

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**“Caracterización de Biosólidos Generados en la Embotelladora
El Carmen S.A. de C.V. y Ajuste de pH y CE”**

Por:

DANIEL CHEPETLA CALDERÓN

TESIS

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

Ingeniero Agrónomo en Producción

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre de 2006

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

**“Caracterización de Biosólidos Generados en la Embotelladora
El carmen S.A de C.V Y Ajustes de pH y CE”**

**TESIS
Presentado por:**

Daniel Chepetla Calderón

**Que Somete a Consideración del H. Jurado Examinador
Como Requisito Parcial para obtener el Título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada

Presidente del jurado

Asesor

Dr. José Hernández Dávila

MC. Jesús Joaquín Morales López

Asesor

Asesor

Ing. Elyn Bacópulos Téllez

Biol. Sonia Acosta Vega

Coordinador de la División de Agronomía

MC. Arnoldo Oyervides García

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Diciembre de 2006.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme el mejor regalo que es mi vida y por cuidarme todo este tiempo que permanecí fuera de mi casa y mis seres queridos y que me dejó vivir tristezas y alegrías en esta universidad y que permanecerá siempre en mi mente y corazón.

Al Dr. José Hernández Dávila que gracias a él con sus conocimientos científicos y su asesoría hizo que saliera adelante este presente trabajo y por darme la oportunidad de trabajar con él y asesorarme.

Al M.C Jesús Joaquín Morales López a quien admiro mucho por su destacado profesionalismo, como persona y por haber permitido que participara en su proyecto de investigación además de ser paciente y comprensivo.

Al ING. Elyn Bacopulos Téllez por su gran colaboración en el presente trabajo de investigación. De todo corazón muchas gracias.

A la Biol. Sonia Acosta quien nos abrió las puertas de la embotelladora el Carmen y nos brindó su apoyo y confianza para que todo marchara bien y se lograra este trabajo.

Al M.C Sergio Amacende León al cual le estoy muy agradecido por apoyarme en mi estancia en esta universidad y ser buena persona con los que lo rodean.

A Lic. Sandra Roxana López Betancurt por su ayuda en el presente trabajo para que todo saliera bien y por el apoyo que brinda a los alumnos de producción, gracias.

A Alma Delia Acalco Juárez que gracias a ella le debo gran parte de este trabajo y la suerte de haberme puesto en manos de mis asesores, le estoy muy agradecido por el favor y su amistad.

A mis compañeros de generación y amigos Paco, Sergio, Ernesto, Rafael, Guillermo, Hugo, Jeremías, Fabiola, Layner, Roberto, Luís, Noe y Alfredo por brindarme su amistad incondicional y dejar que compartiera con ellos los momentos gratos y no tan gratos en el transcurso de la carrera. Y mis compañeros Daniela, Roxana, Carlos, Julio, Máyolo, Gerardo, José, Gil, Ever, Samuel, Raul, Jesús, Feliciano, Gustavo y todos los demás quienes siempre nos apoyábamos en clases y todos los convivíos juntos.

A mis compañeros y amigos del paraíso número 4 Alejandro Rocha (la prima), Eliseo Tepexpa (cheo), Carlos A. Velázquez (pinturas), Cesar A. Acalco (ser) y Edgar Bolaños (el señor) que más que mis amigos fueron mis carnales y juntos estuvimos en las buenas y en las malas además de hacer satiradas

juntos y reírnos mucho de situaciones graciosas, mi respeto y admiración para todos ustedes.

A mis amigos y amigas de la universidad Maribel, Olga, Alicia, Mariana, Rubí, Arturo, Alejandro, Gado, Agustín, Guanas, Carlos, Felipe, Miguel Arbez, Gleiber, Julio, Alejandro Rosas, Robert, Don Rodó, Don Sergio, Marco Tulio, gracias por todo y dejarme ser parte de sus amistades.

A mis amigos de Saltillo, Coah Edith, Miriam, Wendy, Amparo, Diana, Vero, Lupita, Lili, Cyndi, Almendra, Jonathan, Daniel y Chacho, por que siempre obtuve palabras de animación, un abrazo y un beso cuando más lo necesitaba que Dios me los bendiga.

A Cyntia Velázquez Luna por dejarme ser parte de su vida y por los momentos buenos y malos que pasamos con cariño para ti.

A mi “Alma Terra Mater” por cobijarme y darme la oportunidad de prepararme y crecer como persona útil a la sociedad y darme las armas para defenderme como profesionista.

DEDICATORIAS

A mis PADRES:

Catalina Calderón Barrera y Pedro Chepetla Candanosa

A quien le estoy eternamente agradecido por todo su amor y guiarme por el camino del bien y que con todo sacrificio hicieron que saliera adelante para culminar mi carrera, gracias por todo, los amo y que dios me los conserve más tiempo y me los cuide mucho; esto es para ustedes.

A mis HERMANOS:

Karina Chepetla Calderón y Víctor Hugo Chepetla Calderón

Por su amor, apoyo incondicional y que siempre estarán conmigo en las buenas y las malas, los amo mucho y que Dios los cuide y bendiga mucho.

A mis ABUELOS:

Trinidad Barrera Bonilla y Juan Calderón Salgado (+)

Ana Candanoza Tlalapango y Daniel Chepetla Galicia (+)

Con mucho cariño para ustedes mis viejitos.

A mis TIOS:

María de la Paz, Margarita, Teresa, Gorgonio, Francisco, Everardo, Pedro, Ricardo, Lino, Bulmaro, Luisa, Cele, Fili, Agustín, José, Julio, Pedro, Pablo (+), Alejo (+).

Quienes siempre me apoyaron y creyeron en mí y por todo su cariño.

A mis PRIMOS:

Yuridiana, Brisia, Vanesa, Blanca, Maria Félix, Lucí, Alma, Cleme, Mini, Silvia, Claudia, Vianey, Lupe, Nancy, Juan Manuel, Marco Antonio, Seno, Pablo, Juan José, Joel, Oscar, Enrique, Javier, Delfino, Lolo, Ecxon, Arturo.

A quienes aprecio mucho y siempre están para escucharme y apoyarme.

A mis SOBRINOS:

Sandra, Brenda, Dinora, Eli, Nata, Teresita, Chavalita, Mario, Juan Carlos, Fernando, Fráncico.

A quienes los quiero mucho.

INDICE DE CONTENIDO

	PÁG.
INTRODUCCIÓN.....	2
OBJETIVOS.....	3
HIPÓTESIS.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Aplicación de biosólidos a la agricultura.....	4
Principales características que presentan los biosólidos.....	5
Biosólidos y la legislación.....	7
MATERIALES Y METODOS.....	11
Ubicación del experimento.....	11
Caracterización de los lodos por análisis CRETIB Y NOM-004-SEMARNAT-2002.....	12
Caracterización agronómica.....	13
Corrección de problemas.....	15
Caracterización de mezclas (peat moss + biosólido).....	18
RESULTADOS.....	19
Primera fase: Caracterización de los lodos por análisis CRETIB Y NOM-004-SEMARNAT-2002.....	19
Segunda fase: Caracterización agronómica.....	21
Tercera fase: Corrección de problemas.....	24
Cuarta fase: Caracterización de mezclas (peat moss + biosólido).....	26
DISCUSIÓN.....	29

Caracterización de los lodos por análisis CRETIB Y NOM-004- SEMARNAT-2002.....	29
Caracterización agronómica.....	30
Corrección de problemas.....	31
Caracterización de mezclas (peat moss + biosólido).....	32
CONCLUSIONES.....	33
BIBLIOGRAFÍA.....	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de lodos de acuerdo al CRETIB	8
Cuadro 2. Clasificación de lodos de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002 en base a su contenido de metales.....	10
Cuadro 3. Clasificación de lodos de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002 en base a su contenido de microorganismos.....	10
Cuadro 4. Acomodo de tratamientos con combinaciones de ácido fosfórico y desalinizante biodesal en diferentes dosis.....	17
Cuadro 5. Resultado de análisis CRETIB, realizado a los lodos de la Embotelladora El Carmen S.A. de C. V.....	19
Cuadro 6. Resultados obtenidos del análisis realizado a los lodos de la Embotelladora El Carmen S. A. De C.V.....	20
Cuadro 7. Resultados obtenidos del análisis por agentes patógenos realizado a los lodos de la Embotelladora El Carmen S. A. De C.V.....	21
Cuadro 8. Resultados obtenidos de la caracterización agronómica de los biosólidos generados en la Embotelladora El Carmen S.A. de C.V.....	22
Cuadro 9. Resultados obtenidos de la caracterización física de los biosólidos generados en la Embotelladora El Carmen S.A.de C.V.....	23
Cuadro 10. Resultados obtenidos del diagnóstico de salinidad y sodicidad en extracto de saturación de los biosólidos generados en la Embotelladora El Carmen S.A.de C.V.....	24
Cuadro 11. Cuadro 11. Corrección de pH con ácido fosfórico y salinidad (CE) con biodesal.....	25
Cuadro 12. Corrección de pH y salinidad en muestras de biosólidos de la empresa Embotelladora El Carmen SA. de C.V.....	26

Cuadro 13. Características agronómicas de fertilidad, obtenidas en mezclas a concentraciones diferentes de peat moss y biosólidos de la Embotelladora El Carmen S.A. de C.V.....	27
Cuadro 14. Características agronómicas físicas obtenidas en mezclas a concentraciones diferentes de peat mos y biosólidos de la Embotelladora El Carmen S.A. de C.V.....	28

INTRODUCCIÓN

La acumulación de grandes cantidades de biosólidos representa un problema para la industria generadora y para la comunidad en general. Su uso actual es la de disposición final principalmente vía empresa externa contratada, la cual representa una erogación de gastos por parte de la industria generadora.

Por su parte, el uso de los biosólidos en la agricultura va en aumento, puesto que representa la opción más viable y económica; su uso presenta ventajas por las características de alto contenido de materia orgánica y de nutrientes esenciales para la producción de plantas. A su vez presenta desventajas por su contenido alto en sales y metales pesados.

Para el uso del biosólido en la agricultura, es importante primero conocer las diversas características que contiene, de esta manera conocer los factores limitantes de su uso. De la calidad del mismo dependerá el éxito de trabajos posteriores en la agricultura.

En este proyecto de investigación se pretende caracterizar los contenidos de los lodos generados por la embotelladora El Carmen S. A. de C. V., así como identificar y corregir los factores limitantes para su uso en la producción de hortalizas.

OBJETIVOS

GENERAL:

Caracterizar los lodos generados por la empresa Embotelladora El Carmen S. A. de C. V. e identificar y corregir sus factores limitantes para su uso en la producción de hortalizas.

ESPECÍFICOS:

- 1.- Caracterizar agronómicamente los lodos generados por la empresa Embotelladora El Carmen S. A. de C. V.
- 2.- Determinar la concentración de metales pesados, de los lodos generados por la empresa Embotelladora El Carmen S. A. de C. V.
- 3- Determinar y corregir los factores limitantes para su uso en la producción de hortalizas.

HIPÓTESIS:

Los lodos generados por la empresa Embotelladora El Carmen SA de CV, pueden ser clasificados y utilizados agronómicamente de acuerdo a las normas; NOM-004-SEMARNAT-2002 y NOM-052/053- SEMARNAT/94.

Los lodos de la embotelladora El Carmen S.A. de C. V., presentan algunos problemas que limitan su uso en la producción de hortalizas.

REVISIÓN DE LITERATURA

Aplicación de Biosólidos en la Agricultura

El término biosólidos proviene del método más común que se utiliza para su obtención, el cual consiste en el procesamiento biológico (digestión aeróbica y anaeróbica) de los sólidos de las aguas negras o residuales (Uribe *et al.*, 2002).

Con el uso de biosólidos en la agricultura se aprovecha la capacidad fertilizante, pero destaca principalmente por el aporte de nitrógeno, principalmente orgánico y de liberación lenta, de fósforo y micronutrientes, aparte de ser una fuente importante de materia orgánica (García, 2006).

Una forma de reciclar benéficamente los biosólidos es su utilización en la agricultura, lo que permite reducir el uso de fertilizantes químicos comerciales, ofrecer la oportunidad de proveer N a bajo costo para los cultivos y también suministrar otros nutrimentos a los suelos calcáreos del desierto como: fósforo, hierro, zinc y cobre disponibles para la planta (Fresquez *et al.*, 1990).

El uso agrícola de los biosólidos es una práctica establecida y aceptada en muchos países del mundo (Maguire *et al.*, 2000).

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).

En el estado de California, Estados Unidos de América, se utiliza en tierras agrícolas 52% de los biosólidos producidos (390 000 ton por año), mientras que en Arizona se utiliza 86% de lo que produce (56 000 ton por año) (Fondahl, 1999).

En estudio realizado en el 2001 en Delicias, Chihuahua, México, se encontró que la producción de forraje verde, materia seca, grano y olote de maíz forrajero obtenida con fertilización química siempre fue menor, aunque estadísticamente similar a la obtenida con la aplicación de 10 hasta 40 t ha⁻¹ de biosólidos (Uribe *et al.*, 2002).

Principales características que presentan los biosólidos o lodos.

Tester (1990) menciona que la aplicación superficial de biosólidos da como resultado un mejoramiento en las características físicas y químicas de los suelos, cuyo enriquecimiento nutrimental satisface parcialmente los requerimientos de fertilización.

La aplicación de biosólidos en suelos agrícolas se basa en satisfacer los requerimientos de N del cultivo para prevenir la sobre aplicación de metales pesados no esenciales, lo que ha mostrado ser una forma efectiva de reutilizar benéficamente los productos residuales (Sullivan *et al.*, 1998).

El contenido de los metales pesados pueden ser un factor limitante para la aplicación de biosólidos en suelos agrícolas (Logan ,1997).

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 alimentaria 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.

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) (cuadros 1,2 y 3) (Flores, 2003).

Cuadro 1. Clasificación de lodos de acuerdo al CRETIB

CARACT. QUE CLASIFICAN A UN RESIDUO COMO PELIGROSO	
Corrosividad	Es un líquido acuoso y presenta un pH menor o igual a 2.0 o mayor o igual 12.5. Es un sólido que cuando se mezcla con agua destilada presenta un pH menor o igual a 2.0 o mayor o igual a 12.5.
Reactividad	Es un líquido o sólido que después de ponerse en contacto con el aire se inflama en un tiempo menor a cinco minutos sin que exista una fuente externa de ignición. Cuando se pone en contacto con agua reacciona espontáneamente y genera gases inflamables en una cantidad mayor de 1 litro por kg del residuo por hora. Posee en su constitución cianuros o sulfuros liberables, que cuando se expone a condiciones ácidas genera gases en cantidades mayores a 250 mg de ácido cianhídrico por kg de residuo o 500 mg de ácido sulfhídrico por kg de residuo.
Explosividad	Cuando es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva solo o en presencia de una fuente de energía o si es calentado

	bajo confinamiento.
Toxicidad Ambiental	Obtenido mediante el procedimiento establecido en la NOM-053-SEMARNAT-1993, contienen cualquiera de los constituyentes tóxicos como: Constituyentes inorgánicos (metales), constituyentes orgánicos semivolátiles y constituyentes orgánicos volátiles.
Inflamabilidad	Es un líquido o una mezcla de líquido que contienen sólidos en solución o suspensión que tiene un punto de inflamación inferior a 60.5 °C, medido en copa cerrada, quedando excluida las soluciones acuosas que contengan un porcentaje de alcohol, en volumen, menor a 24%. Es un gas que, a 20 °C y una presión de 101.3 kpa, arde cuando se encuentra en una mezcla del 13% o menos por volumen de aire, o tienen un rango de inflamabilidad con aire de cuando menos 12% sin importar el límite inferior de inflamabilidad. Es un gas oxidante que puede causar o contribuir más que el aire, a la combustión de otro material.
Biológico Infecciosa	Es biológico – infeccioso de conformidad con lo que establece la NORM-087-SEMARNAT-SSA1-2002

CARACT. = CARACTERISTICAS

Cuadro 2. Clasificación de lodos de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002 en base a su contenido de metales.

CONTAMINANTE (determinados en forma total)	EXCELENTES	BUENOS
	mg/kg	mg/kg
	en base seca	en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Niquel	420	420
Zinc	2800	7500

Cuadro 3. Clasificación de lodos de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002 en base a su contenido de microorganismos.

CLASE	INDICADOR	PATOGENOS	PARÁSITOS
	BACTERIOLÓGICO DE CONTAMINACIÓN		
	coliformes fecales NMP/g en base seca)	(<i>Salmonella ssp.</i> NMP/g en base seca	(Huevos de Helminto/g en base seca)
A	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 1 (a)
B	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

(a) Huevo Viable

NMP Número más probable

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del experimento

El Presente trabajo se llevó a cabo en las siguientes fases:

La primera fase se llevó a cabo de acuerdo a un análisis de CRETIB, así como el cumplimiento de la NOM-004-SEMARNAT-2002 por lo cual se requirió de un laboratorio externo que contará con la acreditación vigente ante la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación).

La segunda fase se realizó en los Laboratorios de los Departamentos de Riego y Drenaje y Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada en la ex hacienda de Buenavista, a 7 Km. al Sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila. Se localiza en las coordenadas geográficas 25° 21' latitud Norte y 101° 03' longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, con una altitud de 1743 msnm.

La tercera fase, ensayos para corregir valores de pH y CE, se realizó en los laboratorios del Departamento de Suelos, así como en el laboratorio de la Embotelladora El Carmen S.A. de C.V.

La cuarta fase, donde se caracterizaron las mezclas de biosólidos con peat moss se llevó acabo en el laboratorio de Riego y Drenaje.

A. Caracterización de los lodos por análisis CRETIB y NOM-004-SEMARNAT-2002.

a.1 Análisis CRETIB

El análisis CRETIB se realizó bajo las normas 052-SEMARNAT, 053-SEMARNAT, donde menciona a los residuos sólidos y líquidos de las empresas para determinar su peligrosidad y poder decidir su manejo adecuado.

Las pruebas que se establecen son:

- Corrosidad
- Reactividad
- Explosividad
- Toxicidad
- Biológico infeccioso

Estas pruebas se pueden notar en el Cuadro 1 de acuerdo a los requerimientos que establece el CRETIB.

Una vez identificados los requerimientos del CRETIB se procedió a realizar las pruebas a los lodos de la Embotelladora El Carmen SA. de C.V en un laboratorio externo.

a.2 Clasificación por metales pesados

Ya analizado el lodo de la Embotelladora El Carmen SA. de CV. de acuerdo al cumplimiento del análisis del CRETIB, se expuso dicho lodo al cumplimiento de la NOM-004-SEMARNAT -2002, donde especifica y establece algunos límites máximos permisibles para su aprovechamiento entre ellos menciona los metales pesados que se pueden observar en el Cuadro 2.

Por lo anterior se somete el lodo a un análisis de metales pesados para verificar que dicha norma sea cumplida.

a.3 Clasificación por agentes patógenos

De acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002, establece que los lodos y biosólidos deben cumplir con los límites máximos permisibles para el contenido del indicador de contaminación, patógenos y parásitos estos se pueden observar en el Cuadro 3.

Se realizó un análisis para patógenos y parásitos, en el mismo lugar donde se llevó a cabo el análisis CRETIB y metales pesados.

B. Caracterización agronómica

b.1 Fertilidad

Se obtuvieron muestras de la Embotelladora El Carmen SA. de C.V para ser analizados en el laboratorio de suelos situado en la UAAAN, donde se estimaron los siguientes elementos:

Nitrógeno inorg., fosforo, potasio, aufre, boro, calcio, zinc, cobre, manganeso, hierro y magnesio.

b.2 Características físicas

Para la determinación de dichas características se procedió a tomar una muestra y de los lodos obtenidos de la Embotelladora El Carmen se analizo en el mismo laboratorio de suelos, tomando los siguientes elementos:

pH, Textura, Capacidad de Campo, Punto de Marchites Permenete y Densidad Aparente..

b.3 Salinidad y sodicidad

Se realizo un diagnostico de salinidad y sodicidad en extracto de saturación en el laboratorio de riego y drenaje situado en la UAAAN donde se determinaron los siguientes elementos:

CE, pH, calcio, sodio, potasio, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros .

C. Corrección de problemas

c.1 Primer ensayo: corrección del problema de pH

Uno de los principales problemas que se detectaron, fueron los valores de pH que presenta estos biosólidos, para lo cual se realizó un ensayo de la siguiente manera:

1.- Se determinó la humedad disponible del biosólido mediante el siguiente procedimiento:

Se pesaron 5 grs. de lodo y se colocaron en un crisol, se dejaron en la estufa por 24 hr a 65°C ; se determinó peso seco y peso húmedo con 3 repeticiones, lo cual arrojó que para cada bote de plástico con muestra de biosólido se requieren de 35 ml de solución para saturar la muestra.

2.- Preparación de soluciones

Se prepararon soluciones para reducir el pH utilizando el ácido fosfórico en las siguientes dosis:

T1 = Ácido fosfórico al 0.5 Molar/ litro de agua

T2 = Ácido fosfórico al 1.0 Molar/ litro de agua

T3 = Ácido fosfórico al 1.5 Molar/ litro de agua

T4 = Agua destilada

3.- Se colocaron unidades experimentales con muestras de biosólidos en vasos de plástico del número 4, con un arreglo de bloques al azar con 5 repeticiones por tratamiento.

4.- A cada unidad experimental se le aplicaron 35 ml de solución previamente preparada.

5.- Posteriormente se dejó reposar la muestra y al tercer día se tomó la lectura del pH de la siguiente manera:

- ❖ En un recipiente (vaso de gerber), se colocaron 5 gr de muestra, se le agregó agua hasta completar 50 gr, posteriormente se trasladó a un agitador magnético por un lapso de 20 minutos al término del cual se tomaron las lecturas del pH en todas las unidades experimentales.
- ❖ Se repitió el procedimiento por cinco veces, cada tercer día.

c.2 Segundo ensayo: corrección del problema de CE

1.- De acuerdo al procedimiento anterior de detección de humedad disponible se prepararon soluciones para reducir salinidad con las siguientes dosis:

T1= Desalinizante comercial Biodesal a 1 ml / litro de agua

T2 = Desalinizante comercial Biodesal a 2 ml / litro de agua

T3 = Desalinizante comercial Biodesal a 3 ml / litro de agua

T4 = Agua destilada

2.- Se colocaron unidades experimentales con muestras de biosólido en vasos de plástico del # 4, con un arreglo de bloques al azar con cinco repeticiones por tratamiento.

3.- A cada unidad experimental se le aplicaron 35 ml de solución preparada.

4.- Posteriormente se dejó reposar la muestra y al tercer día, se le tomó la lectura de CE de la siguiente manera:

- ❖ En un recipiente (vaso de gerber), se colocaron 5 gr. de muestra, se le agregó agua hasta completar 50 gr, posteriormente se traslado a un agitador magnético y se agitó por un lapso de 20 minutos, al término del cual se tomaron las lecturas de C E. Se tomaron lecturas en todas las unidades experimentales.
- ❖ Se repitió el procedimiento por cinco veces, cada tercer día.

c.3 Tercer ensayo: corrección de pH y CE

De los ensayos realizados anteriormente, se desprende que el tratamiento que mejoró el pH del biosólido fue al aplicar ácido fosfórico al 1 Molar/ litro de agua y el tratamiento con desalinizante comercial Biodesal a 3 ml/litro de agua.

El siguiente paso fue aplicar soluciones de forma conjunta, la cual será la manera en la que se aplicará en campo, obteniéndose lo siguiente:

Cuadro 4. Acomodo de tratamientos con combinaciones de ácido fosfórico y desalinizante biodesal en diferentes dosis. Saltillo, Coahuila 2005.

TRATAMIENTO	ÁCIDO FOSFÓRICO	DESALINIZANTE BIODESAL
1	0.75 M.L ⁻¹ de agua	2.5 ml.L ⁻¹ de agua
2	1.0 M.L ⁻¹ de agua	2.5 ml.L ⁻¹ de agua
3	1.25 M.L ⁻¹ de agua	2.5 ml.L ⁻¹ de agua
4	0.75 M.L ⁻¹ de agua	3 ml.L ⁻¹ de agua
5	1.0 M.L ⁻¹ de agua	3 ml.L ⁻¹ de agua
6	1.25 M.L ⁻¹ de agua	3 ml.L ⁻¹ de agua
7	0.75 M.L ⁻¹ de agua	3.5 ml.L ⁻¹ de agua
8	1.0 M.L ⁻¹ de agua	3.5 ml.L ⁻¹ de agua
9	1.25 M.L ⁻¹ de agua	3.5 ml.L ⁻¹ de agua
10	Agua destilada	Agua destilada

D. Caracterización de mezclas (peat moss + biosólido)

- a) Se procedió a realizar las mezclas correspondientes con peat moss y biosólido en las concentraciones siguientes:
 - 1. - 0 % peat moss 100 % lodos
 - 2. - 25 % peat moss 75 % lodos
 - 3. - 50 % peat moss 50 % lodos
 - 4. - 75 % peat moss 25 % lodos
- b) Con las concentraciones requeridas se realizó la preparación de las mezclas en base a volumen, tomando como medida una cubeta de 20 litros.
- c) Posteriormente se procedió a llenar las charolas con la mezcla correspondiente.
- d) Se colocaron sobre una estructura metálica, que evitó su contacto con el suelo para poder aplicar mejor los riegos.
- e) Una vez realizado el riego pesado se dejó reposar por dos días y se tomaron muestras de cada tratamiento en los cuales se determinaron las siguientes características:

1.- Fertilidad

Azufre, boro, calcio, zinc, cobre, manganeso, hierro, magnesio, nitrógeno inorgánico, fósforo, potasio.

2.-Físicas

Textura, CC, PMP, Da (g. cm^{-3}), MO, pH y carbonatos.

3.- Salinidad y Sodicidad

CE, pH, calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos, sulfatos, RAS y cloruros.

RESULTADOS

Primera fase

Caracterización de los lodos por análisis CRETIB y NOM-004-SEMARNAT-2002

Análisis CRETIB

Según el informe de los análisis CRETIB presentados por la empresa Concentrados Industriales S.A. de C.V., con acreditación ante la EMA AG-142-021/04 A-059-005/04 FRA-148-020/04, de fecha 16 de junio del 2005, realizado a los Residuos (Lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) de la Embotelladora El Carmen S.A. de C.V., de acuerdo con lo establecido en la NOM-052/053- SEMARNAT/94, el Residuo presenta las características contenidas en el Cuadro 5.

Los resultados no sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-052- SEMARNAT/93, por lo que el residuo a juicio de la autoridad podría ser considerado, manejado y dispuesto como no peligroso.

Cuadro 5. Resultado de Análisis CRETIB, realizado a los lodos de la Embotelladora El Carmen S.A. de C. V. Saltillo, Coahuila 2005

Parámetro	Resultado
Corrosivad	Negativo
Reactividad	Negativo
Explosividad	Negativo
Toxicidad	Negativo.
Inflamabilidad	No aplica por las características del

	residuo
Biológico infeccioso	No aplica

Clasificación por metales pesados

Una vez realizado el anterior análisis, los lodos fueron sometidos al cumplimiento de los requisitos planteados en la NOM-004-SEMARNAT-2002, mostrados en el Cuadro 6, la cual establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes entre ellos los metales pesados 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.

En base a la clasificación de acuerdo a su contenido de metales, podemos decir que el biosólido tratado es de calidad excelente de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Cuadro 6. Resultados obtenidos del análisis realizado a los lodos de la Embotelladora El Carmen S. A. De C.V. Saltillo, Coahuila 2005.

Parámetro	Método	Resultado	Unidades
Arsénico	NOM-004-SEMARNAT-2002	0.36	mg/kg
Cadmio	NOM-004-SEMARNAT-2002	34.55	mg/kg
Cobre	NOM-004-SEMARNAT-2002	56.91	mg/kg
Cromo	NOM-004-SEMARNAT-2002	< 46.99	mg/kg
Mercurio	NOM-004-SEMARNAT-2002	<0.183	mg/kg
Niquel	NOM-004-SEMARNAT-2002	<15.10	mg/kg
Plomo	NOM-004-SEMARNAT-2002	461.38	mg/kg
Zinc	NOM-004-SEMARNAT-2002	136.18	mg/kg

Clasificación por agentes patógenos

Otro de los requisitos planteados en la NOM-004-SEMARNAT-2002 es el límite máximo permisible de patógenos y parásitos en los lodos y biosólidos por lo cual se arrojaron los resultado que se muestran en el Cuadro 6 y por lo tanto se puede clasificar de clase C por su contenido de dichos patógenos y parásitos.

Cuadro 7. Resultados obtenidos del análisis por agentes patógenos realizado a los lodos de la Embotelladora El Carmen S. A. De C.V. Saltillo, Coahuila 2005.

Parámetro	Método	Resultado	Unidades
Coliformes fecales	NOM-004-SEMARNAT-2002	$>2400 \times 10^5$	NMP/g Base seca
Salmonella sp	NOM-004-SEMARNAT-2002	< 300	NMP/g Base seca
Huevos de Helminton	NOM-004-SEMARNAT-2002	0	Huevos / 2 de ST

Segunda Fase

Caracterización agronómica

En el mes de junio del 2005, se obtuvieron muestras de biosólido generados en la empresa Embotelladora El Carmen S.A. de C.V., las cuales fueron trasladadas al laboratorio de riego y drenaje y suelos, en donde se determinaron las siguientes características:

Fertilidad

Los 11 elementos analizados tienen valores que varían de medio a alto, excepto el potasio que presenta valor bajo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Resultados obtenidos de la caracterización agronómica de los biosólidos generados en la Embotelladora El Carmen S.A.de C.V. Saltillo, Coahuila 2005.

ELEMENTO	VALOR (ppm)	CLASIFICACION
Azufre	11.71	Medio
Boro	1.20	Medio
Calcio	1837.50	Medio
Zinc	5.32	Alto
Cobre	6.32	Muy alto
Manganeso	8.04	Medio
Hierro	30.56	Alto
Magnesio	272.5	Medio
Nitrógeno inorg	47.50	178.62 kg/ha de N disponible
Fosforo	21.81	Medio
Potasio	156.0	Bajo

Características físicas

Características físicas, 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 (Cuadro 9).

Cuadro 9. Resultados obtenidos de la caracterización Física de los biosólidos generados en la Embotelladora El Carmen S.A.de C.V. Saltillo, Coahuila 2005.

ELEMENTO	VALOR	CLASIFICACIÓN
pH en agua	8.40	Alcalino
% Arena	87.24	Franco arenoso
% Limo	5.28	
% Arcilla	7.48	
% CC	105.75	
% P M P	55.51	Alto
D. A. (g. cm ⁻³)	0.660	
% M.O.	1.92	
% Carbonatos	13.07	

Salinidad y Sodicidad

Se realizó además un diagnóstico de salinidad y sodicidad en extracto de saturación (pasta saturada), cuyos resultados se presentan en el Cuadro 10, se detectaron problemas en el biosólido en estudio. Así la CE con valor de 5.45 dS·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.

De los principales limitantes que se detectaron fue el pH y la C. E.

Cuadro 10. Resultados obtenidos del diagnóstico de salinidad y sodicidad en extracto de saturación de los biosólidos generados en la Embotelladora El Carmen S.A.de C.V Saltillo, Coahuila 2005.

ELEMENTO	UNIDADES	VALOR	CLASIFICACION
CE	mmhos/cm	5.450	Salino
p.H	meq/l	8.4	
Calcio	meq/l	12.987	Medio
Magnesio	meq/l	9.113	Medio
Sodio	meq/l	27.766	Alto
Potasio	meq/l	5.121	Alto
Carbonatos	meq/l	0.000	
Bicarbonatos	meq/l	9.440	Alto
Sulfatos	meq/l	6.805	Bajo
RAS		8.353	Sódico
Cloruros	meq/l	38.400	Alto

RAS = relación de absorción de sodio

Tercera fase

Corrección de problemas

Primer ensayo: corrección del pH

En este caso se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en el Cuadro 11, del cual se obtiene que el tratamiento en donde se aplicò ácido fosfórico al 1 M, fue el que mejor redujo el pH. Los tratamientos mostraron diferencias significativas con $P \leq 0.01$. 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.

Cuadro 11. Corrección de pH con ácido fosfórico y salinidad (CE) con biodesal. Saltillo, Coahuila 2005.

TRAT	pH		TRAT	CE (dS. 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

Segundo ensayo: corrección de CE

Los resultados obtenidos en el segundo ensayo son mostrados en el Cuadro 11 donde 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 ml·L⁻¹ de agua, fue el que mayor redujo el valor de CE al alcanzar 1.68 dS. cm⁻¹.

Tercer ensayo: corrección de pH y CE

De acuerdo como se menciona en el Cuadro 12 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.

Cuadro 12. Corrección de pH y salinidad en muestras de biosólidos de la Embotelladora El Carmen SA. de C.V .Saltillo, Coahuila 2005.

TRATAMIENTO			CE	
	pH		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

Cuarta fase

Caracterización de mezclas (peat moss + biosólido)

Fertilidad

De acuerdo al Cuadro 13. Se puede observar que conforme va disminuyendo la concentración de los biosólidos los nutrientes presentes en la mezcla se van reduciendo, es decir guardan una relación directamente proporcional.

Cuadro 13. Características agronómicas de fertilidad, obtenidas en mezclas a concentraciones diferentes de peat moss y biosólidos de la Embotelladora El Carmen S.A. de C.V. Saltillo, Coahuila 2005.

ELEMENTO	BIOSÒLIDO 100%	BIOSÓLIDO 75%	BIOSÓLIDO 50%	BIOSÒLIDO 25%
Nitrógeno inorg	43.4	23.75	22.93	2.9
Fósforo	20.58	20.34	17.38	2.9
Potasio	103	67.5	77.5	2.9
Azufre	12.73	8.09	9.44	7.49
Boro	2.62	1.15	1.16	1.18
Calcio	1,727.50	1,670	1,691	1,600
Cobre	7.2	5.06	3.22	2.9
Hierro	30.54	22.98	10.7	2.9
Manganeso	7.14	5	2.7	2.9
Magnesio	271.25	262.5	266.25	2.9
Zinc	4.9	5.16	3.65	2.9

Físicas

En general, se observó que con el uso de biosólidos en mezcla con peat moss se reduce la disponibilidad de agua para las plantas (valores menores de CC) y la Da se incrementa. Como era de esperarse, la cantidad de MO presente en la mezcla, también disminuye. En cambio, la cantidad de carbonatos presente

no parece afectarse pues sus valores son muy similares en la mezcla en estudio. (Cuadro 14)

Cuadro 14. Características agronómicas físicas obtenidas en mezclas a concentraciones diferentes de peat mos y biosólidos de la Embotelladora El Carmen S.A. de C.V. Saltillo, Coahuila 2005.

ELEMENTO	BIOSÓLIDO 100%	BIOSÓLIDO 75%	BIOSÓLIDO 50%	BIOSÓLIDO 25%
% CC	75	72.3	84	102
% P M P	39.37	37.96	44.1	53.55
Da (g. cm ⁻³)	0.655	0.698	0.655	0.563
% MO	1.7	1.83	1.78	1.83
% Carbotatos	13.76	12.84	12.26	13.53

DISCUSIÓN

Caracterización de los lodos por análisis CRETIB y NOM 004-SEMARNAT-2002.

Análisis CRETIB

De acuerdo con los resultados del análisis CRETIB, que se presentan en el Cuadro 5 los límites máximos permisibles establecidos en la norma citada, por lo que el residuo ha juicio de la autoridad podría ser considerado, manejado y dispuesto como no peligroso.

Clasificación por metales pesados

De los resultados al aplicar la norma NOM-004-SEMARNAT-2002 en cuanto a metales pesados (Cuadro 6), 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.

Clasificación por agentes patógenos

Por su contenido del indicador bacteriológico de contaminación (Cuadro 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.

Caracterización agronómica

Fertilidad

Los valores altos de los elementos analizados significan 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.

Características físicas

De acuerdo a las características físicas mostradas en el Cuadro 3, 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.

Salinidad y sodicidad

Al considerar este diagnóstico cuyos resultados se presentan en el Cuadro 7, 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.

Corrección de problema

Primer ensayo: corrección del pH

En el Cuadro 11 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, este valor hace al residuo ácido y no apto para el desarrollo normal de las plantas.

Segundo ensayo: corrección de CE

En este ensayo se logró reducir el valor de CE como se observa en el Cuadro 11 y 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 $1.68 \text{ dS} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Tercer ensayo: corrección de pH y CE

En el Cuadro 12 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.

Caracterización de mezclas (peat moss + biosólido)

Fertilidad

En el cuadro 13 se puede observar que cuando el biosólido va reduciendo su porcentaje con respecto al peat moss, la disposición de los elementos va en descendencia; se puede decir que las mezclas de peat moss + biosólido reduce sus características de fertilidad por lo tanto el biosólido generado en la Embotelladora el Carmen contiene buen porcentaje de elementos, ya que éstos para el uso en agricultura son muy aceptables.

Físicas

De acuerdo a las características físicas mostradas en el Cuadro 14 se observa que el biosólido en sus diferentes porcentajes de mezclas peat moss + biosólido no reduce dichas características como se puede notar en el pH que por lo regular se mantuvo en un pH de 8 a excepción de la mezcla 50 %, así mismo paso con la mayoría de las características como se puede observar la materia orgánica, densidad aparente , por lo tanto se puede decir que la combinación de mezcla peat moss en sus diferentes porcentajes no cambia ni reduce dichas características.

CONCLUSIONES

- ❖ De acuerdo a las normas, NOM-052/053-SEMARNAT/94, NOM-004-SEMARNAT-2002, los lodos generados en la Embotelladora el Carmen S.A de C.V cumplen con los requisitos planteados y podrán ser utilizado como biosólido en la agricultura.
- ❖ Los biosólidos en la Embotelladora el Carmen presentan problemas de alto contenido de sodio, valor elevado de pH y CE, por lo tanto presentan alcalinidad y salinidad.
- ❖ El tratamiento que mejor redujo el pH y CE en los biosólidos fue 1.25M de ácido fosfórico + 3ml de biodesal, por lo tanto este problema se pudo eliminar.
- ❖ Los biosólidos generados en la Embotelladora el Carmen S.A de C.V presentan buenas características agronómicas como: contenido de nutrientes, alta disponibilidad de agua y alto contenido de materia orgánica, aceptables para el uso en la agricultura.

BIBLIOGRAFÍA

- Fondahl, L. 1999. Biosólido management in the western region. Biocycle July pp. 70-74.
- Frezquez W., Polanco L; Vázquez A., 1990. Aprovechamiento de biosólidos en la agricultura. www.espanol.geocities.com.
- García, F., A. 2006. Uso de biosólidos en la agricultura. www.slocounty.ca.gov.
- Logan, N., O. 1997. Efectos de la aplicación de lodos de depuradoras en suelos agrícolas. www.descargas.cervantesvirtual.com.
- López F., Juana I; Navarro G., M.; González C., S. 2000. Tratamiento de Descontaminación de Materia Orgánica Residual: Límites Alcanzados en Metales Pesados. Edafología. Volumen 7-3. Septiembre 2000. pág 151-157.
- Maguire J., Lopez F; Santiago E; Hernández A. 2000. Disposición de los biosólidos. www.ecofield.com.
- 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.
- Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993. Características de los residuos peligrosos. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 22 de octubre de 1993.

Santiago, E. 2000. Apuntes del Curso: Tratamiento de Aguas Residuales. Especialización en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Saltillo.

Sullivan E., Glimour Y; Barbarik E.1998 .Desarrollo de practicas de biosólidos.www.conicyt.cl/fondef/bases/fondef/PROYECTO/01/I/D01I1034.

Tester, A. 1990. Aplicación de biosólidos como mejorador de suelos.
<http://146.83.41.79/profesor/verolagos/d01i1034/>.

Uribe, M.H., 2002. El uso de biosólidos en la agricultura. Ficha tecnológica 2002 Por sistema producto. INIFAP.

Uribe M., H. R.; 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 Internacional de ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, México.