

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**CRECIMIENTO DE PASTO BUFFEL (*Cenchrus ciliaris* L.)
EN UN SUELO CON APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS**

P O R

ESTHER SIFUENTES CISNEROS

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAH. MÉXICO

MARZO DEL 2007

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

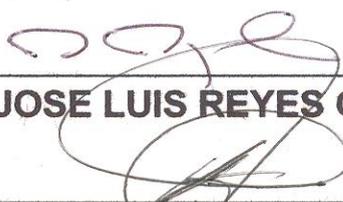
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**TESIS ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE
ASESORIA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR EL JURADO

PRESIDENTE



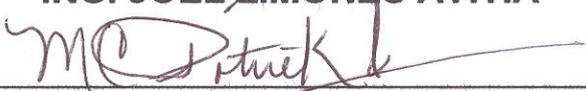
DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

VOCAL



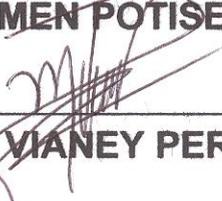
ING. JOEL LIMONES AVITIA

VOCAL

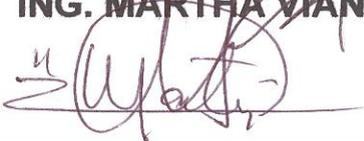


MC. MA. CARMEN POTISEK TALAVERA

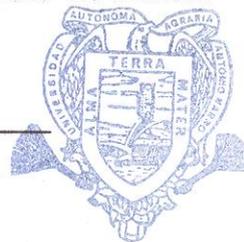
VOCAL SUPLENTE



ING. MARTHA VIANEY PERALES GARCÍA



**MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAH. MÉXICO

MARZO DEL 2007

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**CRECIMIENTO DE PASTO BUFFEL (*Cenchrus ciliaris* L.) EN UN
SUELO CON APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS**

ASESOR PRINCIPAL



DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO

ASESOR



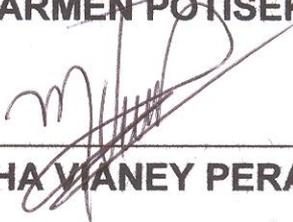
ING. JOEL LIMONES AVITIA

ASESOR



MC. MA. CARMEN POTISEK TALAVERA

ASESOR



ING. MARTHA VIANEY PERALES GARCÍA



**MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAH. MEXICO

MARZO DEL 2007

AGRADECIMIENTOS

A DIOS que es el Ser que me ilumina y me guía en el camino de la vida.

A LA UAAAN-UL por darme la oportunidad de formarme como profesionista.

A MIS ASESORES por haberme ayudado para la realización de este trabajo de tesis; en especial a la M.C. Maria del Carmen Potisek Talavera por ser tan profesional y ser ejemplo de una Gran Mujer.

AL COECyT por su apoyo económico a través de la beca tesis de Licenciatura.

MUCHAS GRACIAS

DEDICATORIAS

MUY EN ESPECIAL a mi amigo, mi novio, mi amante y esposo José Mayko de Lázaro Urbina por darme su amor y fruto de ello es nuestra hija Ashlyn Esmeralda que es mi mayor felicidad (ella y los que vengan).

A MIS PADRES la señora Rosalba Cisneros Alderete y Pascual Sifuentes Díaz por su amor, apoyo, comprensión, consejos y tantas, pero tantas cosas buenas que me han dado.

A MIS HERMANOS Moisés, Josué, Imelda y Rosy por ser parte de mi familia y llevarlos en mi corazón.

A MIS SOBRINOS Omarsito (el peyoyo) y Sarai (la gordis) por ser esos angelitos que iluminan y alegran la familia.

A MIS COMPAÑEROS de la universidad por pasarnos esos momentos tan agradables.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN	4
Objetivos	6
Hipótesis	6
REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
Las aguas residuales y su tratamiento	7
El pretratamiento.....	7
El tratamiento primario	8
El tratamiento secundario	8
El tratamiento terciario	8
Tratamiento de los lodos	8
Tratamientos físicos	9
Tratamientos químicos.....	10
Tratamientos biológicos	10
Tratamientos térmicos.....	11
Normatividad en el uso de biosólidos	11
Propiedades del suelo a considerar para la incorporación de residuos orgánicos	14
Textura.....	14
pH	14
Permeabilidad	15
Pendiente	15
Salinidad	15
Beneficios del uso agrícola de los biosólidos	16
Riesgos de contaminación por el uso inadecuado de biosólidos.....	17
Aplicación de los biosólidos en diferentes cultivos	18
Características del pasto Buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i> L.).....	20
Origen geográfico.....	20
Clasificación taxonómica.....	20
Descripción botánica.....	20
Humedad y altitud	20
Adaptación edáfica.....	21
MATERIALES Y MÉTODOS	22
Descripción del lugar del experimento	22
Origen del biosólido	22
Semilla del pasto Buffel.....	22
Agua utilizada.....	23
Aplicación del biosólido al terreno.....	23
Descripción de los tratamientos evaluados	23
Siembra del pasto	23
Medición del pasto (altura y cobertura)	24
Producción de materia seca.....	24
Análisis de la planta	25
Muestreos y análisis del suelo	25
Diseño experimental	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
CONCLUSIONES.....	33
LITERATURA CITADA.....	34

RESUMEN

Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) generan un subproducto conocido como "biosólidos" en México o como "sewage sludge" en otros países, que es un material semisólido, oscuro, con alto contenido de materia orgánica y nutrientes, que puede ser utilizado como abono en suelos deteriorados. Este producto que es resultado de un proceso de estabilización, ya sea física, química, biológica o térmica, actualmente representa un problema de tipo ambiental debido a su contenido de contaminantes como microorganismos patógenos y metales pesados. De acuerdo con la Norma 503 de la Agencia de Protección Ambiental, Estándares para la Aplicación y Disposición de Lodos de Aguas Residuales (EPA, 2000) y con la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, se requiere que los sólidos de las aguas residuales sean declarados "no peligrosos" en base al análisis CRETIB de la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993 (Características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente). En otras palabras los lodos residuales son tratados adicionalmente porque se pretende incorporarlos al suelo como fertilizante o abono orgánico, o bien, para disponerlos sin comprometer la salud pública y el medio ambiente. De acuerdo a las leyes ambientales, así como a las condiciones económicas, en la actualidad la aplicación de biosólidos a tierras agrícolas, de bosques y de pastizales es recomendable y benéfica. En este trabajo se emplearon biosólidos que se consideran "no peligrosos" en base al análisis CRETIB; para la realización del experimento se utilizó el pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) el cual fue transplantado al terreno una vez preparado con los biosólidos. Se hicieron tres repeticiones a cada uno de los tres tratamientos: Testigo (cero lodos), Biosólido bajo (20.6 Ton Ha⁻¹) y Biosólido Alto (41.2 Ton Ha⁻¹); los resultados fueron analizados estadísticamente bajo un diseño de bloques al azar haciendo una comparación de medias mediante la prueba de Tukey (P<0.05). Se hicieron tres mediciones de altura con intervalos de cada 15 días. En la primer medición el pasto tratado con la dosis baja de biosólido alcanzó la mayor

altura de 21.65 cm. En la segunda medición el pasto transplantado en el Testigo fue el de mayor crecimiento y el pasto tratado con el biosólido bajo y alto obtuvieron un crecimiento estadísticamente igual aproximadamente de 25 cm, esto debido a la cantidad de sales que aportan los biosólidos. En la tercera medición no se encontró diferencia significativa ya que la altura alcanzada en los tres tratamientos permaneció igual. En cuanto a la cobertura del pasto el tratamiento testigo y biosólido bajo tuvieron mayor porcentaje de cobertura. El pasto tratado con la dosis alta de biosólido tuvo mayor porcentaje de materia seca (86.6 %). En cuanto a los análisis fisicoquímicos del suelo al inicio y al final del experimento el pH disminuyó ligeramente con la aplicación de biosólidos y la Conductividad Eléctrica presentó modificaciones con la aplicación baja y alta de biosólido; el Nitrógeno, Fósforo, y Potasio disponibles incrementaron de manera significativa en el suelo.

Se concluye que con la aplicación controlada de biosólidos al suelo se aportan nutrientes que como el nitrógeno pueden ser aprovechados por el pasto Buffel.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico e industrial de las ciudades provoca una mayor demanda de agua y como consecuencia de esto los caudales de aguas negras se incrementan. Con el objetivo de hacer un uso más eficiente del agua y cumplir con la ley de aguas residuales, los gobiernos estatales y municipales operan Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) (Uribe *et al.*, 2004).

De acuerdo con estadísticas de la Comisión Nacional del Agua del Inventario Nacional de Plantas Municipales de Tratamiento de Aguas Residuales en el año 2004 se encontraban 1,300 en operación con un caudal instalado de 88,718.30 l/s y un caudal de operación de 64,541.94 l/s. En relación al sector industrial, cabe señalar que la Laguna cuenta actualmente con 15 parques industriales, que engloban poco más de 871 empresas demandantes de una gran cantidad de agua. Por lo tanto, las PTAR cobran cada día mayor importancia (DGDE, 2004).

Las PTAR generan un subproducto conocido como "biosólidos" en México o como "sewage sludge" en otros países, que es un material semisólido, oscuro, con alto contenido de materia orgánica y nutrientes, que puede ser utilizado como abono en suelos deteriorados (EPA, 2000; Figueroa *et al.*, 2002; Jurado *et al.*, 2004). Este producto que es resultado de un proceso de estabilización, ya sea física, química, biológica o térmica, actualmente representa un problema de tipo ambiental debido a su contenido de contaminantes como microorganismos patógenos y metales pesados.

De acuerdo con la Norma 503 de la Agencia de Protección Ambiental, Estándares para la Aplicación y Disposición de Lodos de Aguas Residuales y con la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, se requiere que los sólidos de las aguas residuales sean declarados "no peligrosos" en base al análisis CRETIB de la Norma Oficial Mexicana NOM-052-

SEMARNAT-1993 (Características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente). En otras palabras los lodos residuales son tratados adicionalmente porque se pretende incorporarlos al suelo como fertilizante o abono orgánico, o bien, para disponerlos sin comprometer la salud pública y el medio ambiente (Cardoso-Vigueros y Ramírez-Camperos, 2002).

Los biosólidos contienen un alto porcentaje de humedad, materia orgánica y nutrimentos esenciales para las plantas como Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) (EPA, 2000). 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 las plantas y también suministrar otros nutrimentos a los suelos calcáreos del desierto como: fósforo, potasio, fierro, zinc y cobre disponibles para la planta (Fresquez *et al.*, 1990; Uribe, 2004).

Las tres opciones más importantes para el uso y disposición final de biosólidos son la confinación en rellenos sanitarios, la incineración, y la reutilización en agricultura y bosques. La disposición en rellenos sanitarios y la incineración, a pesar de su viabilidad, representan un riesgo de contaminación para el suelo, las aguas subterráneas y el aire, además de que representa un desperdicio de nutrimentos, que pueden ser reutilizados en la agricultura, pastizales o bosques (Outwater *et al.*, 1994; Jurado *et al.*, 2004).

De acuerdo a las leyes ambientales, así como a las condiciones económicas, en la actualidad la aplicación de biosólidos a tierras agrícolas, de bosques y de pastizales es recomendable y benéfica (Outwater *et al.*, 1994; EPA, 1999). Aproximadamente el 47 y 49% de los lodos orgánicos se reutilizan en la agricultura de los Estados Unidos y en la Comunidad Europea (Jurado *et al.*, 2004).

Objetivos

- Evaluar el crecimiento y la producción de materia seca del pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) por efecto de la aplicación de biosólidos.
- Evaluar el aporte de nutrimentos como N, P y K al pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) por efecto de la aplicación de biosólidos.
- Comparar las propiedades fisicoquímicas del suelo para conocer sus cambios por efecto de la aplicación de los biosólidos.

Hipótesis

- Con la aplicación de biosólidos se aportan nutrimentos aprovechables para la planta.
- Las propiedades fisicoquímicas del suelo se modifican al aplicar biosólidos.

REVISIÓN DE LITERATURA

Las aguas residuales y su tratamiento

La NOM-004-SEMARNAT-2002 define a las aguas residuales como las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas. Las aguas de desecho que se generan en áreas urbanas, residenciales o comerciales, y que fueron utilizadas en operaciones de lavado, en servicios sanitarios u otro uso doméstico, son llamadas "*aguas residuales municipales*". En algunos casos, estas aguas incluyen efluentes de origen industrial con cierto grado de tratamiento, mismo que les permite descargar en el sistema de drenaje municipal (Serrano, 1997).

El objetivo de cualquier tratamiento es eliminar los componentes definidos como contaminantes, con efectos nocivos para el medio ambiente, y ajustar la calidad del agua vertida a las especificaciones legales (Rigola, 1999). El tratamiento convencional para el manejo de aguas residuales municipales comprende el tratamiento preliminar (pretratamiento), primario y secundario. El tratamiento terciario se lleva a cabo para obtener un efluente de alta calidad. Las etapas de los tratamientos se describen a continuación (Metcalf y Eddy, 1991; Metcalf y Eddy 1996; Serrano, 1997; Rigola, 1999;):

El pretratamiento

El pretratamiento de las aguas residuales se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales (madera, botellas, papel o tela) cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. En esta etapa también se retienen sólidos inorgánicos finos, arenas, piedras y arcillas.

El tratamiento primario

Involucra operaciones de sedimentación por gravedad y flotación, que remueven aproximadamente la mitad de los materiales sólidos presentes en el afluente. El material sólido orgánico e inorgánico que fue retenido es arrastrado al fondo y retirado del proceso, pues constituye el lodo primario junto con el material sobrenadante (aceites, grasas y residuos vegetales).

El tratamiento secundario

Se considera como un proceso de fermentación, en el cual una población microbiana utiliza la materia orgánica presente en el afluente como fuente de carbono y energía para su crecimiento y supervivencia. Los objetivos de esta etapa son la coagulación y la eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables, así como la estabilización de la materia orgánica extraída durante la depuración del afluente y los sólidos suspendidos que no han sido separados en la etapa de tratamiento primario.

El tratamiento terciario

Emplea la filtración con grava y carbón para la remoción de sólidos persistentes en el afluente; mientras que los procesos de membrana, como la osmosis inversa o la nanofiltración, se emplean en la eliminación de compuestos orgánicos, pesticidas y elementos traza. La desinfección se realiza comúnmente mediante cloración o radiación ultravioleta (UV).

Tratamiento de los lodos

Una vez presentados los principales sistemas de tratamiento de aguas residuales, es importante señalar que cualquiera de ellos produce "lodos" como subproducto, provenientes ya sea de sólidos originalmente presentes en el agua residual, o bien, por formación de nuevos, como resultado de la transformación de los sólidos disueltos y coloidales. Los lodos son sometidos a tratamiento por diversas razones, entre ellas la necesidad de reducir su volumen para optimizar el espacio disponible para

su disposición, mejorar las características mecánicas o mejorar sus características fisicoquímicas para su aprovechamiento posterior (Cortéz, 2003).

En estos lodos se concentran todos los contaminantes extraídos y deben ser regresados al medio ambiente sin alterar los ecosistemas. Las diferentes alternativas para el tratamiento de lodos residuales facilitan su manejo y reducen los costos derivados de la generación de este residuo (Kiely, 1999; EPA, 2000; Jiménez, 2002; Cortéz, 2003).

Las características de los tratamientos de lodos más comunes se pueden agrupar en cuatro categorías que a continuación se describen:

Tratamientos físicos

Los procesos físicos de tratamiento de lodos se dividen en aquellos que logran el espesamiento y deshidratación del lodo.

- Espesamiento

El espesamiento se emplea para concentrar el contenido sólido del lodo mediante la eliminación en parte de su fracción líquida, consiguiendo una disminución importante en su volumen. Esta operación suele llevarse a cabo mediante procedimientos físicos, que incluyen el espesamiento por gravedad, flotación, centrifugación y filtros de banda por gravedad (Kiely, 1999; Cortéz, 2003).

- Deshidratación

La deshidratación consiste en la remoción de agua del lodo tanto como sea posible, reduciendo el volumen a tratar en operaciones subsecuentes. La aplicación de esta operación puede responder a diversas razones entre ellas: disminuir sus costos de transporte, facilitar su manipulación, dejarlo en condiciones para su incineración y/o reducir las posibilidades de generar olores. Las técnicas de deshidratación se basan en operaciones como la evaporación y percolación natural, o en la aplicación de medios mecánicos como filtros, centrífugas, lechos de secado y lagunaje (Metcalf y Eddy, 1996; Kiely, 1999; Cortéz, 2003).

Tratamientos químicos

Consiste en el uso de compuestos como la cal y el cloro. La cal, que es el reactivo más común, se adiciona para aumentar el pH hasta 12 o más con un tiempo de contacto adecuado para inactivar o destruir patógenos. Existen dos formas de estabilización química: la preestabilización, en donde la cal es adicionada antes de la deshidratación, utilizándola como acondicionador acompañada de sales de aluminio y fierro; y la postestabilización, en donde la cal se añade a la pasta obtenida después del proceso de deshidratación. Para la estabilización se suele utilizar cal viva (CaO) y cal hidratada (Ca(OH)_2) (EPA, 2000; Jiménez, 2002; Cortéz, 2003).

Tratamientos biológicos

Los procesos biológicos implican la acción de microorganismos, a los cuales se les otorgan las condiciones óptimas para llevar a cabo el proceso de estabilización. Entre los procesos biológicos se encuentran la digestión anaeróbica y aeróbica, así como el compostaje (EPA, 1999; Rigola, 1999; Kiely, 1999; Jiménez, 2002):

- La digestión anaeróbica es uno de los procesos mas utilizados, en el que la degradación de la materia orgánica e inorgánica ocurre en ausencia de oxígeno y genera biogás.
- La digestión aeróbica corresponde a la estabilización de la materia orgánica mediante el suministro de aire (u oxígeno), obteniéndose como producto anhídrido carbónico (CO_2), amoníaco (NH_3) y agua (no genera biogás).
- El compostaje es un proceso en que la materia orgánica sufre una degradación biológica hasta alcanzar su estabilidad, llevándose a cabo principalmente en condiciones aerobias. El biosólido compostado de forma técnicamente correcta, genera un humus higiénico, libre de olores y de sustancias patógenas, por lo cual se puede utilizar como mejorador de suelos.

Tratamientos térmicos

Los procesos térmicos consisten en someter al lodo a temperaturas extremas que inhiban o eliminen la acción de microorganismos, además de destruir elementos dañinos, como ciertos contaminantes.

- La incineración es el proceso térmico en que se realiza una oxidación química con cantidades estequiométricas o en exceso de oxígeno. Los productos finales incluyen gases calientes de combustión (nitrógeno, CO₂, vapor de agua) y el lodo que pasa a ser ceniza. Para la incineración de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, se suelen utilizar hornos de lecho fluidizado (EPA, 2000; Kiely, 1999).
- La pasteurización consiste en un tratamiento térmico que ocurre a 70°C durante 30 minutos, permitiendo inactivar las larvas y huevos de los parásitos. Su práctica es obligatoria en Europa, sin embargo, en Estados Unidos casi no es utilizada (Cortéz, 2003).

Normatividad en el uso de biosólidos

De acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002 una vez estabilizados los lodos por los procesos antes vistos (físicos, químicos, biológicos y térmicos) por definición pasaran a ser biosólidos, materiales orgánicos ricos en nutrientes. El termino biosólido proviene del método más común que se utiliza para su obtención, el cual consiste en el procesamiento biológico (digestión aerobia y anaerobia) de los sólidos de las aguas residuales (Uribe *et al.*, 2000; Uribe *et al.*, 2003).

Las instituciones reguladoras (SEMARNAT en México y EPA en U. S. A) se encargan de monitorear y dictaminar si estos materiales están dentro de los límites permisibles para ser utilizados con fines benéficos, y así minimizar los riesgos de salud y ambientales (Uribe *et al.*, 2003).

Cuando cumplen con la NOM-052-SEMARNAT-1993 para no ser clasificados como residuos peligrosos y con la NOM-004-SEMARNAT-2002,

que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, se consideran como biosólidos y pueden utilizarse como mejorador de suelo y fertilizante orgánico en suelos agrícolas y pastizales (Cueto *et al.*, 2005; Jurado *et al.*, 2004).

De acuerdo con el contenido de metales pesados, los biosólidos se pueden clasificar como “excelentes” y “buenos”. Si la concentración de alguno de los metales es mayor que el límite máximo para ser clasificados como “buenos”, los biosólidos se consideran no aptos para usos benéficos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos

METAL	EXCELENTE mg/kg en base seca	BUENO mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002

De acuerdo con el contenido de patógenos, los biosólidos se clasifican en tres clases (Cuadro 2).

Cuadro 2. Límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en biosólidos.

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACION	PATOGENOS	PARASITOS
	Coliformes NMP/g en base	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base	Huevos de helmintos/g

	seca	seca	en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

a) Huevos de helmintos viables

NMP número más probable

Fuente: **NOM-004-SEMARNAT-2002**

Los biosólidos clase A se obtienen mediante procesos adicionales a la estabilización para reducir significativamente los patógenos; por ejemplo, la pasteurización o composteo. Cuando esta clase de biosólidos se clasifican como "excelentes" por el contenido de metales, pueden aplicarse prácticamente sin restricciones, inclusive en suelos urbanos de uso público. Los biosólidos clase B son los que comúnmente se producen en la PTAR después del proceso de estabilización; éstos junto con los de clase C pueden aplicarse en suelos agrícolas, áreas de pastizales y bosques (Cuadro 3).

Cuadro 3. Aprovechamiento de biosólidos en función de su calidad por metales y patógenos.

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación • Los establecidos para clase B y C
EXCELENTE ○ BUENO	B	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación • Los establecidos para clase C
EXCELENTE ○ BUENO	C	<ul style="list-style-type: none"> • Usos forestales • Mejoramientos de suelos • Usos agrícolas

Fuente: **NOM-004-SEMARNAT-2002**

Propiedades del suelo a considerar para la incorporación de residuos orgánicos

Es importante evaluar el suelo para conocer sus propiedades, seleccionar los sitios idóneos y así minimizar riesgos de contaminación o degradación de la calidad del suelo. Entre las propiedades del suelo a considerar están:

Textura

Se refiere a la proporción relativa de partículas minerales del suelo menores de 2 mm, y se analiza como porcentaje de arena, limo y arcilla que contiene un suelo. De acuerdo a las proporciones de arena, limo y arcilla que componen un suelo, se establecen 12 clases texturales. La textura del suelo es importante porque determina o influye en muchas otras propiedades del suelo, como son la porosidad, permeabilidad del agua, retención de agua y la adsorción de metales pesados. Los mejores suelos para aplicar residuos orgánicos son aquellos de textura media, como los suelos francos, areno-franco, arcilloso-franco y arenosos (Huddleston y Ronayne, 1990).

pH

Es una medida del grado de acidez o alcalinidad del suelo. El pH de un suelo neutro es alrededor de 7 (6.6 a 7.3); valores de pH menores de ese rango son suelos ácidos, mientras que valores superiores al rango de neutralidad se consideran alcalinos. El pH óptimo para suelos agrícolas es de ligeramente ácido a neutro (6.1 a 7.3), porque en ese rango la mayoría de los nutrientes se encuentran disponibles para el cultivo. En suelos con pH más ácido puede haber problemas con solubilidad y toxicidad por metales pesados. Por el contrario, el riesgo de toxicidad por metales pesados en suelos alcalinos es muy bajo, ya que la mayoría de ellos pasan a formas insolubles. Sin embargo, algunos nutrientes esenciales como calcio y fósforo también se precipitan volviéndose no disponibles para el cultivo (Cueto *et al.*, 2005).

Cuando los residuos orgánicos contienen metales pesados, como en el caso de biosólidos, los suelos de zonas áridas con pH alcalino son la mejor opción para utilizar este tipo de residuos. En estas condiciones los metales pesados se precipitan y permanecen insolubles, formando el pH del suelo una barrera natural a la absorción de metales por los cultivos (Assadian *et al.*, 1998).

Permeabilidad

Es la velocidad con que el agua se mueve a través del suelo. Esta característica depende de la cantidad, tamaño, forma y arreglo de los poros del suelo. Propiedades como pedregosidad, estructura, materia orgánica y capas endurecidas del suelo influyen en el grado de permeabilidad del suelo. Suelos con permeabilidad moderada a baja son mejores para recibir abonos orgánicos; deben evitarse los suelos bien drenados con alta velocidad de infiltración, ya que los compuestos solubles se perderán fácilmente (Cueto *et al.*, 2005).

Pendiente

En regiones agrícolas de riego por gravedad, la pendiente del terreno es prácticamente nula, por lo que no hay restricción en este sentido para la aplicación de abonos orgánicos. En áreas de agostadero y de temporal es importante tomar en cuenta la pendiente del terreno como criterio para aplicar abonos orgánicos (López *et al.*, 2001).

Salinidad

Otro aspecto del manejo de residuos orgánicos, especialmente de estiércoles, que debe considerarse para un uso sustentable del suelo es el control de la salinidad cuando se incorporan este tipo de residuos al suelo. El estiércol bovino contiene en promedio un 5 por ciento de sales solubles. Lo anterior significa que una dosis de 100 Ton Ha⁻¹ de estiércol incorpora también 5 Ton Ha⁻¹ de sales solubles. La conductividad eléctrica (CE) del

suelo aumenta de manera lineal al incrementar la dosis de aplicación (Vázquez *et al.*, 2001).

Una práctica recomendada para controlar la salinidad del suelo cuando se utiliza estiércol con alto contenido de sales es aplicarlo antes de la siembra, incorporarlo con rastra y aplicar un riego de anego o presiembra. Lo anterior permite lavar las sales solubles en exceso y evitar daños al cultivo (Cueto, *et al* 2005).

Beneficios del uso agrícola de los biosólidos

Son muchos los beneficios del uso responsable y seguro de los biosólidos, por lo que las instituciones reguladoras apoyan el reciclaje de estos materiales, fomentando el composteo y la aplicación agrícola (Sullivan *et al.*, 2000; Uribe *et al.*, 2003).

Al incorporar estos materiales al suelo se obtienen múltiples beneficios derivados de la composición nutrimental y de aportación de la materia orgánica al suelo (Whitford *et al.*, 1989; Jurado y Wester, 2001; Mata, 2002; Hahm y Wester, 2003; Uribe *et al.*, 2003; Jurado *et al.*, 2004; Uribe *et al.*, 2004; Cueto *et al.*, 2005):

1. La aportación de N, P y K aprovechables, pueden sustituir parcial o totalmente los fertilizantes químicos.
2. El aporte de otros elementos esenciales para las plantas como Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B, Mo y Cl.
3. El incremento de la materia orgánica al suelo, la cual a su vez tiene los siguientes beneficios:
 - Incrementa la actividad de los microorganismos en el suelo.
 - Actúa como reserva de nutrimentos, liberando paulatinamente macro y micro-nutrimentos.
 - Aporta cargas negativas a la capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC), donde puede retener nutrimentos y metales pesados que de otra manera se lixiviarían.

- Mejora la estructura del suelo al actuar como agente cementante de las partículas del suelo, formando agregados estables durante períodos de humedecimiento y secado.
- Incrementa la porosidad; la formación de agregados mejora la porosidad del suelo, aumentando la retención de agua en suelos arenosos y la permeabilidad en suelos arcillosos.

Cuando los biosólidos se utilizan racionalmente, la acumulación de metales pesados en el suelo normalmente no rebasan los límites establecidos por la EPA (Sposito *et al.*, 1982; Fresquez *et al.*, 1990; Chang *et al.*, 1992). De tal manera que cuando se aplican en pastizales, el contenido de materia orgánica en el suelo se incrementa, aún cuando se aplican los biosólidos en la superficie del suelo (Fresquez *et al.*, 1990; Uribe *et al.*, 2004).

Con la aplicación de biosólidos también se incrementa el carbono orgánico, sirviendo de fuente de energía para los microorganismos del suelo, lo cual estimula su actividad y crecimiento poblacional, que resulta en una mayor tasa de descomposición de materia orgánica y mineralización de nutrientes. Este incremento de la densidad de población microbiana también contribuye a suprimir organismos patógenos del suelo (Kinsbursky *et al.*, 1989; Uribe *et al.*, 2004).

Riesgos de contaminación por el uso inadecuado de biosólidos

Algunos de los riesgos de contaminación por el uso inadecuado de los biosólidos son:

- En regiones lluviosas o en áreas de riego no tecnificado, el uso de dosis excesivas puede contribuir a la contaminación de acuíferos subterráneos con nitratos. Este tipo de contaminación ha sido investigada desde diferentes enfoques y en diferentes cultivos

(Castellanos y Peña, 1990; Martínez *et al.*, 2001). El daño en la salud humana mas documentada por consumo de agua contaminada con nitratos es la enfermedad en niños menores de seis años conocida como metahemoglobinemia o síndrome del bebe azul. El consumo de aguas contaminadas con nitratos se ha asociado también con algunos tipos de cáncer como el gástrico y con problemas reproductivos en la mujer y el hombre (Grant *et al.*, 1996; Battaglia *et al.*, 2000).

- Algunos cultivos forrajeros pueden acumular nitratos en exceso, los cuales están asociados con una menor producción de leche y con abortos en ganado bovino (Quiroga y Cueto, 1991).
- El exceso de nitrógeno disponible para los cultivos estimula un mayor crecimiento vegetativo y succulencia de los tejidos, lo que puede provocar una mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades (Cueto *et al.*, 2005).
- En regiones donde las lluvias provocan escurrimientos superficiales, el acarreo de partículas con fósforo fijado puede contaminar cuerpos de agua superficial, como son arroyos, ríos y lagos (Gaudreau *et al.*, 2002).
- El manejo inadecuado de los biosólidos incrementa el riesgo de contaminación con metales pesados y contaminación microbiológica de suelos, plantas y seres humanos (EPA, 2000).

Aplicación de los biosólidos en diferentes cultivos

El uso de biosólidos es una práctica común para la recuperación de suelo afectados por minería en Estados Unidos y Canadá bajo normas establecidas por la EPA. En la actualidad, en Estados Unidos los biosólidos se aplican a los suelos con varios propósitos: con fines agrícolas el 36% principalmente para la producción de zacate; el 38% se envía a rellenos sanitarios; el 16% se incinera y el resto dispuesto en la superficie para otros usos (NRC, 1996).

La aplicación de los biosólidos a los diferentes cultivos es variable, y la respuesta puede ser favorable o no. La adición de este subproducto en terrenos con plantaciones forestales es muy apropiada, omitiendo recomendaciones de uso en terrenos con cultivos ligados a la cadena alimenticia humana (Robinson y Polglase, 1996). Trabajos realizados al aplicar los biosólidos durante nueve años en árboles de *Pseudotsuga*, el crecimiento de los anillos se duplicó en comparación con el crecimiento en los 20 años anteriores, sin aplicar este subproducto (WTD, 2002).

Por otra parte, al comparar la aplicación de biosólidos con la aplicación de fertilizantes químicos y con algunos otros materiales en pastizales del área de Texas, se encontró que con las aplicaciones realizadas en invierno, los rendimientos del pasto navajita fueron mayores, comparados con las aplicaciones de urea y fosfato de amonio aplicados en la misma época (Cooley, 1998).

En un pastizal degradado de zacate navajita, la aplicación superficial de biosólidos en dosis de 22 hasta 90 Ton Ha⁻¹ mostró resultados muy promisorios para la reutilización de nutrimentos en pastizales nativos, ya que se obtuvieron incrementos en el contenido de algunos macro y micronutrimentos (Fresquez *et al*, 1990).

En México evaluaron el efecto de aplicaciones de biosólidos en dosis de 15 a 20 Ton Ha⁻¹ en pastizales de pasto navajita en el estado de Jalisco. Durante el año 2003, la producción de forraje seco se incrementó de manera lineal a razón de 71 Kg de forraje por cada tonelada de biosólidos, a partir de 1,250 Kg (Jurado *et al*, 2004).

También es posible utilizar los biosólidos en jardinería siempre y cuando pasen el análisis de calidad de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002 (Potisek *et al*, 2006).

Características del pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.)

Origen geográfico

El pasto Buffel fue traído de África a los Estados Unidos y de ahí a México en la década de los cincuenta (Beltrán y Loredó, 1999).

Clasificación taxonómica

Pertenece a la familia de las gramíneas, subfamilia de las Panicoideas, género *Cenchrus* y especie *ciliaris* (Robles, 1990).

Descripción botánica

Es conocido botánicamente como *Cenchrus ciliaris* L., *Pennisetum ciliaris* (L) Link y *P. cenchroides* Rich y su nombre común en inglés es "Buffel Grass". Es una planta perenne con inflorescencia en panoja, con tallos erectos, amacollada y de raíces profundas, cuyo crecimiento es predominante durante la estación caliente del año. Presenta una altura variable entre los 15 y 120 centímetros, algunas veces rizomatoso. Produce forraje abundante de mediana a buena calidad. Esta especie comienza a nacer o retoñar al principio de la primavera, florece en el verano y fructifica en el otoño. Es un pasto para el período calido del año, comprendido entre mediados de la primavera y el otoño avanzado (Olhagaray *et al*, 2002.).

Humedad y altitud

Es recomendable para zonas áridas, semiáridas, así como tropicales y subtropicales con precipitaciones que fluctúan entre 600 y 750 mm. Una característica muy importante del pasto Buffel es la resistencia que ofrece a las sequías prolongadas, en relación con otros pastos, ya que necesita como mínimo 255 mm. de precipitación anual. En cuanto a la altitud, se recomienda se siembre hasta 1000 msnm (Robles, 1990).

Adaptación edáfica

Aun cuando el pasto Buffel exhibe mejor crecimiento en suelos profundos, de textura ligera, crece bien en muchos suelos arcillosos. Crece bien en suelos con un pH de 7 a 7.5, tiene baja tolerancia a la salinidad (Robles, 1990).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del lugar del experimento

El estudio se llevó a cabo en el campo experimental del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA INIFAP) ubicado en Km 6.5 margen derecha canal Sacramento Gómez Palacio, Durango. México. Se localiza en la Región lagunera, a los 26° de latitud norte y 104° de longitud oeste, a una altitud de 1135 msnm, con un clima continental seco, con estación de lluvias estival de junio a septiembre. La precipitación promedio anual es de 250 mm y la temperatura media anual es de 21 ° C. El período de estudio comprendió de abril-noviembre del 2005.

Origen del biosólido

Los biosólidos empleados en este experimento fueron obtenidos del proceso de tratamiento de aguas residuales municipales de la planta tratadora Club Campestre la Rosita ubicada en la Ciudad de Torreón, Coahuila. México. Estos lodos se consideran "no peligrosos" en base al análisis CRETIB que exige la NOM-004-SEMARNAT-2002 realizado el 3 de mayo del 2004 por la empresa ALS-Indequim S.A de C.V., ubicada en Lomas de los Pinos 5505 D de la colonia Antigua Estancuela en la ciudad de Monterrey, Nuevo León. El análisis microbiológico se realizó en un laboratorio de análisis microbiológico sanitario con resultados que estuvieron dentro de los límites permisibles para patógenos. Esto con la finalidad del uso seguro de los biosólidos al aplicarse en suelos agrícolas.

Semilla del pasto Buffel

La semilla fue comprada en una casa comercial del estado de Nuevo León; se selecciono este pasto ya que se adapta bien a los climas áridos del norte de México y tolera períodos prolongados de sequía.

Agua utilizada

El agua utilizada para el riego del pasto fue agua potable del CENID-RASPA-INIFAP.

Aplicación del biosólido al terreno

En el mes de Abril del año 2004 se hizo la primera aplicación del biosólido al terreno; el biosólido fue incorporado al terreno con el implemento agrícola de rastra a una profundidad aproximada de 20 cm.

La segunda aplicación del biosólido se llevo a cabo en el mes de Mayo del año 2005 realizándose de la misma manera que la primera.

Descripción de los tratamientos evaluados

Las dosis utilizadas del biosólido para la aplicación en el terreno se muestran en el Cuadro 4; la dosis de 20.6 Ton Ha⁻¹ de biosólido, corresponde a la aplicación de 100 Kg N Ha⁻¹; y la dosis de 41.2 Ton Ha⁻¹ de biosólido, es correspondiente a la aplicación de 200 Kg N Ha⁻¹.

Cuadro 4. Tratamientos evaluados

Tratamientos	Dosis
Testigo	Sin aplicación de biosólido
Biosólido bajo	20.6 Ton Ha ⁻¹
Biosólido alto	41.2 Ton Ha ⁻¹

Siembra del pasto

Las semillas fueron sembradas en bolsas negras para mantenerlas en vivero y esperar su germinación (aproximadamente un mes); posteriormente fueron transplantadas al terreno bajo su respectivo tratamiento a evaluar. Una vez hecho el transplante del pasto al campo experimental, fue necesario dar dos riegos de "auxilio" debido a que no se presentaron eventos lluviosos.

Medición del pasto (altura y cobertura)

Altura

Durante el desarrollo del experimento se realizaron tres mediciones de altura en cm, con intervalos de cada 15 días.

Cobertura

La cobertura se define como la proyección vertical hacia abajo del follaje o partes superiores de las plantas sobre el suelo, es decir es la proporción del suelo ocupado por las plantas. En este experimento se midió la cobertura basal que es el área ocupada por una planta a nivel del suelo y es la que se emplea para medir la vegetación en especies de porte bajo como los zacates o gramas (Cantú, 1990).

El método utilizado fue el del transecto, en el que se mide con una cinta métrica la distancia de intercepción de la especie vegetal en particular con una línea de hilo (transecto) que se localiza en forma aleatoria en la parcela a muestrear. La cobertura fue calculada con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Cobertura} = \frac{\text{Suma de la longitud total interceptada}}{\text{Longitud total de la línea}} \times 100$$

Producción de materia seca

La materia seca no es más que la muestra a la que se le ha extraído el agua por acción del calor, es decir el material desprovisto del agua. La materia seca esta constituida por una porción susceptible de quemarse porque contiene sustancias de carbono, o sea, la materia orgánica que es la que proporciona la energía al alimento. La otra porción de la materia seca es la porción incombustible y esta constituida por sustancias que no se pueden quemar y que quedan como residuos de cenizas cuando se quema hasta la calcinación (Cantú, 1995).

Para el secado de las muestras se utilizó una estufa Marca Felisa con control de temperatura. Las muestras fueron colocadas en bolsas de papel canela que se perforaron y se dejaron en la estufa a una temperatura de 70° C hasta la desecación completa (de dos a tres días o hasta peso constante). El porcentaje de materia seca se calcula con la siguiente fórmula:

$$\%MS = \text{peso final/peso inicial} \times 100$$

Análisis de la planta

Una vez secadas las muestras en la estufa, se molieron en un molino marca Thomas Co con el tamiz número 60, para posteriormente hacer los análisis nutrimentales de Nitrógeno Total (NT%) por digestión rápida (semimicro-Kjeldahl); Fósforo disponible (P, mg Kg⁻¹) determinado con una solución mixta de molibdato-metavanadato de amonio y Potasio disponible (K, mg Kg⁻¹) determinado por espectrofotometría de absorción atómica (Plenecassagne et al, 1997).

Muestreos y análisis del suelo

Se tomaron muestras del suelo antes de ser incorporado el biosólido, así como al finalizar el experimento con el pasto. Las muestras fueron tomadas a una profundidad de 0-30 cm tanto del Testigo, biosólido bajo y Biosólido alto, para comparar el comportamiento de algunas propiedades fisicoquímicas del suelo como pH mediante una relación 1:2 con agua; Conductividad Eléctrica, mediante una relación 1:5 con agua; Materia Orgánica, por el método Walkley y Black; Nitrógeno disponible, determinado por destilación, Fósforo disponible, determinado por el método Olsen; Potasio disponible, determinado por flamometría y Clase Textural determinado por el método de Bouyoucos (Plenecassagne et al, 1997).

Diseño experimental

Los resultados del crecimiento del pasto Buffel (altura y cobertura) así como los análisis de la materia seca y contenido de N, P y K fueron analizados estadísticamente bajo un diseño de bloques al azar, haciendo una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($P < 0.05$) (Reyes, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de altura

Los resultados de altura del pasto a los 15 días después del transplante (ddt) muestran que al aplicar biosólido bajo el pasto alcanzo mayor crecimiento con una altura de 21.65 cm comparado con el tratamiento Testigo con un crecimiento de 19.54 cm, valores que son mostrados en el Cuadro 5. Esto es debido a que la mineralización del nitrógeno contenido en el biosólido es aprovechado por el pasto en esta etapa inicial de crecimiento (Castellanos *et al.*, 2000; Navarro B. y Navarro G., 2003).

Cuadro 5. Altura del pasto Buffel con dos dosis de biosólido a los 15 ddt

Tratamiento	Altura del pasto en cm.
Testigo	19.54 B
Biosólido bajo	21.65 A
Biosólido alto	19.62 B

Las medias por columna acompañadas por la misma literal son iguales entre sí ($P < 0.05$).

Los resultados de altura del pasto a los 30 ddt se muestran en el Cuadro 6; donde el pasto que fue transplantado en el Testigo fue el de mayor crecimiento alcanzando los 27.82 cm de altura y el pasto tratado con biosólido bajo y biosólido alto estadísticamente tuvieron un crecimiento igual aproximadamente de 25 cm ($P < 0.05$). Esto se debió probablemente a la cantidad de sales que aportan los biosólidos, y ello limita el crecimiento de los cultivos (Castellanos *et al.*, 2000).

Cuadro 6. Altura del pasto Buffel con dos dosis de biosólido a los 30 ddt.

Tratamiento	Altura del pasto en cm.
Testigo	27.82 A
Biosólido bajo	25.73 B
Biosólido alto	25.85 B

Las medias por columna acompañadas por la misma literal son iguales entre sí (P<0.05)

La tercera y última medición de altura fue a los 45 ddt (Cuadro 7), donde al hacer la comparación de medias no hubo diferencia significativa con el Testigo, Biosólido bajo y Biosólido alto (P<0.05). Esto se debió a que el cultivo empezó a fructificar y por consecuencia el crecimiento se detiene, y por lo tanto la altura alcanzada en los tres tratamientos permaneció igual (Navarro B. y Navarro G., 2003).

Cuadro 7. Altura del pasto Buffel con dos dosis de biosólido a los 45 ddt.

Tratamiento	Altura del pasto en cm.
Testigo	31.85 NS
Biosólido bajo	30.90 NS
Biosólido alto	29.33 NS

NS diferencia estadística No Significativa.(P<0.05)

Análisis de cobertura

La cobertura se tomó poco antes de que el pasto empezara a tirar la semilla (Cuadro 8). Se realizó la comparación de medias entre los tratamientos, siendo el tratamiento de Testigo y Biosólido bajo los que obtuvieron mayor porcentaje de cobertura con 6.62 y 6.21%; mientras que el tratamiento de menor cobertura fue con la aplicación de Biosólido alto con 5.20 % pero estadísticamente quedando igual con el pasto tratado con dosis baja.

Cuadro 8. Cobertura del pasto Buffel con dos dosis de biosólido.

Tratamiento	% Cobertura
Testigo	6.62 A
Biosólido bajo	6.21 AB
Biosólido alto	5.20 B

Las medias por columna acompañadas por la misma literal son iguales entre sí (P<0.05).

En el período de evaluación del experimento no se presentaron eventos lluviosos que favorecieran el crecimiento del pasto.

Los resultados de la materia seca se muestran en la figura 1. donde se observa que el pasto tratado con la dosis alta de biosólido obtuvo mayor porcentaje de materia seca (86.6 %) quedando ligeramente por encima del tratamiento Testigo (83.53%) y Biosólido bajo (83.3 %), pero sin haber diferencia significativa. Resultados acordes a las investigaciones llevadas a cabo por uribe *et al*, 2003 que mencionan que al trabajar con diferentes dosis de biosólidos y fertilización química en el maíz forrajero, las diferencias no fueron significativas en la producción de materia seca.

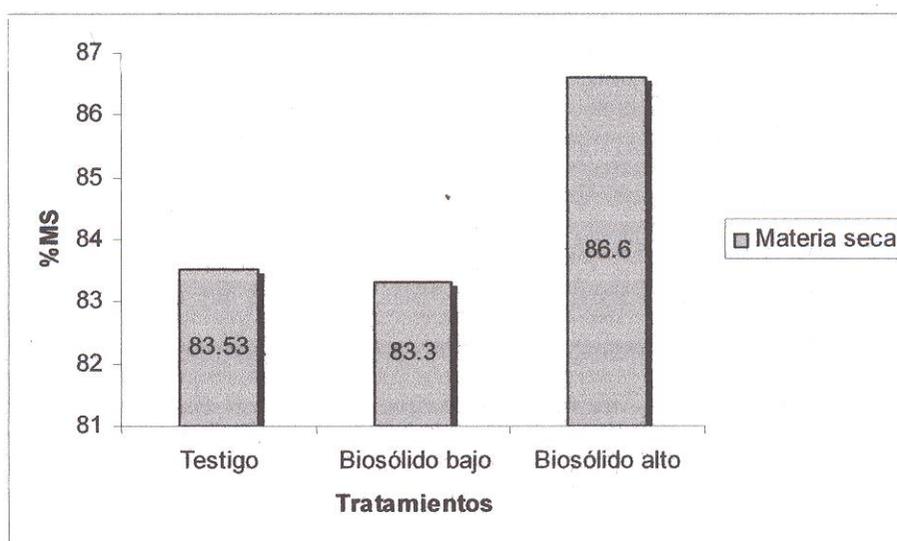


Figura 1. Por ciento de materia seca del pasto Buffel con dos dosis de aplicación de biosólidos.

Con respecto a la absorción de Nitrógeno fue mayor en el pasto tratado con la dosis alta de biosólido (Figura 2). Esto se debe a que los biosólidos contienen altas concentraciones de nitrógeno y por lo tanto hubo mayor aportación del mismo al suelo que la planta absorbió. Estos resultados coinciden con Pierce *et al*, 1998 que mencionan que la concentración de nitrógeno en el tejido de trigo forrajero aumentó a medida que se incrementaba la dosis de aplicación de biosólidos.

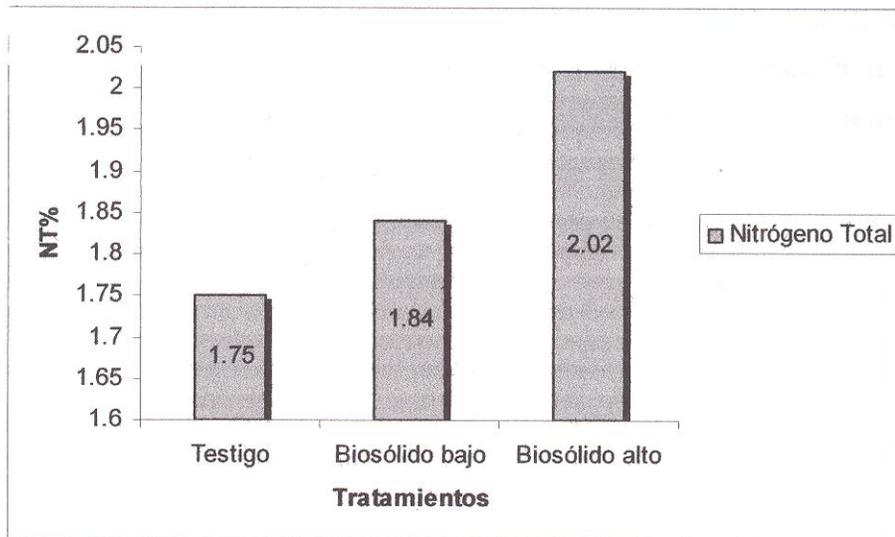


Figura 2. Contenido de NT en tejido vegetal de pasto Buffel con dos dosis de aplicación de biosólidos.

Se encontró diferencia significativa en cuanto a la absorción del Fósforo por el cultivo del pasto Buffel (Figura 3); en comparación con el Testigo la mayor absorción del fósforo se presentó en el pasto tratado con la dosis baja y alta de biosólido ($P < 0.05$). Lo anterior indica que el fósforo contenido en los biosólidos es disponible inmediatamente a los cultivos y que además se acumula en el suelo según reportes de Castellanos *et al.*, 2000.

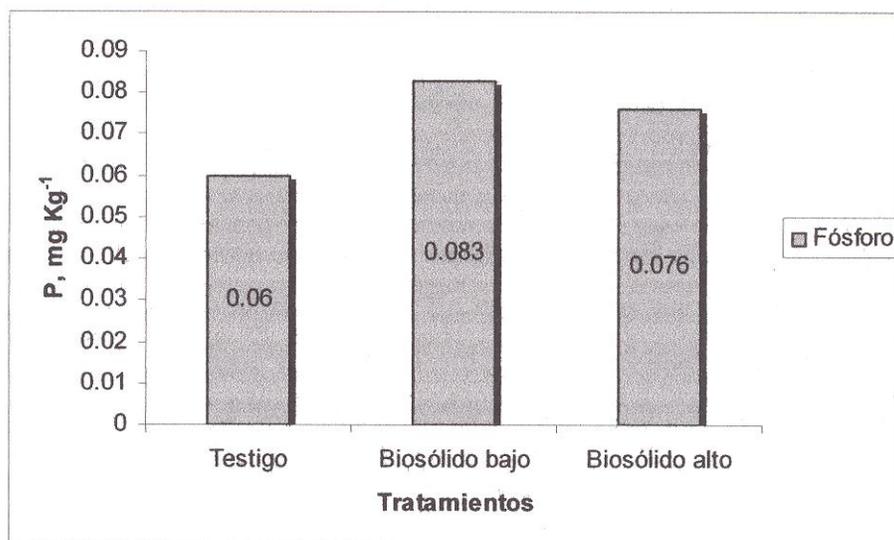


Figura 3. Contenido de P en tejido vegetal del pasto Buffel con dos dosis de aplicación de biosólidos.

Al comparar el Testigo, Biosólido bajo y Biosólido alto no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos ($P < 0.05$) en cuanto a la absorción del potasio por la planta (figura 4). Resultados que concuerdan con Wester et al, 1995 que al aplicar biosólidos en el zacate toboso en Texas el contenido de P, K, Na, B, Cu, Zn, Mo, Mg y Fe fueron similares en áreas tratadas y no tratadas con biosólidos.

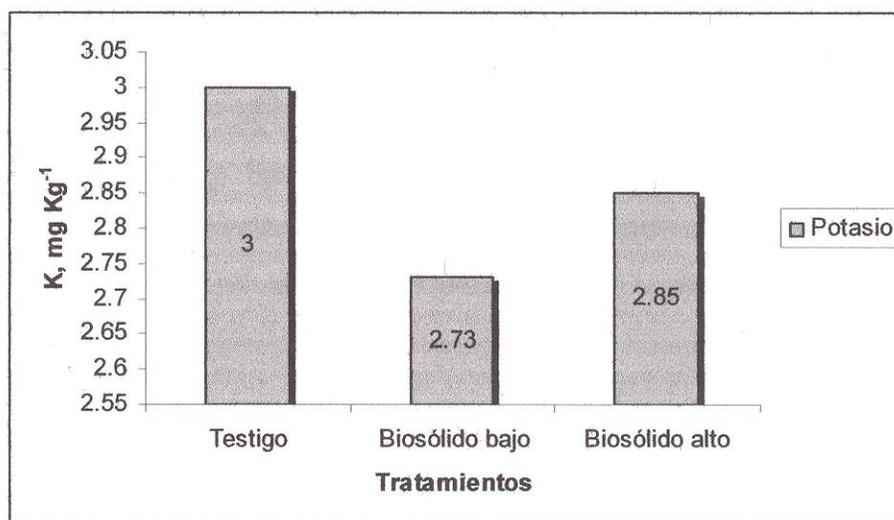


Figura 4. Contenido de K en tejido vegetal de pasto Buffel con dos dosis de aplicación de biosólidos.

En el Cuadro 9. se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos del suelo al inicio y al término del estudio. Al inicio el suelo presenta una textura de tipo media, con un pH alcalino con posibles problemas de micronutrientes. Presenta una conductividad eléctrica libre de sales ideal para establecer cualquier cultivo. La clasificación del PSI se encuentra en el rango de 0-5 % clasificado como libre de sodicidad de acuerdo a Castellanos *et al*, 2000. En cuanto a los parámetros de fertilidad presenta un porcentaje de materia orgánica clasificado como muy bajo; el nitrógeno y fósforo disponibles son clasificados como muy bajos. El potasio disponible está clasificado como muy alto.

En el caso de los valores que se presentan en el testigo, en general, se observó un incremento en todos los parámetros en comparación con los

análisis al inicio excepto el pH, CE y PSI. Esto debido a que antes del establecimiento de las parcelas con sus respectivos tratamientos, se preparó el suelo con un paso de rastra y luego la niveladora para emparejar el terreno. Asumiendo el movimiento del suelo por completo y de ahí los cambios generados en los diversos parámetros.

En el caso de los tratamientos con aplicación baja y alta de biosólido, la clase textural es de tipo media, no fue modificada por efecto del biosólido. En el caso del pH se clasifica como moderadamente alcalino y puede presentar problemas de absorción de nutrimentos., el pH del suelo disminuyó ligeramente con la aplicación del biosólido. La CE presentó modificaciones en sus valores en los tratamientos bajo y alto de 0.33 y 0.37 dS m⁻¹ comparados al valor del Testigo de 0.31; sin embargo están clasificados como suelos libres de sales. Algunas investigaciones mencionan que la CE del suelo se incrementa con la aplicación de biosólidos en pastizales de Nuevo México (Jurado *et al*, 2004). El PSI en todos los tratamientos se clasifica como libre de sodicidad. En cuanto al contenido de materia orgánica en todos los tratamientos se incrementó respecto al valor inicial de 0.65; sin embargo se clasifican como moderadamente bajos. En el caso del nitrógeno como nitrato que está disponible para la planta, al aplicar el biosólido en carga baja se observó que la cantidad de nitratos se incrementó un 20 por ciento más que en el testigo, clasificándose el suelo como alto en contenido de nitratos. Al aplicar biosólido en carga alta se observó que la cantidad de nitratos fue superior con un valor de 83.33 mg Kg⁻¹ respecto al tratamiento con carga baja; por lo cual es importante resaltar la fuerte aportación de nitratos por efecto del biosólido. Resultados similares a Wester *et al.*, 1995 que reportan que con la aplicación de biosólidos en un pastizal de toboso (*Hilaria mutica* (Buckl.) Benth) incremento el nitrógeno disponible en el suelo hasta cuatro veces más con una dosis de 34 Ton Ha⁻¹. Referente al fósforo disponible con la aplicación del biosólido, el suelo pasa a estar dentro de una clasificación moderada en un rango de 15-22 mg Kg⁻¹. En el caso del potasio disponible en el suelo fue similar en el testigo, dosis baja y alta de biosólido con un promedio alrededor de 1,855 mg kg⁻¹.

Cuadro 9. Resultados del análisis físico-químico del suelo antes de la aplicación del biosólido y al finalizar el experimento

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	INICIO	TRATAMIENTOS		
		Testigo	Biosólido bajo	Biosólido alto
pH	8.11	7.99	7.93	7.90
Conductividad Eléctrica (dS m ⁻¹)	0.63	0.31	0.33	0.37
Calcio soluble (Ca ⁺² , meq L ⁻¹)	2.59	35.96	43.61	38.04
Magnesio soluble (Mg ⁺² , meq L ⁻¹)	0.40	5.94	7.74	7.33
Sodio soluble (Na ⁺ , meq L ⁻¹)	3.64	4.23	4.45	3.47
PSI (%)	3.02	0.33	0.26	0.36
Materia Orgánica (%)	.65	1.73	1.66	1.66
Nitrógeno disponible (N-NO ₃ ⁻ , mg Kg ⁻¹)	6.5	42.5	61	83.33
Fósforo disponible (P, mg Kg ⁻¹)	5	13	15	20
Potasio disponible (K, mg Kg ⁻¹)	452.5	1,828	1,883	1,856
Clase Textural	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso

CONCLUSIONES

Se encontró diferencia significativa en cuanto a la absorción de N y P, fue mayor con la aplicación de biosólidos en el pasto Buffel en comparación con el testigo.

La producción de materia seca fue similar a la obtenida con la aplicación de dosis baja y alta de biosólidos así como en el testigo.

La aportación del nitrógeno como nitrato es muy alta en dosis que oscilan entre 20 y 40 Ton Ha⁻¹.

Se concluye que con la aplicación al suelo en dosis de 40 Ton Ha⁻¹ de biosólidos se asegura el contenido de nitrógeno potencialmente utilizable por el pasto Buffel.

LITERATURA CITADA

- Agencia de Protección Ambiental. 2000. Folleto informativo de tecnología de biosólidos: Aplicación de biosólidos al terreno. EPA 832-F00-064. U. S. A.
- Assadian, N. W., L. C. Esparza, L. B. Fenn, A. S. Ali, S. Miyamoto, U. Figueroa V., y A. W. Warrick. 1998. Spatial variability of heavy metals in irrigated alfalfa fields in the upper Rio Grande River basin. *Agricultural Water Management* 36:141-156.
- Battaglia, C., S. Guilini, G. Regnani, R. Di Girolamo, S. Paganelli, F. Facchinetti y A. Volpe. 2000. Seminal plasma nitrite/nitrate and intertesticular Doppler flow in fertile and infertile subjects. Department of Obstetrics and Gynecology. University of Modena. *Hum. Reprod.* 15(12): 2554-2558.
- Beltrán L, S y Loredo O, C. 1999. Siembra de pasto buffel en el altiplano de San Luis Potosí. Campo experimental Palma de la Cruz. Folleto para productores No. 22. INIFAP. San Luis Potosí, México.
- Cantú B, J.E. 1990. Manejo de Pastizales (Revisión Bibliográfica). ISBN. UAAAN UL. Torreón, Coahuila. México.
- Cantú B, J. E. 1995. Principios de Bromatología. Tercera edición. ISBN. UAAAN-UL. Torreón, Coahuila. México.
- Cardoso-Vigueros, L. y E. Ramírez-Camperos. 2002. Vermicomposting of sewage sludge: a new technology for Mexico. *Water Science and Technology* 46:10
- Castellanos R, J. Z. y J. J. Peña C. 1990. Los nitratos provenientes de la agricultura: una fuente de contaminación de los acuíferos. *Terra* 8(1): 113-126.

- Castellanos J. Z., J. X. Uvalle B. y A. Aguilar S. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. Segunda Edición. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA). México, D. F.
- Chang, A. C., T. C. Granato y A. L. Page 1992. A methodology for establishing phytotoxicity criteria for Chromium, Copper, Nickel, and Zinc in agricultural land application of municipal sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 21:527-536.
- Cooley, E. P. 1998. Biosolids y chemical fertilizar application on the Chihuahuan Desert grasslands (M. Sc. Dissertation). Lubbock, Texas, USA. Texas Tech University.
- Comisión Nacional del Agua. 2004 (en línea). "Inventario Nacional de Plantas Municipales de Tratamiento de Aguas Residuales" Disponible en: <http://www.cna.gob.mx>. (Consultado el 2 de diciembre del 2005).
- Cortéz C, E. D. C. 2003. Fundamentos de ingeniería para el tratamiento de los biosólidos generados por la depuración de aguas servidas de la región Metropolitana. Facultad de Ciencias Químicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Chile
- Cueto W, J. A., J. Z. Castellanos R., U. Figueroa V., J. M. Cortés J., D. Reta S. y C. Valenzuela S. 2005. Uso sustentable de desechos orgánicos en sistemas de producción agrícola. *Estudios de Nutrición Vegetal de los principales cultivos básicos en México*. ISBN. INIFAP. México. 1-46
- Dirección General de Desarrollo Económico de Torreón, Coahuila. 2004. "Estadísticas del Municipio de Torreón, Coahuila." Presidencia Municipal Torreón, Coahuila. México.
- Environmental Protection Agency. 1999. Biosolids Generation, Use, and Disposal in the United States. EPA530-R-99-009. U. S. A.

- Environmental Protection Agency. 2000. Environmental regulations and technology: Use and disposal of municipal wastewater sludge. EPA625/10.84-003. U. S. A.
- Figueroa, V. U., O. M. A. Flores y R. M. Palomo. 2002. Uso de biosólidos en Suelos Agrícolas. SAGARPA-INIFAP-CIRCOC. Folleto Técnico No. 3
- Fresquez, P. R., Francis R. E., G. L. Dennis 1990. Sewage sludge effects on soil and plant quality in a degraded semiarid grassland. *J. Environ. Qual.* 19:324-329.
- Fresquez, P. R., R. E. Francis y G. L. Dennis. 1990. Soil and vegetation responses to sewage sludge on a degraded semiarid boorm snakeweed/blue grama community. *J. Range Management*; 43:325-331.
- Gaudreau, J. E., D. M. Vietor, R. H. White, T. L. Provin y C. L. Munster. 2002. Response of turf and quality of runoff to manure and fertilizer. *J. Environ. Qual.* 31: 1316-1322.
- Grant, W., S. y S. Isiorho. 1996. Espontaneous abortions possibly related to ingestion of nitrate contaminated well water. Center for Disease Control. U.S. Department of Health and Human Services. Vol. 45(26): 569-572.
- Huddleston, J.H y M.P. Ronayne. 1990. Guide to soil suitability and site selection for beneficial use of sewage sludge. Manual 8. Oregon State University Extensión Service. Pag 76.
- Hahm, Joanna M. y D. B. Wester. 2003. Effects of surface-applied biosolids on grass seedling emergence in the Chihuahuan desert. *Journal of Arid Environments* 58: 19-42
- Jiménez Cisneros, B. E. 2002. La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnologías apropiadas. 1ª edición. LIMUSA S.A de C.V. México. p 284-308.

- Jurado, P y D. B. Wester. 2001. Effects of biosolids on tobograss growth in the Chihuahuan desert. *Journal of Range Management* 54: 89-95.
- Jurado G, P., M. Luna L. y R. Barretero H. 2004. Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos en pastizales áridos y semiáridos. *Técnica pecuaria, México*. 379-395.
- Jurado G, P., M. Luna L. y R. Barretero H. 2004. Aprovechamiento de biosólidos para la rehabilitación de pastizales en zonas semiáridas. Folleto tecnico No. 12. Campo Experimental Campana-Madera. INIFAP.
- Kiely, G. 1999. *Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. 1ª edición. Mc.Graw-Hill. España. p 763-831.
- Kinsbursky, R. S., D. Levaron, y B. Yaron. 1989. Role of fungi in stabilizing aggregates of sewage sludge attended soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1086-1091.
- López M., J.D., A. Díaz E., E. Martínez R. y R. Váldez C. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento del maíz. *Terra* 19:293-299.
- Martínez R, J. G. J. Z., Castellanos R. y A. Ortega. 2001. Determinación de la vulnerabilidad del acuífero de Ciudad Juárez, Dgo. a la contaminación por nitratos mediante GIS. XIII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. Gómez Palacio, Dgo. Pag. 47-52.
- Mata G. R. y E. Sosebee. 2002. Shoot and root biomass of desert grasses as affected by biosolids application. *Elsevier Science Ltd.* 50: 477-488.
- Metcalf, L y H. Eddy. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment Disposal and reuse*. 1ª edición. Mac Graw-Hill. New York 374p.

Metcalf, L. y H. Eddy. 1996. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. Editorial McGraw-Hill. 3ª edición. México.

Nacional Research Council. 1996. Use of Rreclaimed Water and Sludge in Food Crop Production. National Academy Press. Washington D. C. 178 p.

Navarro B, S. y N. G. Ginés. 2003. Química Agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2ª edición. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España

Olhagaray R, E. C., A. Medrano M. y F. Medina A. 2002. Siembra de Zacate Buffel Común (*Cenchrus ciliaris*, Link cv) Probando relaciones de area siembra-area escurrimiento, con diferentes densidades de siembra. Memorias de la XIV Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. Gomez Palacio, Dgo. México.

Outwater, A. B. 1994. Reuse of sludge and minor wastewater residuals. Lewis Publishers. Boca Ratón, Florida, USA

Pierce B. L, Redente E. F., Barbarick K. A., Brobst R. B. y P. Hegeman. 1998. Plant Biomass and Elemental Changes in Shrubland Forages following Biosolids Application. Published in J. Environ. Qual 27:789-794. Colorado U. S. A.

Plenecassagne, A., Romero F. E. y López B. C. 1997. Manual de laboratorio N°1 Análisis de suelos, aguas y plantas. Impreso y hecho en CENID-RASPA. Gómez Palacio, Dgo. México.

Potisek T, M. C., Figueroa V, U. Jasso I, R. González C, G. y Villanueva D, J. 2006. Potencial de uso de biosólidos en un suelo de matorral desértico. Folleto Técnico No. 6. CENID-RASPA-INIFAP

Quiroga G., H. M. y J. A. Cueto W. 1991. Efectos de la fertilización nitrogenada y población sobre el rendimiento y calidad de forraje y componentes del

rendimiento del maíz para ensilaje. Informe de investigación. CELALA-INIFAP. Matamoros, Coah. México.

Reyes C, P. 1999. Diseños de experimentos aplicados. 3ª edición. Ed. Trillas. DF. México.

Rigola L, M. 1999. Tratamiento de aguas residuales industriales. 1ª edición. ALFAOMEGA S.A de C. V. México. p. 48-50.

Robinson M, B. and P. J. Polglase. 1996. Sustainable use of Biosolids in Plantation Forest. In: Biosolids Research in NSW. NSW Agricultura, Rydalmere. Pp 219-223.

Robles S, R. 1990. Producción de granos y forrajes. 5ª edición. Ed. Limusa S. A de C. V. México, D. F.

SEMARNAT. 2005 (en línea). Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección Ambiental.- lodos y biosólidos.-especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Consultado el 10 de agosto del 2005

Serrano E, L. 1997. Las aguas residuales y su tratamiento. Secretaría de Educación Pública. México: 248

Sposito, G., L. J. Lund and A. C. Chang. 1982. Trace elements chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractions of Ni, Cu, Zn, and Pb in solid phases. Soil Sci. Am. J. 46:260-264.

Sullivan, Dan M., D. M. Granatstein, C. G. Cogger, C. L. Henry, and K. P. Dorsey. 2000. Biosolids Management Guidelines for Washington State. Washington State Department of Ecology Solid Waste & Financial Assistance Program: 235. U.S.A.

- Uribe, M. H. R., N. Chávez S. y M. S. Espino V. 2000. Los biosólidos como mejoradores de suelos agrícolas y avances de su evaluación en la región de Delicias. Folleto para productores No. 7. CEDEL-INIFAP. México.
- Uribe, M. H. R., G. Orozco H., N. Chávez S. y M. S. Espino V. 2003 Fertilización del maíz forrajero con biosólidos. Folleto técnico No. 13. CEDEL-INIFAP. México.
- Uribe, M. H. R., G. Orozco Hdz., N. Chávez S. y M. S. Espino V. 2004. Mayor producción de alfalfa fertilizando el suelo con biosólidos. Folleto técnico No. 18. CEDEL-INIFAP. México.
- Vázquez, V. C., E. Salazar S., R. Figueroa V., J. S. Valenzuela R. y M. Fortis H. 2001. Efecto del acolchado y estiércol de bovino en la modificación de algunas características del suelo de la Comarca Lagunera. XIII Semana Internacional de Agronomía, FAZ-UJED. Gómez Palacio, Dgo. Pag. 178-182.
- Wastewater Treatment Division. 2002 (en línea). <http://dnr.metrock.gov/WTD/biosolids/Forest/html>. (Consultado el 5 de enero del 2006).
- Wester, D. B., Benton, M. W., Gatewood, R. G., Jurado P, Moffet C, Sosebee R. 1995. Tobosagrass growth responses and soil nitrogen dynamics in response to autumn-applied biosolids, Phoenix, Arizona, USA. 48th Ann Meet, SRM.
- Whitford, W. G., E. F. Aldon, D. W. Freckman, Y. Steinberger y L. W. Parker. 1989. Effects of organic amendments on soil biota on a degraded rangeland. *Journal of Range Management* 42: 56-60.