

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

**DIVISION DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE PRODUCCION ANIMAL**



**APLICACIÓN DE BIOSOLIDOS EN PASTIZALES ARIDOS: PRODUCCION
DE FORRAJE 2005 y 2007.**

Por:

AGUSTIN ZAVALA COYOTE

T E S I S

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Titulo de:

INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Abril de 2008**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

**DIVISION DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE PRODUCCION ANIMAL**

**APLICACIÓN DE BIOSOLIDOS EN PASTIZALES ARIDOS: PRODUCCION
DE FORRAJE 2005 y 2007.**

Presentada por:

AGUSTIN ZAVALA COYOTE

TESIS

**Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:**

INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

**Aprobada
Presidente del Jurado**

M.C. Luís Pérez Romero

Dra. Manuela Bolivar Duarte

Dr. Juan José López González

COORDINADOR DE LA DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

Ing. Rodolfo Peña Oranday

**Buenavista, Saltillo, Coahuila México
Abril de 2008**

AGRADECIMIENTOS

A dios por darme la dicha de vivir este sueño y seguir cuidándome en el largo camino de la vida.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro* ALMA TERRA MATER *

Por haberme abrigado durante toda mi carrera y por haberme formado como un profesionista de provecho.

AL CATEDRATICO: M.C. LUIS PEREZ ROMERO. Por su amistad y por el gran apoyo moral, así como la elaboración de este trabajo.

A LA CATEDRATICA: Dr. MANUELA BOLIIVAR DUARTE. Por el apoyo en la realización de este trabajo.

AL CATEDRATICO: Dr. JUAN JOSE LOPEZ GONZALES.- por su amistad y apoyo en la realización de este trabajo.

A TODOS LOS CATEDRATICOS DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES.

A TODOS LOS MAESTROS DEL DEPARTAMENTO DE PRODUCCION ANIMAL.

A LOS MAESTROS DEL DEPARTAMENTO DE NUTRICION ANIMAL.

DEDICATORIAS

Con todo mi amor y admiración que siento por ustedes, por que estoy completamente agradecido por todos los sacrificios que hicieron para que pudiera culminar mis estudios como una etapa más de mi formación.

*** Juan Zavala Amacende * y * Elvia Coyote Martínez ***

Gracias por darme la vida, por los consejos que me has dado y seguirás dándome, por ser la mujer que me escucha y que siempre esta a mi lado cuando mas lo necesite, por haber hecho de mi lo que ahora soy gracias mamá.

Gracias por ser mi punto de partida, por que en ti veo la fuerza y dedicación a todo lo que haces, gracias por inculcarme ese amor al campo. Por todos los consejos que me brindas, puesto que uno nunca termina de aprender y mucho menos de su padre. Gracias papá.

*A cada uno de mis hermanos le doy gracias por su apoyo incondicional, por la confianza que depositaron en mi, por que en los buenos y malos momentos han estado con migo cuando mas lo necesito gracias por todo, siempre les estaré agradecido. * Ángel * * Marcelino ** Juan **

** María Elena *: Con mucho cariño y admiración a la más pequeña de la familia, que me ha apoyado en todo momento y que siempre esta ahí cuando todo parase muy difícil gracias.*

A mis cuñadas: **Hermelinda Mexicano Sánchez, Anai Contreras Soriano, Esther Raymundo Navarro.**

Como olvidarme de mis sobrinos, esos enanos que me han regalado tantos momentos felices y por aprender mucho de ustedes y que a dondequiera que yo voy siempre los recuerdo y los quiero mucho a todos. Ángel Iván, Ana Yazmin, Nancy, Josselyne, Juan Emmanuel y Marco Dahir.

*A la mujer que durante 8 años ha compartido con migo momentos felices y tristes, ha quien ha sido mas que mi novia, es y será el amor de mi vida. Ha sido mi compañera amiga y confidente (**Roció Cortes Vales**) que con ese gran amor y paciencia que me has dado, ha hecho que todo el tiempo transcurrido haya sido mas fácil, gracias al apoyo y comprensión que me has dado siempre, por*

apoyarme en cada una de mis decisiones y por estar firmemente dispuesta a escuchar y comprenderme gracias “chaparrita te amo nunca lo olvides.”

*Mi profundo agradecimiento a la familia **Cortes Vales** por darme la confianza, por compartir momentos inolvidables con migo y comprenderme además de apoyarme en mis proyectos y por considerarme parte de su familia.*

A mis amigos: Luis Guerra Zitlalapa, Daniel Gil Olea, Rubén (el primo), Cesar (el primo), Arturo Tenango Pérez, Fernando Alberto, Fidel, al Ing. Johan, (Héctor, Martin, José Juan,) Alejandro, Azael, Juan, Mario Alberto, Ramón, Olga, Carlos Alan, cesar, al Ing. Daniel, Eliseo, Alejandro (el cuñado) y la raza de paraíso cuarto 2. Que junto con ello pase momentos felices y tristes en mi estancia en la Narro gracias por su amistad y que dios me los bendiga a todos.

A mis amigos de la carrera: Gildardo René, pablo, armando, Manuel, Antonio, Rolando, Cheo, Gabriel, Gabriela Guadalupe al Ing. Alberto y todos mis compañeros de la carrera de la generación CIV de Ing. Agrónomo Zootecnista.

A mis abuelos maternos

Evaristo Coyote Galindo. (+)

María Concepción Martínez Aguilar.

A mis abuelos paternos

Marcelino Zavala Tepexpa. (+)

Antonia Amacende Ixpango.

*A un gran amigo que siempre me apoyo en todo momento y me aconsejo durante mi estancia en el CBTa. 129 de Axochiapan Morelos, gracias por enseñarme que la vida es mejor cuando uno mismo se crea su propio destino. Y que el esfuerzo y la dedicación tienen una buena recompensa. **Ing. Eloy Campos Moran.***

A todos mis amigos integrantes de la Rondalla Ejidal Sentimiento joven en Tepalcingo, Morelos. Por ser el pilar de muchas satisfacciones en mi vida en el aspecto musical al igual que todos mis compañeros de la Rondalla Universitaria de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

“La posibilidad de realizar un sueño es lo que hace que la vida sea interesante” Paulo Coelho.

INDICE DE CONTENIDO

Pag.		
	AGRADECIMIENTOS.....	i
	DEDICATORIAS.....	ii
	INDICE DE CONTENIDO.....	iv
	INDICE DE CUADROS.....	vi
	INDICE DE FIGURAS.....	vii
	ANEXOS.....	viii
	INTRODUCCION.....	1
	REVISION DE LITERATURA.....	2
	Definición.....	2
	Legislación ambiental de los biosólidos.....	2
	Características de los biosólidos.....	3
	Característica físicas de los biosólidos.....	4
	La composición química de los biosólidos.....	4
	pH de los biosólidos.....	5
	Estabilización de los biosólidos.....	6
	Incorporación en suelos.....	8
	Normatividad.....	8
	Norma Mexicana.....	8
	Metales pesados.....	9
	Normas Internacionales.....	10
	Metales Pesados.....	10

Patógenos y parásitos.....	12
Contenido de Patógenos.....	15
Aplicación de biosólidos en pastizales.....	17
MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
Descripción general del área de estudio.....	21
Aplicación de tratamientos.....	23
Variables de respuesta.....	24
Análisis estadístico.....	24
RESULTADOS Y DISCUSION.....	25
Producción de forraje en el 2005.....	25
Producción de forraje en el 2007.....	27
Comparación de producción de forraje entre años.....	29
Implicaciones practicas de manejo.....	31
CONCLUSIONES.....	32
BIBLIOGRAFIA.....	33
PAGINAS WEB CONSULTADAS.....	34

INDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1. Composición química de los biosólidos.....	5
Cuadro 2. Límites máximos permisibles para metales pesados en Biosólidos.....	9
Cuadro 3. Límites permisibles de metales pesados en biosólidos para aplicación en suelos, (US EPA, CFR 40 Part 503).....	11
Cuadro 4. Límites Máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos.....	13
Cuadro 5. Restricciones de cosecha en parcelas donde se usan biosólidos Clase C como fertilizante.....	13
Cuadro 6. Aprovechamiento, tipo y clase de los biosólidos.....	14
Cuadro 7. Restricciones al uso de biosólidos Clase B, de acuerdo a la Norma Americana (Parte 503).....	16
Cuadro 8. Restricciones (distancias de separación de sitios de aplicación) al uso de biosólidos de acuerdo a la Norma de Canadá (Provincia de Ontario).....	17
Cuadro 9. Comparación de la producción de forraje en un pastizal árido degradado en el 2005 y 2007.....	22
Cuadro 10. Dosis Aplicadas a los Diferentes Tratamientos.....	29

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Corte del pasto al ras del suelo.....	23
Figura 2. Producción de materia seca (Kg /ha ⁻¹) de un pastizal degradado en relación a la aplicación de biosólidos durante el 2005.....	26
Figura 3. Relación entre dosis de aplicación de biosólidos y producción de forraje en un pastizal árido 2005.....	26
Figura 4. Producción de materia seca (Kg /ha ⁻¹) de un pastizal degradado en relación a la aplicación de biosólidos durante el 2007.....	27
Figura 5. Relación entre dosis de aplicación de biosólidos y producción de forraje en un pastizal árido 2007.....	28
Figura 6. Comparación de la producción de forraje (Kg Ms / ha ⁻¹) en un pastizal árido degradado durante el 2005 y 2007.....	30
Figura 7. Producción de forraje en un pastizal árido degradado en los años 2005 y 2007.....	30

ANEXOS

Anexo 1. Croquis de las Parcelas de 5 x 5 en un Diseño de Bloques al azar con 4 Repeticiones.....	35
Anexo 2. Producción de forraje 2007.....	36
Anexo 3. Producción de forraje en el 2005.....	38
Anexo 4. Comparación de medias de los años 2005 y 2007.....	40

INTRODUCCIÓN

Los pastizales áridos y semiáridos del norte de México han tenido un largo historial de uso a través del apacentamiento de herbívoros domésticos. Durante este tiempo, estos pastizales han sido degradados. Esta degradación ha sido atribuida a factores tales como sobre pastoreo, ausencia de fuego y la interacción con el aspecto climático. Estos ecosistemas han experimentado una reducción en su biodiversidad, producción, cubierta vegetal y consecuentemente un incremento del suelo desnudo.

Ante este escenario se hace patente la rehabilitación de la funcionalidad de estos ecosistemas, a partir de la recuperación del suelo. Una alternativa es a través de la fertilización por medio de la aplicación de biosólidos. Los biosólidos son considerados como lodos que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, pueden ser susceptibles de aprovechamiento. La meta de este trabajo fue determinar el efecto de la aplicación de biosólidos sobre un pastizal degradado. el objetivo fue determinar si existe un incremento de la producción de forraje por la aplicación de biosólidos.

REVISIÓN DE LITERATURA

Definición

Los biosólidos o lodos orgánicos son un subproducto de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) conocido como “biosolids” o “sewage sludge” en otros países (Jurado et al 2004, Uribe et al 2004 y SEMARNAT 2002). Este subproducto es un material semisólido, oscuro con alto contenido de materia orgánica y nutrientes que puede ser utilizado como abono en suelos deteriorados (Figueroa et al 2002). Los biosólidos, deshidratados o secos, de acuerdo a su contenido de humedad y a los procesos en las PTAR.

Legislación ambiental de los biosólidos

Los biosólidos por ser el resultado de un proceso de estabilización actualmente representan un problema de tipo ambiental debido a su contenido de contaminantes como metales pesados y microorganismos patógenos. Para su aprovechamiento como mejorador de suelo o fertilizante, los biosólidos deben ser declarados “no peligrosos” para el ambiente y humano; en base al análisis de correosidad, reactividad, explosividad, toxicidad y biológico-infeccioso (CRETIB) de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) de la SEMARNAT.

Para ello se decretó la norma oficial mexicana sobre lodos y biosólidos. La Norma Oficial Mexicana NOM-004-Semarnat-2002 (Semarnat 2003) Protección Ambiental – Lodos y Biosólidos – Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición fiscal, fue publicada en el Diario oficial de la Federación el 15 de agosto del 2003.

Dicha norma contiene los lineamientos para el manejo y disposición de lodos y biosólidos en México. Por otra parte se considera que las tres opciones de manejo para el uso y la depuración final de biosólidos son la confinación en rellenos sanitarios, la incineración y la reutilización en agricultura y bosques (Jurado et al 2004, Tisdale et al 1993, Outwater 1994).

Características de los biosólidos

Los biosólidos pueden ser de tipo doméstico o industrial dependiendo de la procedencia de las aguas residuales. Pueden ser de tipo aeróbico o anaeróbico que aunque de alto costo, es más eficaz para disminuir la cantidad de patógenos (USEPA 1989).

Los biosólidos contienen un alto porcentaje de humedad, materia orgánica (MO) y nutrimentos para las especies vegetales como N y P, aun de manera estacional, dentro de una misma planta de tratamiento (USEPA 1989). Además de lo anterior, también presentan concentraciones de metales pesados y patógenos y parásitos contenidos en los biosólidos.

Durante el tratamiento del agua residual, el material sólido o semi-sólido se remueve produciendo agua limpia como producto principal y el sub-producto es un material rico en materia orgánica y nutrientes. Este subproducto es tratado por diferentes métodos (como la aplicación de cal, la digestión anaeróbica, etc.) para reducir los niveles de patógenos y la atracción de vectores transmisores de enfermedades a niveles que son seguros para el hombre y los animales. Una vez que este material ha pasado todo este proceso se le conoce como biosólidos y deja de ser un desecho para ser un recurso útil que puede ser utilizado en la agricultura, en los jardines e invernaderos.

Características físicas de los biosólidos

Es el contenido de sólidos o humedad, dependiendo del método de tratamiento y deshidratado, el porcentaje de sólidos varía del 5 al 90 por ciento. Cuando el contenido de sólidos es muy bajo, los biosólidos son de aspecto casi líquido y a medida que los sólidos aumentan, su aspecto cambia a una masa sólida, suave como lodo. Respecto al color de los biosólidos es negro y el olor fuerte. www.coecyt-coah.gob.mx

Ya que parte de las aguas residuales son de uso doméstico, los biosólidos generalmente contienen los cuatro principales tipos de organismos patógenos que atacan al ser humano: bacterias, virus, protozoarios y helmintos. Sin embargo, mediante el proceso de estabilización que reciben los biosólidos el contenido de patógenos se reduce a niveles que los hacen no peligrosos cuando se usan en la agricultura. (<http://www.coecyt-coah.gob.mx>).

Características químicas de los biosólidos

Su composición química hace que sean atractivos para la aplicación en terrenos agrícolas. Los biosólidos contienen nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas y materia orgánica que mejora las condiciones del suelo. En general, los biosólidos son ricos en nitrógeno y fósforo y una tonelada de biosólidos puede tener hasta 176 Kg de nitrógeno y 143 kg de fósforo, además de contener otros nutrientes esenciales como zinc y cobre, entre otros. El (Cuadro 1) muestra el rango y el valor típico del contenido de nutrientes en los biosólidos y en el estiércol animal.

El contenido de materia orgánica de los biosólidos es alto y puede llegar al 70 por ciento. Esto es de gran beneficio ya que la materia orgánica, además de liberar nutrientes al descomponerse, mejora la estructura el suelo y su capacidad de infiltración y retención de agua. (<http://www.coecyt-coah.gob.mx>).

Cuadro 1. Composición química de los biosólidos.

Nutriente		Rango	Valor típico
Nitrógeno	(% peso seco)	<0.1 - 17.6	3.0
Fósforo	"	<0.6 - 1.5	1.0
Potasio	"	0.02 - 2.6	0.3
Calcio	"	0.1 - 2.5	4.0
Magnesio	"	0.03 - 2.0	0.4
Fierro	"	<0.1 - 15.3	1.7
Manganeso	(mg/kg peso seco)	18 - 7,100	250
Molibdeno	"	2 - 976	10
Zinc	"	101 - 27,800	1200
Cobre	"	608 - 3,120	750
Boro	"	4 - 757	25

PH de los biosólidos

Este cambia de acuerdo al tratamiento de estabilización. Cuando son estabilizados mediante un tratamiento alcalino (cal) el pH se incrementa a 12 durante el tratamiento, posteriormente baja llegando a un valor de 8, el cual es similar al de los biosólidos digeridos anaeróbicamente. (<http://www.coecyt-coah.gob.mx>).

Estabilización de los biosólidos

El propósito de la estabilización de los lodos es reducir en etapas subsecuentes el proceso de biodegradación de los compuestos orgánicos, la estabilización puede ser efectuada por procedimientos de tipo biológico o bien químico. La mayoría de los procesos de estabilización causan al mismo tiempo una desactivación de los organismos patógenos y virus. Esta condición de lodos estabilizados también reduce la atracción de vectores, como son las moscas, roedores y todos aquellos animales que pueden ser atraídos por los lodos no estabilizados y que son capaces de transmitir enfermedades infecciosas.

www.coecyt-coah.gob.mx.

En el proceso de estabilización biológica, la materia orgánica contenida es reducida por una degradación biológica, en un proceso controlado. Comúnmente los lodos de las aguas residuales doméstico-municipal son estabilizados biológicamente en forma líquida, en digestores anaeróbicos en el que la producción de gas metano se da como producto resultante y un menor volumen de lodos se genera al final del proceso. Los lodos líquidos pueden también ser estabilizados biológicamente en digestores aeróbicos, en los cuales se requiere la adición de oxígeno. www.coecyt-coah.gob.mx.

Otro proceso muy conocido es el composteo, proceso biológico que permite la estabilización de lodos ya desaguados. Este proceso de composteo es ordinariamente un proceso aeróbico, que se lleva a cabo con la adición de otros materiales acondicionadores, tales como madera astillada o bien materia orgánica ligeramente gruesa, que mejora la estructura y permite la aireación. La composta muestra temperaturas denominadas termofílicas ($\pm 55\text{ }^{\circ}\text{C}$) debido al

calor generado por las reacciones bioquímicas facilitadas por los microorganismos presentes. www.coecyt-coah.gob.mx

La estabilización química de los lodos, es efectuada no como un proceso para reducir la cantidad de materia orgánica biodegradable, sino para crear condiciones que inhiban la acción de los microorganismos, y de esta manera retardar la degradación de la materia orgánica y prevenir la generación de olores. La manera más común de estabilización química es la de elevar el pH de los lodos, utilizando cal o material alcalino. Los lodos pueden ser químicamente estabilizados en forma líquida o desaguados. Cuando se lleva a cabo la estabilización con lodos desaguados, la reacción exotérmica de la cal con el agua presente, causa un calentamiento que ayuda a destruir los organismos patógenos y evaporar el agua. www.coecyt-coah.gob.mx

Dependiendo de los procesos de estabilización y reducción de atracción de vectores utilizados, los biosólidos pueden ser de clase A o clase B. Los biosólidos de clase A prácticamente están libres de patógenos por lo que no hay ninguna restricción en cuanto a su uso y tiempos de espera para cosechar los cultivos, incluso se utilizan en jardines de casa y parques públicos sin ninguna restricción. Tal es la reducción de patógenos de los biosólidos clase A que pueden ser tratados y manejados como un fertilizante convencional. Por otra parte, los biosólidos clase B contienen mayores cantidades de patógenos, y aunque no presenten riesgos de salud, estos se utilizan sólo con fines agrícolas y no para jardines o parques. www.coecyt-coah.gob.mx

Cuando se usan biosólidos clase B, se tienen restricciones en cuanto al tiempo de cosecha para eliminar todo riesgo de salud. Dependiendo del tipo de cultivo las restricciones de tiempo de cosecha varían desde 30 días a 38 meses. (<http://www.coecyt-coah.gob.mx>).

Incorporación en suelos

El uso benéfico de los biosólidos se refiere a tomar ventaja de su contenido de nutrientes y materia orgánica y aprovecharlos como fertilizante orgánico y mejorador de suelo o elaborar composta. Bajo este punto de vista los biosólidos en lugar de ser un desecho se consideran como un valioso recurso para la producción agropecuaria y forestal. Los métodos de uso benéfico de biosólidos comprenden la aplicación de biosólidos en terrenos agropecuarios y forestales y la producción de composta. A continuación se da una breve descripción de ellos. (<http://www.coecyt-coah.gob.mx>).

Normatividad

Norma Mexicana

Para que los lodos de plantas tratadoras de agua residual sean usados benéficamente en suelos agrícolas deben cumplir con ciertas normas o leyes. La Norma en México que regulará el uso de los biosólidos incorpora la experiencia de un gran número de países en el mundo y en lo particular de los Estados Unidos y Canadá. En la reglamentación Mexicana se establecen los valores máximos permitidos de metales pesados y de organismos patógenos contenidos en los biosólidos, así como las disposiciones para su manejo y aprovechamiento. (<http://www.coecyt-coah.gob.mx>).

Metales pesados

Los biosólidos por su origen, pueden contener metales pesados además de los nutrimentos para las plantas. La concentración de estos metales define el destino de estos materiales. En el (Cuadro 2). Se presenta la clasificación de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana, en la cual se distinguen dos tipos: Excelentes y Buenos. www.coecyt-coah.gob.mx

Cuadro 2. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos.

Contaminante Determinados En forma total	Excelentes mg/kg base seca	Buenos mg/kg base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cromo	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Adaptado de: NOM-004-ECOL-2002

Las concentraciones más bajas de metales en los biosólidos (Calidad Excelente), indican que pueden utilizarse sin restricción y ser distribuido a todo el público. Cuando las concentraciones exceden a la calidad Excelente, pero es menor que los Buenos, estos biosólidos pueden utilizarse agrícolamente, en recuperación de paisajes o usos forestal. Si un elemento excede los límites, este material no debe llamarse o considerarse biosólidos y no puede aplicarse a tierras de cultivo.

Normas Internacionales

En los Estados Unidos de América, la norma que rige el uso de biosólidos es la conocida como Parte 503 del Código Federal de Regulaciones 40. Algunos puntos relevantes de esta Norma en relación al uso de biosólidos en suelos agrícolas son:

- Se especifican los valores límites de metales pesados en biosólidos, y clasifica a los biosólidos por la concentración de estos elementos.
- Establece límites y clasifica a los biosólidos por la presencia de organismos patógenos.
- Contiene procedimientos para reducir la atracción de agentes transmisores de patógenos.
- Menciona el criterio para calcular las dosis de aplicación de biosólidos que minimicen la contaminación del acuífero por lixiviación de nitratos. (<http://www.coecyt-coah.gob.mx>).

Metales Pesados

De acuerdo a la Norma Americana, si la concentración media mensual de metales en los biosólidos es menor a los valores de la columna 2 (Cuadro 3), los biosólidos se clasifican de "Excelente calidad" (EC) y pueden aplicarse en suelos agrícolas sin mas restricciones por metales pesados.

Si la concentración de algún metal supera el límite de EC, pero es menor a los valores límite de la columna 1 (Cuadro 3), los biosólidos se clasifican como de "No excelente calidad" (NEC).

Estos biosólidos pueden aplicarse al suelo, pero debe registrarse la cantidad total aplicada al suelo en kg/ha de cada metal; cuando alguno de los metales rebasa el valor límite acumulado de la columna 3 (Cuadro3), entonces debe suspenderse la aplicación de biosólidos en dicho predio de por vida.

Los límites contenidos en la Norma Americana están basados en estudios de riesgos a la salud; esto es, asumiendo aplicaciones anuales de 10 ton/ha (peso seco) de biosólidos de excelente calidad al mismo suelo durante 100 años, no se rebasarían los valores límite de la columna 3 (Cuadro 3). (<http://www.coecyt-coah.gob.mx>).

Cuadro 3. Límites permisibles de metales pesados en biosólidos para aplicación en suelos, (US EPA, CFR 40 Part 503). (<http://www.coecyt-coah.gob.mx>).

Metal	(1)	(2)	(3)
	No Excelente Calidad (NEC)	Excelente Calidad (EC)	Tasa acumulativa máxima
	Mg/kg	Mg/kg	Kg/ha
Arsénico	75	41	41
Cadmio	85	39	39
Cromo	3000	1200	3000
Cobre	4300	1500	1500
Mercurio	840	300	300
Níquel	57	17	17
Plomo	420	420	420
Zinc	7500	2800	2800

Patógenos y parásitos

Basado en el contenido microbial, la Norma Oficial Mexicana estableció tres categorías (cuadro 4): Clase A, B y C. Los biosólidos Clase A y B, son materiales con niveles muy bajos de patógenos, existiendo únicamente diferencias en el número de huevos viables de helmintos entre ellos, como lo muestra (Cuadro 5). Los biosólidos Clase A, pueden ser aplicados en la misma forma que los fertilizantes comerciales (agricultura, jardines, parques públicos, etc.) sin las restricciones que gobiernan los biosólidos Clase C.

Se sabe que los procesos para elaborar los biosólidos Clase C tienen como objetivo reducir el indicador bacteriológico por debajo de 2,000,000 de coliformes fecales por gramo de peso seco (las bacterias no patogénicas, coliformes fecales comunes que provienen del intestino humano, son considerados como “organismos indicadores” para mostrar con que eficiencia el tratamiento elimina todos los patógenos). Para los lodos Clase C, los tratamientos aprobados incluyen la digestión aeróbica y anaeróbica, el composteo, tratamientos con calor y secado. Estos tratamientos pueden reducir drásticamente el conteo bacterial. De acuerdo a la USEPA, las aguas residuales crudas contienen típicamente cerca de 1,000,000,000 de las bacterias coliformes fecales por 100 ml de agua residual; en los biosólidos tratados varían de 30,000 a 6,000,000 por 100 ml. También, 100 ml de agua residual cruda contiene un promedio de 8,000 bacterias de Salmonella, mientras que en los biosólidos tratados varían entre 3 a 62 unidades.

Cuadro 4. Aprovechamiento, tipo y clase de los biosólidos.
www.coecyt-coah.gob.mx

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	*Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación *Los establecidos para clases B y C
Excelente o Bueno	B	*Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación *Los establecidos para clase C.
Excelente o Bueno	C	*Usos forestales *Mejoramiento de suelos *Usos agrícolas

Cuadro 5. Límites Máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos. www.coecyt-coah.gob.mx

Clase	Indicador Bacteriológico de Contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coniformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp NMP/en base seca	Huevos de helmitos/g En base seca
A	Menos de 1000	Menor de 3	Menor de 1 ^(a)
B	Menos de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menos de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

Una preocupación importante con los biosólidos Clase C, son los huevos de helmintos, los cuales pueden sobrevivir al tratamiento aplicado a los lodos. Para prevenir la transmisión de éstos y otros organismos resistentes, los agricultores deberán esperar el tiempo necesario, como se sugiere en el (Cuadro 6), antes de cosechar los cultivos en las tierras que recibieron esta clase de biosólidos, esto es, los patógenos son eliminados por exposición al sol, condiciones de humedecimiento y secado, pH desfavorable y otros factores ambientales. www.coecyt-coah.gob.mx

Cuadro 6. Restricciones de cosecha en parcelas donde se usan biosólidos clase C como fertilizante. www.coecyt-coah.gob.mx

Cultivos con partes comestibles en contacto con el suelo	Cosechar 14 meses después de la aplicación
Cultivos con partes comestibles subterráneas	Cosechar 20 meses después de la aplicación, si los biosólidos se expusieron cuando menos cuatro meses antes de ser incorporados al suelo Cosechar 38 meses después, si la incorporación de biosólidos se hizo antes de cuatro meses
Otros cultivos comestibles, forrajes, fibras y praderas para pastoreo.	Cosechar 30 días después de la aplicación
Sitios con alto potencial de acceso público (parques, campos de golf, etc.)	Restringir el acceso por un año
Sitios con bajo potencial de acceso público (aéreas agrícolas).	Restringir el acceso 30 días después de la aplicación de biosólidos.

Contenido de Patógenos

De acuerdo al contenido de patógenos, los biosólidos son clasificados en la Parte 503 en Clase A (menos de 1000 coliformes fecales/100 gr. de sólidos - peso seco- o menos de 3 salmonelas/4 gr. de sólidos -peso seco-), o Clase B (menos de 2,000,000 de coliformes fecales/100 gr. de sólidos -peso seco-). (<http://www.coecyt-coah.gob.mx>).

Los biosólidos Clase A se obtienen mediante procesos adicionales a la estabilización para reducir significativamente los patógenos, por ejemplo tratamientos con calor, pasteurización o composteo. Esta clase de biosólidos puede aplicarse prácticamente sin restricciones, aún en parques públicos y jardines. Los biosólidos Clase B son los que comúnmente se producen en las plantas tratadoras de agua residual después del proceso de estabilización. Esta clase de biosólidos puede aplicarse en suelos agrícolas con las restricciones que se anotan en el (Cuadros 7 y 8). Para reducir la característica de los biosólidos de atraer agentes transmisores de patógenos (moscas y otros insectos), la Norma Americana establece, entre otras cosas:

- Que los sólidos volátiles sean menores al 38%.
- Que el pH sea elevado y mantenerse en 12 o más por 2 horas con la adición de cal, y permanecer a 11.5 o más por 22 horas adicionales sin añadir más cal.
- Inyectar los biosólidos bajo la superficie del suelo.
- Cuando los biosólidos son esparcidos sobre la superficie del suelo, deben incorporarse dentro de seis horas después de la aplicación.

Cuadro 7. Restricciones al uso de biosólidos Clase B, de acuerdo a la Norma Americana (Parte 503). www.coecyt-coah.gob.mx

	Restricción
Frutos con partes comestibles en contacto con la mezcla suelo-biosólido	<ul style="list-style-type: none"> • Cosechar después de 14 meses de aplicados los biosólidos
Frutos con partes comestibles subterráneas	<ul style="list-style-type: none"> • Si la incorporación se realiza a los 4 meses o más después de la aplicación de los biosólidos: Cosechar después de 20 meses de la aplicación • Si la incorporación se realiza antes de 4 meses después de la aplicación de los biosólidos: Cosechar después de 38 meses de la aplicación
Cultivos comestibles, forrajes, fibras	<ul style="list-style-type: none"> • Cosechar después de 30 días de aplicados los biosólidos
Pastos para forraje	<ul style="list-style-type: none"> • Pastar ganado después de 30 días de aplicados los biosólidos
Sitios con alto potencial de acceso público (parques)	<ul style="list-style-type: none"> • Restringir el acceso por un año después de aplicados los biosólidos
Sitios con bajo potencial de acceso público (tierras de cultivo)	<ul style="list-style-type: none"> • Restringir el acceso por 30 días después de aplicados los biosólidos

Con el objeto de evitar riesgos de contaminación del acuífero por la lixiviación de nitratos, la Parte 503 establece que los biosólidos deben ser aplicados en tal cantidad que aporten sólo el nitrógeno que el cultivo requiere para alcanzar un rendimiento esperado. Por lo anterior, para formular una dosis de biosólidos se requiere la siguiente información:

- Concentración de nitrógeno en el biosólido,
- Concentración de nitrógeno residual en el suelo,
- Cantidad de nitrógeno inorgánico que aporta el agua de riego,

- Cantidad de nitrógeno que requiere el cultivo para alcanzar un rendimiento esperado o potencial. www.coecyt-coah.gob.mx

En la Parte 503 se establece que las parcelas que recibirán biosólidos deben estar a más de 10 m de aguas naturales. Adicionalmente, la norma de Canadá regula distancias de separación en parcelas tratadas con biosólidos, de la siguiente manera:

Cuadro 8. Restricciones (distancias de separación de sitios de aplicación) al uso de biosólidos de acuerdo a la Norma de Canadá (Provincia de Ontario) www.coecyt-coah.gob.mx

	Restricción
Manto freático	• 0.9 m (medidos verticalmente)
Roca madre	• 1.5 m (medidos verticalmente)
Pozos de bombeo con profundidad mayor de 15 m.	• 15 m (medidos horizontalmente)
Pozos de bombeo con profundidad mayor de 15 m.	• 15 m (medidos horizontalmente)
Pozos de bombeo con profundidad menor de 15 m.	• 90 m (medidos horizontalmente)
Casas habitación	• 90 m
Área Urbana	• 450 m

Aplicación de biosólidos en pastizales

El uso de biosólidos como fertilizante y/ o mejorador de los suelos ha sido evaluado en pastizales áridos y semiáridos. Los biosólidos aplicados superficialmente en dosis moderadas han mostrado efectos benéficos en la

funcionalidad de estos ecosistemas degradados (Jurado et al. 2004, Jurado 2003, White et al. 1997, Walton et al. 2001).

Fresquez et al. (1990) reporta un incremento en la producción y calidad del forraje de *Bouteloua gracilis* como un resultado de la aplicación de biosólidos a niveles de 45 y 90 ton ha¹ en un pastizal semiárido.

Benton y Wester (1998) mencionan un incremento en la producción de *Hilaria mutica* en respuesta a una aplicación de 7.28 y 34 ton ha⁻¹. *Hilaria mutica* incrementa su altura de la planta, 25.5, 26.6 y 27.0 cm respectivamente los cuales fueron más altos que a tasas de 0 y 17 ton ha⁻¹ dado que la respuesta es de 23.1 y 23.6 cm. respectivamente. Una respuesta similar ocurre con *Obolus airoides* observándose un incremento de altura mayor cuando se aplica en julio. Sin embargo en ambas especies la respuesta es mayor cuando se aplica durante la época de letargo.

Mata-González et al. (2001) reportan que la fitomasa aérea de *Bouteloua gracilis* e *Hilaria mutica* incrementa como un resultado de aumentar los niveles de biosólidos e irrigación. Así mismo es afectada por la estación de aplicación siendo mayor cuando se aplica en primavera que en verano. Plantas tratadas en primavera tuvieron un 100 por ciento y 200 por ciento más fitomasa aérea que plantas tratada en verano a tasas de 34 y 90 ton ha⁻¹ o menores la estación de aplicación no produce diferencias.

Pierce et al. (1998) aplicaron tasas de biosólidos de 0 a 40 ton ha⁻¹ sobre un matorral de *Artemisia spp.* La aplicación de biosólidos incrementa la fitomasa de las gramíneas hasta un 300 por ciento a tasas de 25 ton ha⁻¹ de

biosólidos después de dos años de su aplicación. A nivel especie se reportó un incremento de 60 y 70 por ciento en la concentración de N en especies tales como., *Agropyron smithii*, *A. spicatum* y *Orizopsis hymenoides*, por lo que la cantidad y calidad nutritiva de algunas gramíneas mejoran tanto para el ganado como para la fauna silvestre, con la aplicación de biosólidos.

La cubierta vegetal del suelo y la producción del forraje incrementa con la aplicación de biosólidos en una comunidad de *Bouteloua –Gutierrezia* (Fesques et al 1990). La cobertura y producción de *Bouteloua gracilis* incremento de 2 a 3 veces más que el control, mientras que la densidad de *Gutierrezia sarothrae* decrece. La mejor respuesta resultó con tasas de aplicación de 22.5 y 45.0 ton ha⁻¹ de biosólidos.

En los pastizales semiáridos de Sierra Blanca, Texas (Rostagno y Sosebee, 2001 a) evaluaron los efectos de la aplicación superficial y única de lodos orgánicos en dosis de 7, 18, 34 y 90 Mg.Ha⁻¹ sobre la hidrológica de dos tipos de suelo. Las evaluaciones se realizaron en áreas recién tratadas y en áreas tratadas 18, 12, o 6 meses atrás con lodo orgánico y simulación de lluvia. Las concentraciones P en el agua de escurrimiento sobrepasaron los límites (0.03 mg.L⁻¹) establecido para la eutroficación de agua dulce.

Las concentraciones de N y algunos metales en el agua de escurrimiento después de la aplicación superficial de lodos orgánicos en pastizales de Colorado en dosis hasta 41 Mg.Ha⁻¹ se estimaron por de bajo de los límites tóxicos para ganado (Harris- Pierce et al, 1995).

En estudios realizados en New México para evaluar los efectos a largo plazo (8 años) de la aplicación superficial de lodos orgánicos en pastizales semiáridos (White et al., 1997) se reporta resultados favorables en algunas propiedades del suelo.

Los efectos de lodos orgánicos sobre las propiedades químicas de los suelos en pastizales han sido documentados en algunos trabajos desde los años 80s hasta la fecha. En un pastizal degradado de zacate navajita, la aplicación de lodos orgánicos en dosis de 22.5 hasta 90 Mg.Ha⁻¹ mostró resultados muy promisorios para la utilización de nutrientes en pastizales nativos (Fresquez et al., 1990) ya que se obtuvieron incrementos de algunos macro y micro nutrientes en el suelo.

La evaluación de los efectos de aplicación de lodos orgánicos en pastizales se inicio en la década de los 80s en New México (Whitford, 1989) donde se evaluó la aplicación superficial única de 1 Mg.Ha⁻¹ de lodos orgánico domésticos en unos pastizales degradados de navajita (*Bouteloua gracilis*) (H.B.K. Lag. Ex Steud).

Whitford (1989) al aplicar lodos orgánicos en dosis de 1 Mg.Ha⁻¹ en pastizales de navajita no detectó efectos positivos sobre el pastizal. Sin embargo, investigaciones recientes con dosis más altas (7-90 ton ha⁻¹) han encontrado incrementos en la producción de forraje en gramíneas (C3 y C4) (Fresquez et al. 1990).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

La aplicación de los lodos orgánicos se estableció en el Rancho “Los Ángeles” propiedad de la “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro”, en el cual se encuentra situado a 34 Km. al Sur de Saltillo, Coahuila, México, por la carretera Saltillo Concepción del Oro, Zacatecas.

Cuenta con una extensión total de 6478 Ha, divididas en 20 potreros de diferentes dimensiones. Esta superficie está compuesta por mas de 35 por ciento de sierra, 10 por ciento de lomeríos y 55 por ciento de valles.

Los biosólidos provienen de la planta tratadora de agua FERSINSA. Biosólidos deshidratados fueron aplicados sobre la superficie en un pastizal mediano abierto en condición regular. El sitio de pastizal se encuentra en un potrero del rancho Los Ángeles ubicado en las coordenadas geográficas 26° 26' de latitud norte y 101° 06' de Longitud Oeste a una altitud de 1200 ms nm. Presenta una precipitación promedio anual de 300 mm siendo el período de precipitación de mayo a septiembre y con una temperatura extremosa.

Cuadro 9. Dosis Aplicadas a los Diferentes Tratamientos.

Tratamiento	Dosis (ton/ha) MS	ton/ha	ton/125 m ²
T ESTIGO	0	0	0
T₁	30	136	1.7
T₂	60	272	3.4
T₃	90	409	5.11
T₄	120	545	6.8

*Considerando un 22% de concentración de sólidos

Aplicación de tratamientos

En el potrero No. 10, se procedió a cortar el pasto al ras del suelo con un tractor con chapoliadora (Figura 1). El área fue cercada para prevenir el apacentamiento por bovinos. El sitio se clasifica como un pastizal mediano abierto conformado por *Bouteloua gracilis*, *Aristida curvifolia*, *Erioneron pilosum*, *Sitanion hystix*, *Panicum hallí*, *Stipa tenuissima* entre otros. Los biósólidos fueron aplicados a tasas de 0 (testigo), 30, 60, 90 y 120 Ton ha⁻¹ en parcelas de 5 x 5 en un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones.



Figura 1. Corte del pasto al ras del suelo.

Variables de respuesta

La producción de forraje fue determinada por el método de parcela al final de la estación de crecimiento de los años 2005 y 2007. En cada uno de los 20 tratamientos, un cuadrante de 0.30 m^2 fue tirado al azar y 4 repeticiones por tratamiento fueron cosechadas, para posteriormente ser secado en una estufa de aire forzado a una temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ por 48 horas y pesado posteriormente.

Análisis Estadístico

La respuesta de la vegetación, producción de forraje, de los diferentes tratamientos fue analizado usando un ANVA para bloques al azar a un 5% de probabilidad. Para la comparación de medias, cuando existió diferencia significativa se realizó por medio de la prueba de Tukey.

Por otra parte se aplicó una regresión para relacionar dosis de biosólidos y producción en cada año y entre años.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de forraje 2005

La aplicación superficial de biosólidos en un pastizal degradado muestra un cambio en la producción de forraje de dicho pastizal. La respuesta de la vegetación a diferentes dosis se verá afectada significativamente ($P \pm 0.05$) En la fig. 2 se observa que la dosis de 30 ton h^{-1} de biosólidos tiene un efecto sobre la producción de hasta 1936 Kg MS ha^{-1} el cual es 43 y 52 por ciento más con respecto a la aplicación con dosis de 90 y 120 ton ha^{-1} respectivamente.

Los pastizales sin aplicación de biosólidos producen 1701 Kg MS ha^{-1} . Sin embargo la respuesta de un pastizal al primer año de aplicación de biosólidos es inversa al incremento de aplicación de dichos sólidos. Las diferentes dosis de biosólidos llegan a producir un rango de producción de 1.93 – 0.922 ton MS ha^{-1} . Esto concuerda con Fresquez et al (1990) quienes reporta un incremento en la producción de pastizal de *Bouteloua gracilis* con dosis de 45 – 90 ton ha^{-1} . Esto también se observa en la tendencia al relacionar la dosis de biosólidos con la producción de forraje (fig. 3).

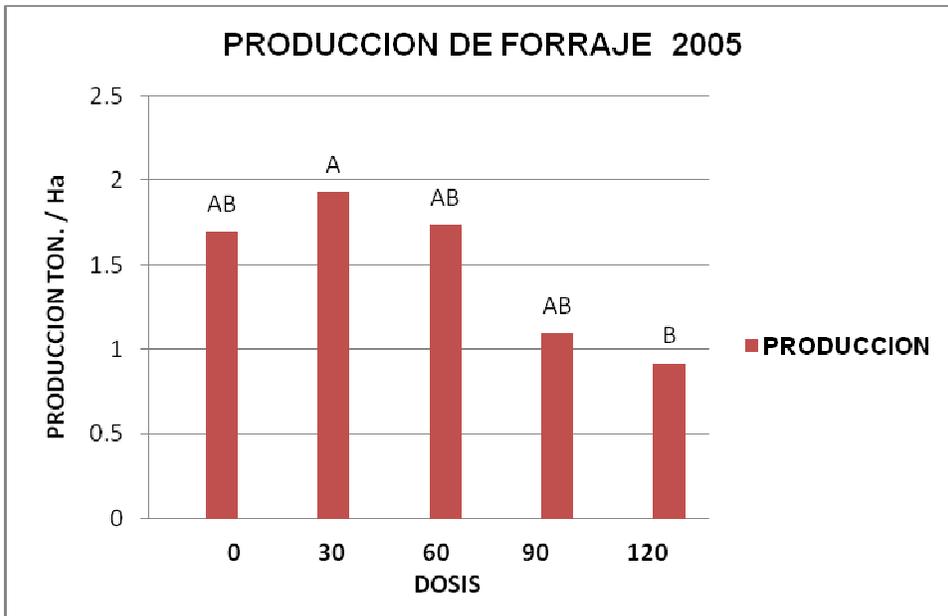


Fig. 2 Producción de material seca (Kg ha¹) de un pastizal de gradado en relación a la aplicación de biosólidos durante 2005.

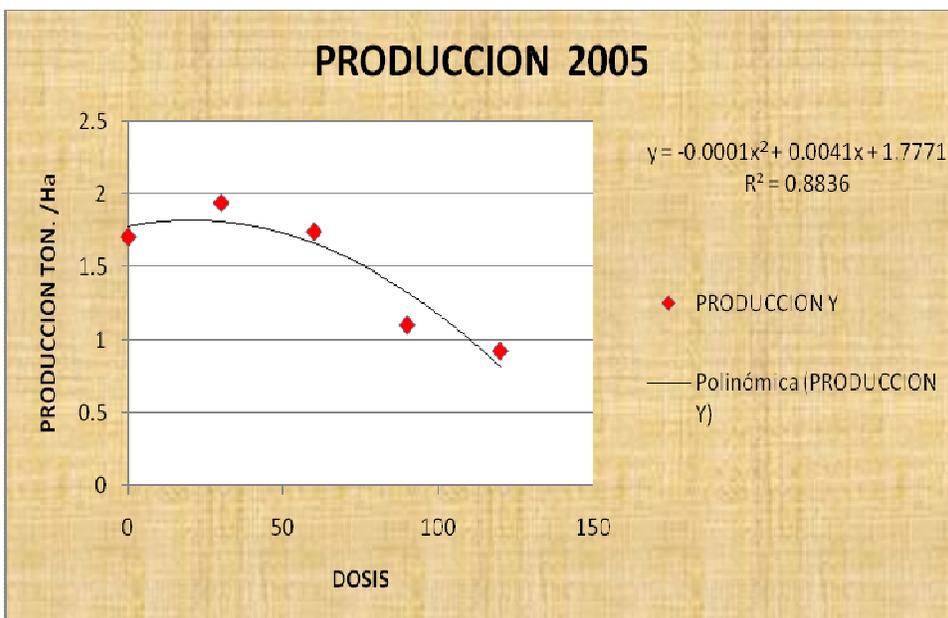


Fig. 3 Relación entre dosis de aplicación de Biosólidos y producción de forraje en un pastizal árido 2005.

Producción de forraje 2007

La respuesta del pastizal a la aplicación de biosólidos después de dos años muestra que no hay diferencias significativamente en los tratamientos aplicados fig. 4. En el se observa que los rangos de producción 1955 – 2666 Kg MS ha⁻¹el cual es superior de o mayor a la aplicación de dosis de 120 ton ha⁻¹.

Se hace notar que aplicaciones de 30 ton de biosolido por hectárea producen mas que dosis mayores hasta más de 400 kg de MS en diferencia, por el contenido con respecto al testigo se producen aproximadamente 700 Kg de Materia seca más. Esto da a entender que a partir del tercer año debe hacerse nuevamente una aplicación.

En la Fig. 5 se muestra la aplicación de biosólidos y producción de forraje lo cual se ajusta a la siguiente ecuación $Y = -0,000X^2 + 0,015X + 2,045$ y una $R^2 = 0.489$.

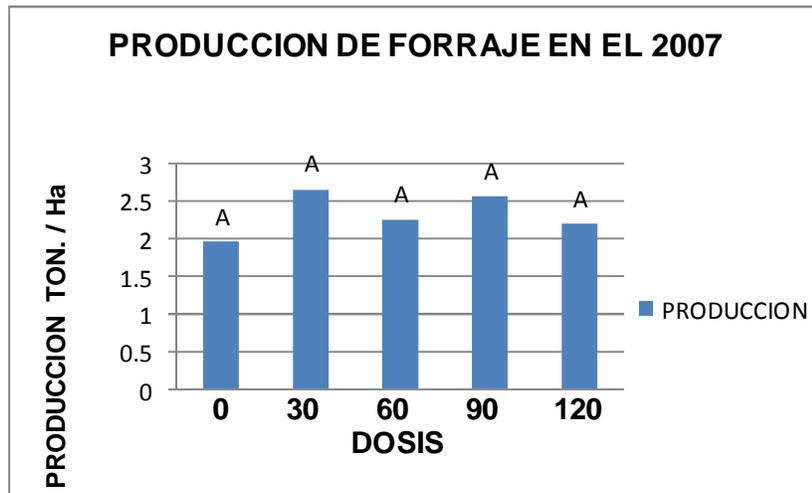


Fig. 4 Producción de material seco (Kg/ha¹) de un pastizal degradado en relación a la aplicación de biosólidos durante 2007.

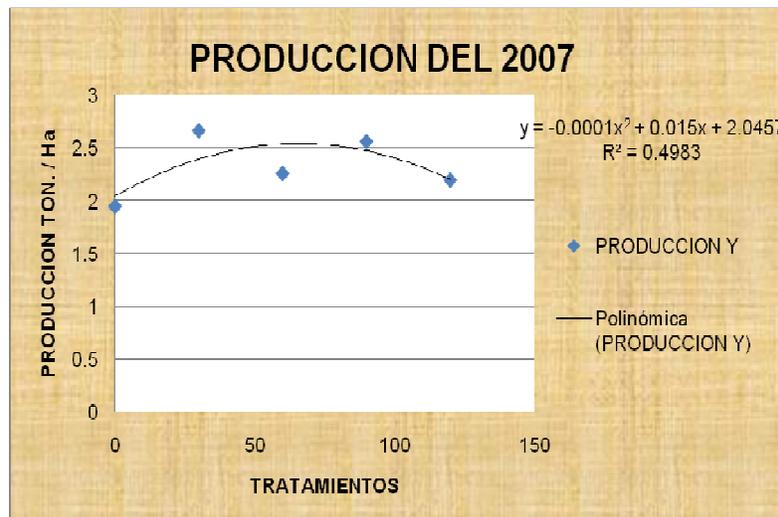


Fig. 5 Relación entre dosis de aplicación de Biosólidos y producción de forraje en un pastizal árido 2007.

Comparación entre años

La tendencia a la producción de forraje a la aplicación de biosólidos entre años se observa una diferencia significativa a una ($P \pm 0.05$) (cuadro 10) y (fig.6). Se observa que la producción del 2007 fue mayor que en e año 2005 también se observa que el pastizal sin biosólidos no existe diferencias entre sus producciones durante 2007. La respuesta a la aplicación fue mayor a la dosis de 30 ton ha^{-1} . Sin embargo durante el 2007 la producción fue de 37 por ciento más que en el 2005 de 1936 Kg MS ha^{-1} . En la (fig. 7) se muestra la producción de forraje entre años en un pastizal árido degradado 2005 y 2007.

Cuadro 10. Comparación de la producción de forraje (Kg MS ha^{-1}) en un pastizal árido degradado durante el 2005 y 2007.

TRATAMIENTO	2005		2007		Diferencia
	-----Kg Ms / ha^{-1} -----				
0	1701	a	1955	a	254
30	1936	b	2666	a	730
60	1737	b	2263	a	526
90	1102	b	2563	a	1461
120	922	b	2202	a	1280

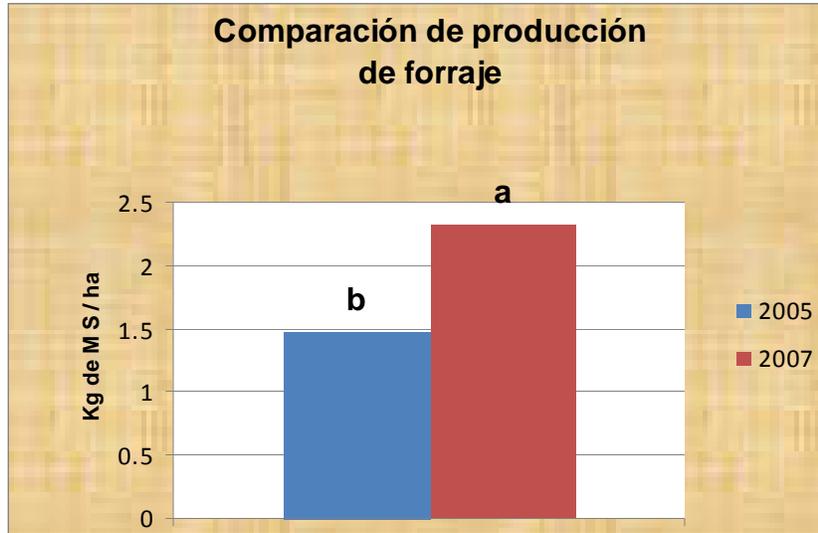


Fig. 6 Comparación de producción de forraje (Kg Ms / ha⁻¹) en un pastizal árido degradado durante el 2005 y 2007.

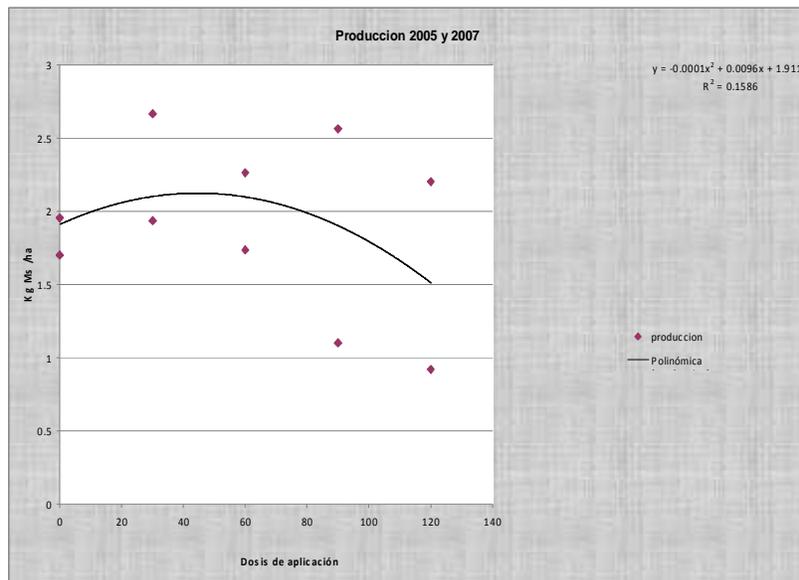


Fig. 7 Producción de forraje en un pastizal árido degradado en los años 2005 y 2007.

Implicaciones practicas de manejo.

La planta tratadora de agua produce 3840 ton de biosólidos al año por lo que de acuerdo a los resultados discutidos anteriormente se requerirán 30 ton de biosólidos por hectárea; con la cual con la producción de biosólidos se podrían rehabilitar 128 hectáreas de pastizales degradados al año.

Por otra parte dada la superficie tratada se tendrían que realizar su aplicación con una estercolera, para una mejor respuesta deberá de aplicarse antes de la época de lluvias.

Así mismo ver la posibilidad de que los biosólidos queden incorporados al suelo a través de un rodillo rehabilitador (aereador).

CONCLUSIONES

En la producción de forraje en el año 2005 la mejor dosis fue de 30 ton ha⁻¹ de biosólidos producen 1936 kg. MS ha⁻¹ el cual es 43.1% y 52.5% más con respecto a la aplicación de biosólidos de 90 y 120 ton ha⁻¹ respectivamente. En el pastizal sin aplicación de biosólidos se producen 1701 kg. MS ha⁻¹.

La producción de forraje en el año 2007 mejoró, la producción en este año incrementó y la mejor aplicación fue la de 30 ton ha⁻¹ de biosólidos llegando a producir 2666 kg MS ha⁻¹. Llegando a producir más que las dosis de 90 y 120 ton ha⁻¹. El pastizal que no tuvo aplicación en llegó a producir hasta 1955 kg MS ha⁻¹.

Por otra parte la producción de forraje mejoró en el año 2007 teniendo un incremento de producción de 750 kg MS ha⁻¹ más que en el año 2005 lo cual cabe concluir que la aplicación de biosólidos mejoró la producción de forraje y a su vez mejoraron la condición del pastizal árido degradado.

BIBLIOGRAFIA

Brenton M.W., and Wester D.B. 1998. Biosolid effects on tobosagrass and alkali zacaton in a Chihuahua Desert grassland. *J. Environ, Qual.* 27:199-208.

Fresquez P.R., Francis R. E. And Denny G.L. 1990 Soil and vegetation responses to sewage sludge on a degraded semiarid broom snakeweed/blue grama plant community *J. Range Manage* 43:325-331

Harris-Pierce RL, Redente EF, Barbarik KA. 1995. Sewage-sludge application effects on runoff water quality in a semiarid rangeland. *J. Environ. Qual.* 24:112-115.

Jurado G.P. 2003. Beneficios del uso de lodos orgánicos o biosólidos en pastizales áridos y semiáridos 14 p. En 1er Seminario Internacional sobre manejo de pastizales, mayo 2-4 Aguascalientes Ags.

Jurado G.P., Luna L.M., Barretero H. R. 2004. Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos en pastizales áridos y semiáridos. *Tec. Pecuaria México* 42: 379-395.

Mata González R., Sosebee R.E., and Wan Ch. 2002 Shoot and root biomass of desert grasses as affected by biosolids application *J. Arid Environmental* 50:477-488.

Pierce B.L., Redente E.F. Barberick K.A. Brobst R.B., and Hegeman P. 1998. Plant biomass and elemental change in shrub and forages following biosolids application *J. Environ. Qual.* 27:789-794.

Rostagno CM, Sosebee RE. 2001. Biosolids application in the Chihuahuan desert: Effects on runoff water quality. *J. Environ. Qual.* 30:160-170.

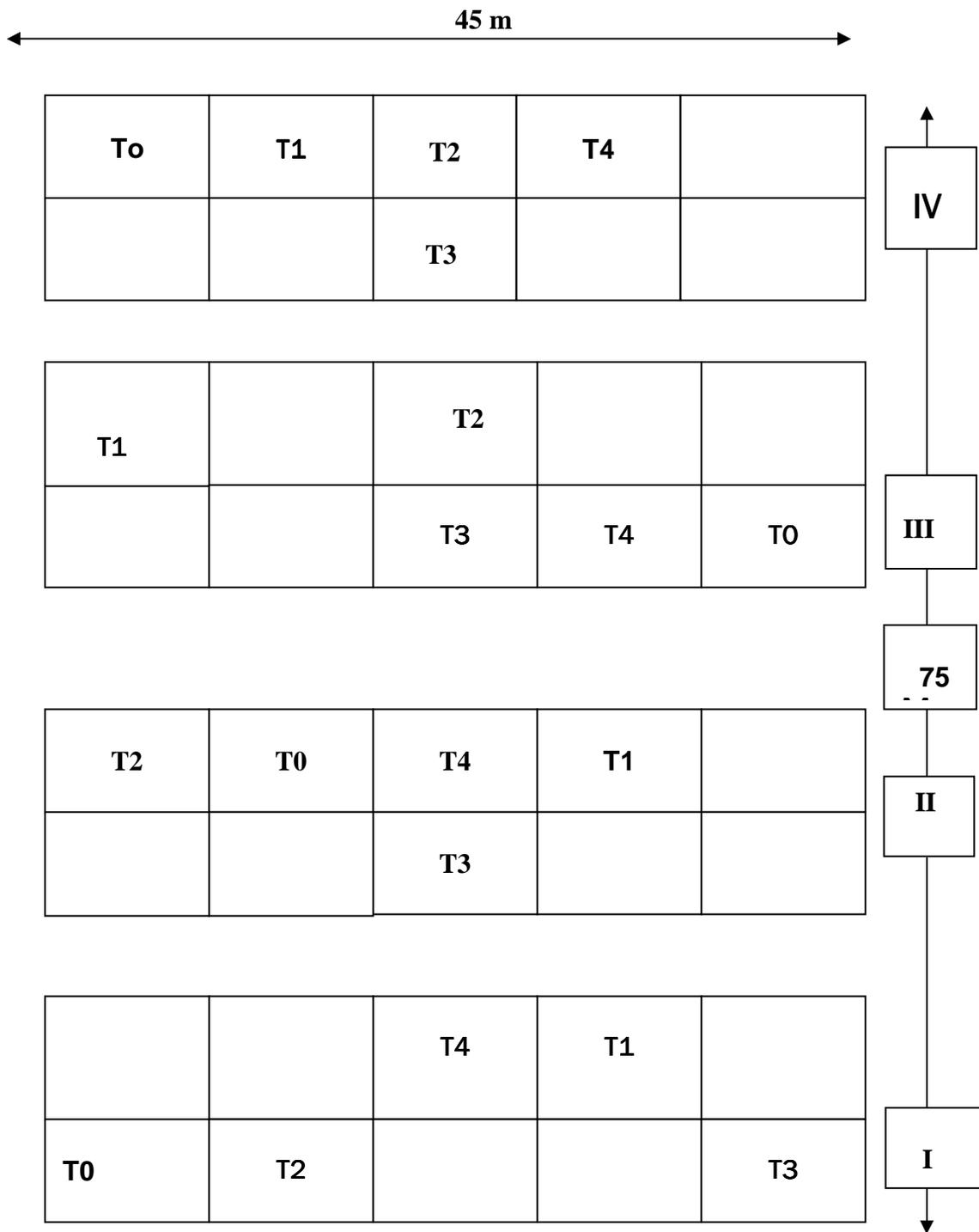
Walton M., Herrick J.E., Gibbens R. P., Remmenga M.D. 2001. Persistence of municipal biosolid in Chihuahuense desert rangeland 18 years after application. *Arid Land Research Magazine* 15:223-232

White C.S., Loftin S.R. and Aguilar R., 1997. Application of biosolids to degrade semiarid rangeland: nine year response. J. Environ. Qual. 26: 1663-1671.

Whitford WG, Aldon EF, Freckman DW, Steinberger Y, Parker LW. 1989. Effects of organic amendments on soil biota on a degraded rangeland. J. Range Manage. 42:56-60.

PAGINAS WEB CONSULTADAS

<http://www.coecyt-coah.gob.mx>



Anexo 1. Croquis de las Parcelas de 5 x 5 en un Diseño de Bloques al azar con 4 Repeticiones.

Carretera Saltillo - Hedionda

Anexo 2. Producción de forraje en el 2005.

Tratamiento	0	30	60	90	120
	1.785	2.006	2.984	1.378	1.317
	2.265	2.176	1.381	1.011	0.931
	1.636	1.994	1.140	0.935	1.120
	1.118	1.567	1.443	1.084	0.319
Suma	6.804	7.743	6.949	4.408	3.688
Media	1.701	1.936	1.737	1.102	0.922

Anexo 2

DISEÑO DE BLOQUES AL AZAR

TABLA DE DATOS

VARIABLE: PRODUCCIÓN

TRATA.	BLOQUES			
	1	2	3	4
1	1.7850	2.2650	1.6360	1.1180
2	2.0060	2.1760	1.9940	1.5670
3	2.9840	1.3810	1.1400	1.4430
4	1.3780	1.0110	0.9350	1.0840
5	1.3170	0.9310	1.1200	0.3190

ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	4	3.108498	0.777124	4.6183	0.017
BLOQUES	3	1.648232	0.549411	3.2651	0.059
ERROR	12	2.019234	0.168269		
TOTAL	19	6.775963			

C.V. = 27.73%

TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
1	1.701000
2	1.935750
3	1.737000
4	1.102000
5	0.921750

COMPARACIÓN DE MEDIAS (TUKEY)

TRATAMIENTO	MEDIA
2	1.9358 A
3	1.7370 AB
1	1.7010 AB
4	1.1020 AB
5	0.9218 B

NIVEL DE SIGNIFICANCÍA = 0.05

TUKEY = 0.9250

VALORES DE TABLAS (0.05), (0.01) = 4.51, 5.84

Anexo 3. Producción de forraje en el 2007

Tratamiento	0	30	60	90	120
	1.277	3.188	1.533	2.444	1.844
	1.688	5.00	1.222	1.466	1.777
	1.422	1.411	2.866	3.000	1.544
	3.433	1.066	3.433	3.344	3.644
Suma	7.82	10.665	9.054	10.254	8.809
Media	1.955	2.66625	2.263	2.5635	2.20225

Anexo 3 Producción de forraje en el 2007

DISEÑO BLOQUES COMPLETAMENTE AL AZAR

T A B L A D E D A T O S

VARIABLE: PRODUCCION DE FORRAJE EN EL 2007

TRATA.	B L O Q U E S			
	1	2	3	4
1	1.2770	1.6880	1.4220	3.4330
2	3.1880	5.0000	1.4110	1.0660
3	1.5330	1.2220	2.8660	3.4330
4	2.4440	1.4660	3.0000	3.3440
5	1.8440	1.7770	1.5440	3.6440

A N A L I S I S D E V A R I A N Z A

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	4	1.315811	0.328953	0.2182	0.922
BLOQUES	3	2.956001	0.985334	0.6537	0.599
ERROR	12	18.087318	1.507277		
TOTAL	19	22.359131			

C.V. = 52.69%

T A B L A D E M E D I A S

TRATAMIENTO	MEDIA
1	1.955000
2	2.666250
3	2.263500
4	2.563500
5	2.202250

COMPARACION DE MEDIAS

T A B L A D E M E D I A S

TRATAMIENTO	MEDIA
2	2.6660 A
4	2.5630 A
3	2.2630 A
5	2.2020 A
1	1.9550 A

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 2.7685

VALORES DE TABLAS (0.05), (0.01) = 4.51, 5.8

Anexo 4

COMPARACION DE MEDIAS CON ARREGLO FACTORIAL 5,2,4 FACTORIAL AxB DISEÑO BLOQUES AL AZAR

TABLA DE DATOS

VARIABLE: COMPARACION DE MEDIAS

A B	BLOQUES			
	1	2	3	4
1 1	1.7850	2.2650	1.6360	1.1180
1 2	1.2770	1.6880	1.4220	3.4330
2 1	2.0060	2.1760	1.9940	1.5670
2 2	3.1880	5.0000	1.4110	1.0660
3 1	2.9840	1.3810	1.1400	1.4430
3 2	1.5330	1.2220	2.8660	3.4330
4 1	1.3780	1.0110	0.9350	1.0840
4 2	2.4440	1.4660	3.0000	3.3440
5 1	1.3170	0.9310	1.1200	0.3190
5 2	1.8440	1.7770	1.5440	3.6440

ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
REPETICIONES	3	0.640732	0.213577	0.2396	0.868
FACTOR A	4	2.357483	0.589371	0.6611	0.627
FACTOR B	1	7.235184	7.235184	8.1159	0.008
INTERACCION	4	2.066864	0.516716	0.5796	0.683
ERROR	27	24.070023	0.891482		
TOTAL	39	36.370285			

C.V. = 49.57%

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR A

FACTOR A	MEDIA
1	1.828000
2	2.301000
3	2.000250
4	1.832750
5	1.562000

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR B

FACTOR B	MEDIA
1	1.479500
2	2.330100

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS AB

FACTOR A	FACTOR B		MEDIA
	1	2	
1	1.7010	1.9550	1.8280
2	1.9358	2.6662	2.3010
3	1.7370	2.2635	2.0002
4	1.1020	2.5635	1.8327
5	0.9218	2.2023	1.5620
MEDIA	1.4795	2.3301	1.9048

COMPARACION DE MEDIAS DEL FACTOR B

TRATAMIENTO	MEDIA
2	2.3301 A
1	1.4795 B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 0.6133

VALORES DE TABLAS:

$q(0.05) = 2.91$ $q(0.01) = 3.93$

