{ dS}\cdot\text{cm}^{-1}$ y el pH con valor de 8.4, parecen ser los problemas más serios que tiene el biosólido aunque, también hay que considerar que tiene problemas de sodio. Si se quiere utilizar éste residuo en la agricultura, es necesario eliminar o al menos minimizar los problemas citados.

De acuerdo a los resultados de la caracterización agronómica se puede concluir que el biosólido presenta buenas características como: alto contenido de nutrientes, alta disponibilidad de agua y alto contenido de MO. También,

presenta algunos problemas como son: alto contenido de sodio, valor elevado de pH y alto valor de CE por lo tanto, presenta problemas de alcalinidad y salinidad.

Corrección de problemas.

Ensayos 1 y 2. En la Tabla 6 se observó que al aplicar ácido fosfórico 1.0 M se logró reducir 1.72 unidades en el valor original del pH con lo cual, se tienen mejores condiciones para el desarrollo de las plantas. Al aplicar 1.5 M de ácido fosfórico se redujo el pH hasta un valor de 4.28, éste valor hace al residuo ácido y no apto para el desarrollo normal de las plantas. En el ensayo 2 se logró reducir el valor de CE y el tratamiento donde se aplicó el desalinizante comercial Biodesal en proporción de 3 ml·L⁻¹ de agua, fue el que mayor redujo el valor de CE al alcanzar 1.68 dS·cm⁻¹. En base a los valores finales de pH y CE alcanzados en el biosólido, se consideran eliminados los problemas de alcalinidad y salinidad que presentaba el biosólido de la Embotelladora El Carmen.

Ensayo 3. De la Tabla 7 se desprende que el mejor tratamiento para corregir el pH y la CE resultó ser donde se aplicó 1.25 M de ácido fosfórico + 3 ml de biodesal al alcanzar valores de 6.46 y 1.33, respectivamente. Estos resultados indican que el problema de alcalinidad y salinidad está resuelto y por tanto, el biosólido se puede utilizar en la agricultura.

Prueba preliminar. El retraso de la emergencia en los tratamientos donde se aplicó biosólido es probable se deba a problemas de estrés hídrico causado por la alta porosidad que posee este tipo de sustrato. Esto, en concordancia con Ansorena (1994) al citar que aún y cuando las causas de la reducción del crecimiento radicular no están claras, es evidente que la porosidad expresada por la densidad aparente es un factor importante en el crecimiento de la raíz. También, el retraso de la germinación y la reducción del crecimiento radicular con el uso del biosólido se puede deber a la acumulación de CO₂ por las condiciones de mala aireación ya que a profundidades escasas el incremento de CO₂ puede inhibir la germinación en cierto grado y disminuir la tasa de crecimiento radicular (Hartmann *et al.*, 1990).

Uso como sustrato. Materia seca y Área foliar. Los valores de materia seca reportados en este trabajo, están en concordancia con los reportados por Polanco y Ramírez (1993) y con los de Loecke *et al.* (2004) quienes, al trabajar con maíz, entre los 14 y 30 dds citaron 0.5 y 0.014 g.planta⁻¹ de materia seca y difieren con los de Weidong *et al.* (2004) al citar valores de 4.7 g.planta⁻¹. Por otra parte, el tiempo en que la planta estuvo lista para el trasplante varió entre tratamientos; así, en el tratamiento 5 estuvieron listas a los 30 dds y, en el tratamiento 4 a los 45 dds. En los tratamientos 1, 2 y 3 las plantas murieron entre los 30 y 35 dds, a causa de la nula formación de raíces posiblemente, por la alta porosidad del sustrato impartida por la cantidad usada del biosólido en estos tratamientos. En relación con la acumulación de área foliar, es de

destacar el hecho de que el tratamiento 5 superó al tratamiento 4 en la producción de superficie fotosintética aún y cuando éste último, acumuló mayor cantidad de materia seca. Por tanto, se deduce que el tratamiento 4 produce mayor cantidad de raíces; lo cual, le puede dar ventaja a estas plantas al momento del trasplante. En este trabajo se reportan valores máximos de área foliar de $130 \text{ cm}^2.\text{planta}^{-1}$ y difieren considerablemente de los reportados por Weidong con $605 \text{ cm}^2.\text{planta}^{-1}$. Estas diferencias es posible se deban a las características propias de las variedades usadas en cada ensayo.

Tasa de crecimiento del cultivo. La tendencia de este índice es ascendente y sigue el comportamiento típico del crecimiento de un vegetal y a los 38 dds el tratamiento 4 fue superior al resto de los tratamientos. Los valores aquí reportados coinciden con el valor de $0.038 \text{ g.planta}^{-1}.\text{d}^{-1}$ citado por Loecke *et al.* (2004) y difieren con el valor de $3.7 \text{ g.planta}^{-1}.\text{d}^{-1}$ citado por Smith y San José (1980).

Tasa relativa de crecimiento. En la Tabla 9 se pueden observar dos tendencias del índice TRC, una a disminuir a través del tiempo y otra a mantenerse constante durante el período evaluado. Así, los tratamientos 1, 2, 3 y 5 alcanzan valores de $0.1916 \text{ g.g}^{-1}.\text{d}^{-1}$ al inicio de las evaluaciones hasta caer, a los 28 dds, a un valor de $0.096 \text{ g.g}^{-1}.\text{d}^{-1}$. En cambio el tratamiento 4 mantiene su valor de TRC casi constante hasta los 38 dds. Por tanto este último tratamiento es más eficiente para producir materia seca a partir de la ya

existente, aunque, sus plantas tardan más tiempo en estar listas para el trasplante.

Tasa de asimilación neta. Este es uno de los índices que más fueron afectados por la aplicación de biosólidos. Así se observan dos tendencias, una decreciente de los tratamientos 1, 2, 3 y 5 y otra ascendente del tratamiento 4. Si se considera que la TAN indica la tasa de acumulación de materia seca por unidad de área foliar (Brown, 1984) entonces, el tratamiento 5 es más eficiente al inicio de las evaluaciones y al final de las mismas lo es el tratamiento 4. Los valores de TAN reportados en este trabajo, son similares a los citados por Weidong *et al.* (2004) y son muy bajos comparados con los valores reportados por Smith y San José (1980) y por Polanco y Ramírez (1993). Quizá las diferencias se deben a que estos autores sembraron directamente en campo y nosotros lo hicimos en charolas germinadoras. También, difieren de los valores reportados por Loecke *et al.* (2004) pero estos son mucho más bajos ($0.00006 \text{ g.cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$).

Tasa relativa de crecimiento foliar. Al considerar que la planta primero tiene que construir “la fábrica” de fotoasimilados, el índice de TRCF es uno de los más importantes e interesan valores altos y sostenidos. El tratamiento cinco es el que logra esto, y por tanto al usar biosólido como sustrato se retrasa la formación de follaje. El tratamiento citado con solo peat moss como sustrato inició con valores altos de TRCF ($0.1815 \text{ cm}^2.\text{cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$) hasta disminuir a valores de 0.078.

LITERATURA CITADA

- Ansorena, D. 1994. Propiedades y Caracterización de los Sustratos. Mundi-Prensa. Madrid. 172 p.
- Barrios P., J. A. 2004. Tratamiento y aplicación de lodos residuales en México. Grupo Tratamiento y Reuso del Instituto de Ingeniería UNAM. Memorias del Sexto Congreso de Químicos Farmacéuticos Biólogos. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Bontoux, L.; M. Vega; D. Papameletiou. 1999. Tratamiento de las aguas residuales urbanas en Europa: el problema de los lodos. www.jrc.es/iptsreport/vol23/spanish/ENV2S236.htm Consultado el 17/02/2004.
- Brown, R. H. 1984. Growth of the green plant. P. 153 – 174. *In*: M. B. Tesar (ed). Physiological basis of crop growth and development. ASA and CSSA, Madison, WI.
- Chichón, L. 1999. Especiación de metales pesados en lodos de aguas residuales de origen urbano y aplicación de lodos digeridos como mejoradores de suelos. Trabajo de investigación del programa de Doctorado en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Málaga. <http://www.usuarios.lycos.es/ambiental/lodos.html>. Consultado el 25/02/2005.
- Comisión Nacional del Agua. 2003. Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales. México.

- Cortés C., E. 2003. "Fundamentos De Ingeniería Para El Tratamiento De Los Biosólidos Generados Por La Depuración De Aguas Servidas De La Región Metropolitana" Memoria Para Optar Al Título De Ingeniero Civil Químico. Universidad De Chile. Facultad De Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento De Ingeniería Química. Santiago de Chile.
- Domínguez, A. 2005. Uso de Túneles con cubiertas fotoselectivas para la producción de plántulas de hortalizas. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Flores M., J. P. 2003. Manejo y Biodegradación de Biosólidos Aplicados a la Agricultura. Ponencia presentada en la XV Semana Internacional de Agronomía de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Dgo.
- Flores M, J. P. y U. Figueroa V. 2004. Biosólidos en Suelos Agrícolas: Avances en la Investigación y Validación. Memorias del XXXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. León, Gto., México.
- Fondahl, L. 1999. Biosolids management in the western region. Biocycle July. pp. 70-74.
- Hartmann, H., D. Kester and F. Daudes. 1990. Plant Propagation, Principles and Practices. Prentice Hall. New Jersey. 647 p.
- Hernández A., L.; A. M. Gascó; J. M. Gascó; F. Guerrero. 2005. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. Bioresource Technology. 96: 125-131.

- Hernández D., J. 2003. Crecimiento y desarrollo del cilantro *Coriandrum sativum* L. por efecto del fotoperiodo y la temperatura y su control con fitoreguladores. Tesis Doctoral, FAUANL. Marín N. L., México. 172 p.
- Jurado G., P; L. M. Luna; H. R. Barretero. 2004. Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos, en pastizales áridos y semiáridos. Revista Técnica Pecuaria Mexicana. 42 (3): 379-395
- Kämpf, A. y M. H. Fermino. 2000. Sustrato para Plantas: A base da produção vegetal em recipientes. Genesis. Porto Alegre, Brasil. 312 p.
- López, F.; Juana I; G. M. Navarro; C. S. González. 2000. Tratamiento De Descontaminación De Materia Orgánica Residual: Límites Alcanzados En Metales Pesados. Edafología. Volumen 7-3. Septiembre 2000. Pág. 151-157
- Loecke, T. D.; M. Liebman; C. A. Cambardella; T. L. Richard. 2004. Corn growth responses to composted and fresh solid swine manures. Crop Sci. 44: 177 – 184.
- Mantovi, P.; G. Baldonib; G. Toderib. 2005. Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop. Water Research. 2005. Artículo en prensa.
- Montes R., G.; S. Jiménez; H. Solís G. 2005. Lodos Residuales Compostados: Una Alternativa de Sustrato para la Producción de Planta de *Agave durangensis*. Revista Agrofaz. 5 (1): 683-688.
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental.- Lodos y Biosólidos. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de agosto de 2003.

- Polanco L., D.; R. Ramírez. 1993. Análisis de crecimiento de dos variedades de maíz bajo la influencia de déficit de oxígeno en el suelo. *Agronomía tropical*, 43 (5-6): 253 – 266.
- Rodríguez, M., A. 2004. Efectos de los biosólidos en un agroecosistema degradado. Tesis. Escuela de Ingeniería Ambiental BUAP. México. www.tesiteca.buap.mx . Consultado el 11 Junio del 2005.
- Santiago, E. 2000. Apuntes del Curso: Tratamiento De Aguas Residuales. Especialización en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Saltillo.
- Smith, A.; J. J. San José. 1980. Productividad del maíz (*Zea mays* L.) en las condiciones climáticas de los llanos Altos Centrales de Venezuela II. Crecimiento del híbrido Obregón sembrado en la temporada seca. *Agronomía Tropical*, 29 (5): 439 – 451.
- Smith, E. 1996. *Agricultural recycling of sewage sludge and the environment*, Cab. International.
- Uribe M., H. R.; H. G. Orozco; S. N. Chávez; V. M. Espino. 2002. Factibilidad Económica Del Uso De Biosólidos En El Cultivo De Maíz Forrajero. Memorias del XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún México, 27 al 31 de octubre del 2002.
- U.S. Environment Protection Agency (EPA). 1999. Biosolids generation, use, and disposal in the United States. EPA530-R-99-009.
- Weidong, L.; M. Tollenaar; G. Stewart; W. Deen. 2004. Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence. *Crop Sci.* 44: 847 – 954.

Zamora, F.; E. Salcedo; A. Aguayo. 1999. Efecto de la aplicación de lodos residuales como abono orgánico en el cultivo de maíz . Memoria del VIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería y IV congreso Latinoamericano de Biotecnología y Bioingeniería. Huatulco, Oaxaca, México. 632 pp.

RELACION DE TABLAS Y FIGURAS EN ESPAÑOL

Tabla 1. Resultado de Análisis CRETIB, realizado a los lodos de la Embotelladora el Carmen.

Tabla 2. Resultados de contaminantes según el análisis realizado a los lodos de la Embotelladora El Carmen, de acuerdo con la NOM 004-SEMARNAT-2002.

Tabla 3. Clasificación de lodos por su contenido de coliformes fecales, patógenos y parásitos de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Tabla 4. Resultados de la caracterización Agronómica por fertilidad y física de los biosólidos generados en la Embotelladora El Carmen.

Tabla 5. Resultados del diagnóstico de salinidad y sodicidad en extracto de saturación de los biosólidos generados en la Embotelladora el Carmen.

Tabla 6. Corrección de pH con ácido fosfórico y salinidad (CE) con biodesal, en muestras de biosólidos de la empresa Embotelladora El Carmen. Los valores son promedio de cinco repeticiones

Tabla 7. Corrección de pH y salinidad en muestras de biosólidos de la empresa Embotelladora El Carmen. Los valores son promedio de cinco repeticiones.

Tabla 8. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en plántulas de maíz por efecto de cinco mezclas de biosólido mas peat moss en seis fechas de evaluación.

Tabla 9. Tasa relativa de crecimiento (TRC) en plántulas de maíz por efecto de cinco mezclas de biosólido mas peat moss en seis fechas de evaluación.

Tabla 10. Tasa de asimilación neta (TAN) en plántulas de maíz por efecto de cinco mezclas de biosólido mas peat moss en seis fechas de evaluación.

Tabla 11. Tasa relativa de crecimiento foliar (TRCF) en plántulas de maíz por efecto de cinco mezclas de biosólido mas peat moss en seis fechas de evaluación.

Figura 1. Efectos en la germinación de maíz (a) y de sandía (b) del biosólido y peat moss en diferentes mezclas

Figura 2. Acumulación de materia seca y producción de área foliar en maíz por efecto de diferentes mezclas de sustrato. 1 = 0+100, 2 = 25+75, 3 = 50+50, 4 = 75+25 y 5 = 100+0 porcentaje de peat moss y biosólido, respectivamente

RELACION DE TABLAS Y FIGURAS EN INGLÉS

Table 1. The analysis CRETIB result, realized to the sludge of the Embotelladora El Carmen.

Table 2. Contaminants results according to the realized analysis to the sludge of the Embotelladora El Carmen, according to her NOM 004-SEMARNAT-2002.

Table 3. The sludge classification for his contents of faecal coliformes, pathogenic and parasites according to her NOM-004-SEMARNAT-2002.

Table 4. Results of the agronomic characterization for fertility and physics of the generated biosolids in the Embotelladora El Carmen.

Table 5. Results of the diagnosis of salinity and sodicidad in juice of saturation of the generated biosolids in the Embotelladora El Carmen.

Table 6. Correction of pH with phosphorous acid and salinity (C.E) with biodesal, in biosolids signs of the company Embotelladora El Carmen. The valuables are average of five repetitions.

Table 7. Correction of pH and salinity in signs of biosolids of the company Embotelladora El Carmen. The valuables are average of five repetitions.

Table 8. Growth rate of the cultivation (TCC), in seedlings of corn for effect of five mixtures of biosolid and peat moss in six dates of evaluation.

Table 9. Rate relative of growth (TRC), in seedlings of corn for effect of five mixtures of biosolid and peat moss in six dates of evaluation.

Table 10. Rate assimilation net (TAN), in seedlings of corn for effect of five mixtures of biosolid and peat moss in six dates of evaluation.

Table 11. Rate relative growth to foliate (TRCF) in seedlings of corn for effect of five mixtures of biosolid and peat moss in six dates of evaluation.

Figure 1. Effects in the germination of corn (a) and watermelon (b) of biosolid and peat moss in different mixtures.

Figure 2. Dry matter accumulation and the area production to foliate in corn for effect of different substratum mixtures. 1 = 0+100, 2 = 25+75, 3 = 50+50, 4 = 75+25, 5= 100+0 peat moss and biosolid percentage, respectively.

CONCLUSIONES

Una vez caracterizados mediante análisis CRETIB y agronómicamente se concluye que los lodos generados en la “Embotelladora El Carmen” cumple con los requerimientos de la norma respectiva y puede ser utilizado de forma segura en la agricultura como biosólido. Además puede aportar nutrientes en cantidades considerables para las plantas y puede implicar ahorro económico al usar menos fertilizantes y sustratos comerciales sin afectar el buen funcionamiento del vegetal.

También, presenta algunos problemas como valor elevado de pH y de CE, mismas que mediante pruebas sencillas pueden ser corregidos. Presenta además valores altos de sodio, el cual se recomienda sean corregidos para obtener mayores resultados en el uso futuro del biosólido.

Con respecto a su uso como sustrato, una vez realizado ensayos con maíz (*Zea mays* L.), al considerar la materia seca, el área foliar, la TCC, la TRC, la TAN y la TRCF se concluye que es posible producir trasplantes al mezclar el biosólido en cantidad menor a 25 %.

BIBLIOGRAFIA

- Barrios P., J. A. **2004**. Tratamiento y aplicación de lodos residuales en México. Grupo Tratamiento y Reuso del Instituto de Ingeniería UNAM. Memorias del Sexto Congreso de Químicos Farmacéuticos Biólogos. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Bontoux, L.; M. Vega; D. Papameletiou. 1999. Tratamiento de las aguas residuales urbanas en Europa: el problema de los lodos. www.jrc.es/iptsreport/vol23/spanish/ENV2S236.htm Consultado el 17/02/2004.
- Chichón, L. 1999. Especiación de metales pesados en lodos de aguas residuales de origen urbano y aplicación de lodos digeridos como mejoradores de suelos. Trabajo de investigación del programa de Doctorado en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Málaga. <http://www.usuarios.lycos.es/ambiental/lodos.html>. Consultado el 25/02/2005.
- Comisión Nacional del Agua. **2003**. Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales. México.
- Cortés C., E. **2003**. “Fundamentos De Ingeniería Para El Tratamiento De Los Biosólidos Generados Por La Depuración De Aguas Servidas De La Región Metropolitana” Memoria Para Optar Al Título De Ingeniero Civil Químico. Universidad De Chile. Facultad De Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento De Ingeniería Química. Santiago de Chile.
- Domínguez, A. **2005**. Uso de Túneles con cubiertas fotoselectivas para la producción de plántulas de hortalizas. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Flores M., J. P. **2003**. Manejo y Biodegradación de Biosólidos Aplicados a la Agricultura. Ponencia presentada en la XV Semana Internacional de Agronomía de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Dgo.
- Flores M, J. P. y U. Figueroa V. 2004. Biosólidos en Suelos Agrícolas: Avances en la Investigación y Validación. Memorias del XXXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. León, Gto., México.

- Fondahl, L. 1999. Biosolids management in the western region. Biocycle July. pp. 70-74.
- Hernández A., L.; A. M. Gascó; J. M. Gascó; F. Guerrero. 2005. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. Bioresource Technology. 96: 125-131.
- Jurado G., P; L. M. Luna; H. R. Barretero. 2004. Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos, en pastizales áridos y semiáridos. Revista Técnica Pecuaria Mexicana. 42 (3): 379-395
- López, F.; Juana I; G. M. Navarro; C. S. González. 2000. Tratamiento De Descontaminación De Materia Orgánica Residual: Límites Alcanzados En Metales Pesados. Edafología. Volumen 7-3. Septiembre 2000. pág 151-157
- Mantovi, P.; G. Baldonib; G. Toderib. 2005. Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop. Water Research. 2005. Artículo en prensa.
- Montes R., G.; S. Jiménez; H. Solís G. 2005. Lodos Residuales Compostados: Una Alternativa de Sustrato para la Producción de Planta de *Agave durangensis*. Revista Agrofaz. 5 (1): 683-688.
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental.- Lodos y Biosólidos. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de agosto de 2003.
- Rodríguez, M.; Taboada, M. A. y Lavado, R. 2003. ¿El Tratamiento de digestión de biosólidos reduce el riesgo de acumulación de elementos potencialmente tóxicos en maíz?. Memorias del XV Congreso De Ingeniería Sanitaria y Ambiental Aidis – Chile. Concepción, Chile.
- Rodríguez, M., A. 2004. Efectos de los biosólidos en un agroecosistema degradado. Tesis. Escuela de Ingeniería Ambiental BUAP. México. www.tesiteca.buap.mx . Consultado el 11 Junio del 2005.
- Santiago, E. 2000. Apuntes del Curso: Tratamiento De Aguas Residuales. Especialización en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Saltillo.
- Smith, E. 1996. Agricultural recycling of sewage sludge and the environment, Cab. International.
- Uribe M., H. R.; H. G. Orozco; S. N. Chávez; V. M. Espino. 2002. Factibilidad Económica Del Uso De Biosólidos En El Cultivo De Maíz Forrajero. Memorias del XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún México, 27 al 31 de octubre del 2002.

U.S. Environment Protection Agency (EPA). 1999. Biosolids generation, use, and disposal in the United States. EPA530-R-99-009.

Zamora, F.; E. Salcedo; A. Aguayo. 1999. Efecto de la aplicación de lodos residuales como abono orgánico en el cultivo de maíz . Memoria del VIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería y IV congreso Latinoamericano de Biotecnología y Bioingeniería. Huatulco, Oaxaca, México. 632 pp.