

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS,
CONTABLES Y AGROPECUARIAS



Efecto de los biosólidos en la preferencia animal, producción forrajera y calidad nutritiva del zacate Boer (*Eragrostis curvula*) var. *conferta* en el Norte de Sonora

TESIS

José Roque Martínez Ríos

Santa Ana, Sonora

Abril de 2013

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Efecto de los biosólidos en la preferencia animal, producción forrajera y calidad nutritiva del zacate Boer (*Eragrostis curvula*) var. *conferta* en el Norte de Sonora

TESIS

Sometida a la consideración del Departamento
de Administración Agropecuaria

de la

División de Ciencias Administrativas, Contables y Agropecuarias
de la Universidad de Sonora

por

José Roque Martínez Ríos

Como requisito parcial para obtener el título

de

Licenciado en Agronegocios Internacionales

Santa Ana, Sonora

Abril de 2013

ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN DEL COMITÉ TUTORIAL,
APROBADA Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN AGRONEGOCIOS INTERNACIONALES

COMITÉ TUTORIAL:

DIRECTOR:


Dr. Fernando Arturo Ibarra Flores

ASESOR:


Dra. Martha Hortencia Martín Rivera

ASESOR:


M.A. Francisco Gabriel Denogean Ballesteros

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad de Sonora, *Campus* Santa Ana, así como a todos mis maestros y todo su personal docente y administrativo.

A Dios por haberme dado una familia que me apoya incondicionalmente a cada momento y en cada una de mis decisiones.

A mi director de tesis y mis asesores que sin su apoyo no hubiera podido alcanzar este logro de mi carrera.

A la Universidad de Sonora, al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, a la Fundación Produce Sonora, A. C., Unión Fenosa de Hermosillo por todo el apoyo recibido para la realización de este trabajo. A los C. Fernando A. Ibarra Flores, Francisco Denogean Ballesteros, Martha H. Martin Rivera y Pedro Jurado Guerra por su apoyo y conducción del trabajo. A los C. Sergio Fraijo Zazueta, Mario Del Castillo Elías, Sergio Maytorena López, Norberto Gálvez, Mario Félix Vanegas, Joel Durazo, Luis Enrique Rivera Ruiz, José Alberto Enríquez López, Fausto Rene Fuentes Ruiz, por el apoyo en la realización del estudio y en la captura de datos de campo.

Agradezco al Ing. Fernando A. Ibarra Martín por el apoyo brindado en la edición y corrección del texto en el trabajo y en la realización de las figuras.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi familia principalmente a mis padres por todo su apoyo y esfuerzo que me brindaron para que pudiera cursar mis estudios universitarios.

A mi esposa María del Carmen y a mis hijos José Roque e Iridian Harumi con cariño por ser una parte fundamental para mí.

A mis maestros que desinteresadamente estuvieron dispuestos a colaborar y a ayudarme en todo mi trayecto de mis estudios desde el inicio hasta el fin. Así como a mi comité evaluador de tesis Dr. Fernando A. Ibarra Flores., Dr. Martha H. Martin Rivera, M.A. Francisco G. Denogean Ballesteros.

A mis amigos de la infancia Martín H. Pacheco Valencia y Néstor Abraham Valenzuela Montaña.

A la Universidad de Sonora, *Campus* Santa Ana por haberme abierto sus puertas y brindarme la oportunidad de cursar una carrera profesional.

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Producción y aprovechamiento de biosólidos.....	5
Composición química de los biosólidos y aportación de nutrientes.....	6
Efecto de biosólidos en el ganado.....	7
Efecto de biosólidos en la vegetación.....	8
Efecto de biosólidos en el suelo.....	9
Efecto de biosólidos en el agua.....	11
Aplicación de biosólidos en el suelo.....	12
Beneficio de los biosólidos en el suelo.....	13
Riesgo en el uso de biosólidos.....	14
Control del olor en los sitios de aplicación al terreno.....	15
Seguridad e higiene en la aplicación de biosólidos.....	16
Normatividad aplicable en materia ambiental.....	17
Proceso para el tratamiento de las aguas negras.....	18
Tratamiento de los biosólidos activados.....	20
Tratamiento final de los biosólidos.....	21
Acondicionador de suelos.....	22
Impacto ambiental de los biosólidos.....	22
La materia orgánica y su interés agronómico.....	23
Coloides orgánicos.....	24

	Página
Contaminación del suelo.....	25
Gramíneas y especies forrajeras.....	27
Factores que afectan el valor nutritivo del forraje.....	28
Compuestos antinutricionales.....	29
Descripción del zacate Boer (<i>Eragrostis curvula</i>) var. <i>conferta</i>	29
Origen y distribución geográfica.....	31
Impacto e importancia.....	31
MATERIAL Y MÉTODOS.....	33
Descripción del sitio de estudio.....	33
Metodología.....	35
Diseño experimental y análisis estadístico.....	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
Precipitación.....	42
Características del suelo.....	42
Preferencia animal.....	42
Producción de forraje.....	47
Calidad nutritiva.....	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localización del sitio de estudio.....	34
Figura 2. Ilustración que muestra la aplicación de biosólidos en las parcelas experimentales durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.....	36
Figura 3. Realización de cortes de producción de forraje en áreas tratadas y testigo después de la aplicación de biosólidos en cananea, Sonora, México.....	38
Figura 4. Ilustración que muestra las pruebas de preferencia animal realizadas en las parcelas experimentales durante el verano del 2005 en Cananea, Sonora, México.....	39
Figura 5. Precipitación registrada durante el periodo de estudio en el verano de 2005 y la media de lluvia de 1949 a 2010 en la ciudad de Cananea, Sonora, México.....	43
Figura 6. Preferencia animal promedio (minutos) del ganado vacuno pastoreando en praderas de zacate Boer tratadas con diversas dosis de biosólidos en Cananea, Sonora, México.....	45
Figura 7. Producción de forraje (Ton. M.S./ha) en praderas de zacate Boer tratadas con diversas dosis de biosólidos durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.....	48
Figura 8. Nitrógeno Total (%) en el follaje del zacate Boer en parcelas tratadas con diversas dosis de biosólidos durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.....	50
Figura 9. Proteína Cruda (%) en el follaje del zacate Boer en parcelas tratadas con diversas dosis de biosólidos durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.....	52
Figura 10. Fósforo Total (%) en el follaje del zacate Boer en parcelas tratadas con diversas dosis de biosólidos durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.....	53

	Página
Figura 11. Contenido de Cenizas (%) en el follaje del zacate Boer en parcelas tratadas con diversas dosis de biosólidos durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.....	54
Figura 12. Contenido de Grasa (%) en el follaje del zacate Boer en parcelas tratadas con diversas dosis de biosólidos durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.....	55
Figura 13. Contenido de Fibra Cruda (%) en el follaje del zacate Boer en parcelas tratadas con diversas dosis de biosólidos durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.....	56
Figura 14. Digestibilidad (%) en el follaje del zacate Boer en parcelas tratadas con diversas dosis de biosólidos durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.....	57

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Composición química y aportación de nutrientes en los biosólidos.....	6
Cuadro 2. Concentración máxima de metales permitida en los biosólidos.....	7
Cuadro 3. Límites máximos permisibles para metales pesados en los biosólidos.	17
Cuadro 4. Límites máximos permisibles para patógenos y paracitos en lodos y biosólidos.....	18
Cuadro 5. Características fisico-químicas del suelo en el sitio de estudio en Cananea, Sonora, México.....	44

RESUMEN

Los biosólidos son productos derivados de los desechos humanos que se utilizan en suelos de agricultura y agostaderos para incrementar la fertilidad del suelo y la producción de forraje en las plantas. Sin embargo, no existe información disponible que indique los cambios nutricionales en el pasto introducido "Boer" (*Eragrostis curvula*) var. *conferta* influenciado por la aplicación de los biosólidos. Por lo que se realizó el presente estudio en Cananea, Sonora con el objetivo de evaluar la producción de forraje y la calidad nutritiva del pasto influenciada por la aplicación de diferentes dosis de biosólidos. El estudio se realizó en el rancho experimental de la Universidad de Sonora ubicado en Cananea, Sonora durante el verano del 2005. Se probaron las dosis de 0, 25 y 50 toneladas/ha de biosólidos (base materia seca) en parcelas de 5 x 5 m bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Los biosólidos se esparcieron manualmente sobre la superficie del suelo antes de las lluvias del verano. Todas las evaluaciones de campo se realizaron durante el verano del mismo año. Las variables que se evaluaron fueron: Preferencia animal, producción de forraje y la calidad nutritiva del pasto dado por las siguientes variables: Nitrógeno total, proteína cruda, fósforo total, cenizas totales, grasa, fibra cruda y digestibilidad. Cada variable se analizó en forma individual mediante análisis de varianza simple, utilizando la prueba de rangos múltiples de Duncan para la comparación de medias ($P \leq 0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete COSTAT. Los análisis de plantas fueron hechos en los laboratorios de la Universidad de Sonora *campus* Santa Ana, y en el Departamento de Agricultura y Ganadería de la UNISON en Hermosillo, Sonora, con excepción de la digestibilidad que se realizó en el laboratorio del INIFAP en Carbo, Sonora. Los resultados logrados muestran que la preferencia animal fue de 15.7% en las parcelas de zacate boer no tratadas mientras que fue de 32.5 y 51.8% en las parcelas

tratadas con 25 y 50 ton de biosólidos/ha, respectivamente. La producción de forraje del zacate boer se incrementó significativamente ($P \leq 0.05$) con la aplicación de los biosólidos. La producción de forraje promedió 0.957 ton M.S./ha en el testigo y se incrementó en 49 y 113% con la aplicación de 25 y 50 ton de biosólidos/ha, respectivamente. La calidad nutritiva del pasto también se vio incrementada con los biosólidos. El nitrógeno total se incrementó significativamente en el follaje del zacate boer con la aplicación de biosólidos. El nitrógeno total promedió 0.80% en el testigo y varió de 1.2 a 1.56% en las parcelas tratadas con 25 y 50 ton/ha de biosólidos, respectivamente. La proteína cruda promedió 5.1% durante todo el verano en el follaje del zacate boer y se incrementó en 47 y 95% en las plantas tratadas con las dosis de 25 y 50 ton de biosólidos/ha, respectivamente. El fósforo total en el follaje del pasto también se incrementó significativamente ($P \leq 0.05$) con la aplicación de biosólidos. El contenido del fósforo en el follaje del zacate boer promedió 0.078% en las parcelas testigo y se incrementó entre 54 y 67% en las plantas de las parcelas tratadas con 25 y 50 ton de biosólidos/ha, respectivamente. El contenido de cenizas se incrementó entre 17 y 19% con la aplicación de los biosólidos, pero los incrementos no fueron significativos ($P \geq 0.05$) en comparación con el testigo. El contenido de grasa fue similar ($P \geq 0.05$) entre tratamientos y varió de 1.24 a 1.38% en el follaje del zacate boer en las parcelas tratadas y no tratadas. La fibra cruda en el follaje del zacate boer fue similar entre tratamientos y varió de 27.2 a 31.5%. La digestibilidad fue diferente ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, promedió 37.1% en el follaje del zacate boer en las parcelas testigo y varió de 40.5 a 46.3% en las parcelas tratadas con 25 y 50 ton/ha de biosólidos, respectivamente. Se concluye que el ganado vacuno prefirió consistentemente pastorear las plantas de zacate boer tratadas con biosólidos. Los biosólidos incrementan significativamente la producción de forraje y la calidad forrajera del zacate boer en agostaderos. Estos productos orgánicos,

resultado de la digestión de desechos humanos en las ciudades que resulta un problema para la sociedad, representan un potencial para la rehabilitación de agostaderos áridos y semiáridos en el norte de México.

INTRODUCCIÓN

Los ganaderos y manejadores de agostaderos están atravesando por momentos difíciles en los agostaderos de las diversas regiones del estado de Sonora por problemas relacionados con el sobrepastoreo, sequía, tala inmoderada, quemas accidentales, crecimiento y urbanización, y la extracción de productos tales como minerales, madera, leña, carbón y otros productos usados en la alimentación, construcción y medicina, entre otras. Una gran cantidad de esas áreas requiere de la aplicación de cambios drásticos en el manejo de la tierra para revertir los problemas y hacer un manejo más sustentable. Algunos terrenos se encuentran deteriorados y presentan escasa cobertura de suelo y requieren de la aplicación de prácticas de manejo y mejoramiento para su rehabilitación.

Los biosólidos son material reciclado para uso agrícola como materia orgánica que se agrega al suelo y son el resultado del tratamiento de las aguas residuales. En la actualidad más del 50% de los biosólidos generados en los Estados Unidos se reciclan como mejoradores de suelos para mantenerlos productivos y estimular el crecimiento de las plantas elevando su calidad nutricional. Los biosólidos aplicados al terreno tienen varios propósitos, mejoran las características de los suelos, (textura, capacidad de absorción de agua), las cuales brindan condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a la sequía.

La materia orgánica de los biosólidos puede ser una alternativa para disminuir la necesidad del uso de fertilizantes ayudando al crecimiento óptimo de las plantas, porque mejora la fertilidad del suelo. La aplicación de éstos, también proveen nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo el nitrógeno, fósforo, así como algunos micronutrientes. También pueden servir como una alternativa o sustituto de los costosos y contaminantes fertilizantes químicos.

Los nutrientes contenidos en los biosólidos ofrecen diversas ventajas en comparación con los fertilizantes inorgánicos debido a que, estas formas orgánicas de nutrientes son menos solubles en agua y por lo tanto tienen menor probabilidad de lixiviarse por las corrientes subterráneas o ser arrastradas por las aguas superficiales. Las características del terreno generalmente no impiden la aplicación de biosólidos en los pastizales puesto que la mayoría de la vegetación en los diversos tipos de topografía y suelo se beneficia de esta práctica. Por ser orgánicos pueden ser incorporados lentamente por las plantas en crecimiento.

Es de gran importancia una nueva estrategia que pueda elevar la calidad nutritiva de las plantas forrajeras al ser tratadas con biosólidos y compararla con las que no han tenido este tratamiento. Es preocupante la situación en la que se encuentran actualmente los pastizales, debido a las condiciones de sobre uso que se les ha dado, aunado a las condiciones climáticas extremas y escasas precipitaciones que se han presentado en los últimos años. La gran producción de biosólidos en las ciudades representa un problema social por el alto costo y problemas sanitarios que implica su manejo.

Grandes son las diferencias que se pueden apreciar en la composición de la vegetación que cubre al estado de Sonora, donde lo mismo se puede encontrar pastizales con alta dominancia de gramíneas de excelente valor forrajero, como agostaderos con dominancia de arbustos indeseables así como también zonas de alta precipitación y áreas de desierto donde las lluvias rara vez se presentan. Esta diversidad de condiciones ha provocado que las explotaciones ganaderas tengan un desarrollo muy diferente en cuanto a eficiencia productiva y las que prevalecen ha sido porque se cuidó el recurso forrajero y esto permite también conocer la nobleza de la naturaleza cuando se le presiona con un sistema de producción al cual no estaba acostumbrada o para el que no fue creada.

Resulta de primordial importancia tener una comprensión clara y completa de la composición nutricional de los alimentos que sirven como sustento de los animales, esta necesidad cubre a todos los productores del país, no siendo la excepción el Norte de México donde la ganadería se encuentra bastante desarrollada.

Varios libros y reportes de investigación mencionan los valores nutricionales de algunas especies, los cuales están sujetos a variaciones de medio ambiente y algunas ocasiones resulta difícil interpretar y aprovechar dicha información. Es necesario considerar que cualquier publicación que trate sobre este tema debe señalar cuanto puede variar la composición real de un alimento, con relación al valor promedio que aparece consignado en la literatura, ya que los valores medios de la composición de un alimento sólo son correctas cuando se aplican a muestras representativas de los distintos alimentos que han demostrado ser parte de la dieta real de los animales.

Los principales nutrientes que se deben considerar son los siguientes: proteína cruda, calcio, fósforo, fibra cruda, extracto etéreo, energía, vitaminas, digestibilidad y contenido de materia seca. Las determinaciones de los valores de estos nutrientes deberán ser efectuadas en laboratorios que cuenten con todas las técnicas modernas y cuyo personal esté debidamente preparado.

Los objetivos de esta investigación fueron 1) evaluar la preferencia animal, 2) producción de forraje y 3) los cambios en la calidad nutritiva del zacate Boer (*Eragrostis curvula*) variedad *conferta* influenciados por la aplicación de diferentes dosis de biosólidos en agostaderos.

Las hipótesis en este estudio fueron: 1) Que las plantas de zacate boer son mas preferidas que las plantas sin tratar en las parcelas testigo 2) que los biosólidos incrementan la fertilidad del suelo y que el zacate boer en las parcelas tratadas con biosólidos presentan un

mayor contenido de nutrientes en comparación con las plantas en las parcelas testigo, 3) los biosólidos incrementarán en un 30% la producción de forraje del zacate boer.

REVISIÓN DE LITERATURA

Producción y aprovechamiento de biosólidos.

Recientemente, se han canalizado esfuerzos en investigación para el aprovechamiento potencial de biosólidos para mejorar las tierras de pastoreo (Jurado *et al.*, 2004) y como combustible alternativo (Llamas y Treviño, 2004). Los biosólidos son todos aquellos compuestos de naturaleza orgánica que se generan en forma residual posterior a un proceso biológico o industrial. Tal es el caso de los lodos de la industria alimentaria, la industria del papel, el bagazo de caña o lodo de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) municipales, entre otros. Estos lodos en lo particular presentan un gran potencial debido a la enorme cantidad que se genera actualmente y que se generará en las próximas décadas (Llamas y Treviño, 2004).

En Nueva Zelanda se producen aproximadamente 77,000 toneladas de biosólidos anualmente (Cameron *et al.*, 2004); para Estados Unidos de América se estima en 12 millones de toneladas anualmente en base a materia seca (USEPA, 1999) y para la Unión Europea con 15 países miembros, 7.5 millones (Gómez *et al.*, 2001).

En México se desconoce la cantidad exacta de biosólidos generados; no obstante, algunas estimaciones reportan cifras de 100,000 toneladas para la región centro del país (Colín *et al.*, 2001), pero otras consideran una generación mayor que llega hasta los 12 millones de toneladas al año en más de 1,000 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) distribuidas en el país (Saldaña, 2000). Se estima que en un futuro próximo, la generación de biosólidos en México alcanzará aproximadamente las 650,000 toneladas al año, en base a materia seca (Barrios *et al.*, 2001).

Llamas y Treviño (2004) reportan cifras recientes de que en México solo el 27% del total de las aguas residuales municipales son tratadas, generando aproximadamente 3,900 ton/día de lodos residuales. Estos lodos presentan un contenido de humedad de alrededor del 80% y un valor energético entre los 2,000 y 4,000 kcal/kg de lodo base seca.

El aprovechamiento de los biosólidos se establece en función del tipo, que puede ser excelente y bueno; a la clase, que puede ser A: para uso urbano con contacto público directo durante su aplicación, siempre y cuando se tomen en cuenta los lineamientos para biosólidos clase B y C; B: para uso urbano sin contacto público directo durante su aplicación, siempre y cuando se consideren los lineamientos para biosólidos clase C, y C: para uso forestal, agrícola y mejoramiento de suelos; así como el contenido de humedad que puede ser hasta el 85% (DOF, 2003).

Composición química de los biosólidos y aportación de nutrientes.

La composición química y la concentración de metales de los biosólidos, depende, entre otras razones, de la región o el lugar de origen, es decir, si las aguas negras provienen de desechos industriales o domésticos (Cuadros 1 y 2).

Cuadro 1. Composición química y aportación de nutrientes en los biosólidos.

Nutriente	Concentración (% de peso seco)	Aportación por medio de nutrientes (kg/ton)
Materia orgánica	45.0 - 70.0	575
Nitrógeno	3.0 - 8.0	55
Fósforo	1.5 - 3.0	23
Potasio	0.1 - 0.6	4
Calcio	1.0 - 4.0	25
Magnesio	0.4 - 0.8	6
Azufre	0.6 - 1.3	10

Fuente: Figueroa *et al.*, (2002).

La normatividad aplicable, de acuerdo a la Agencia Protectora del Medio Ambiente establece las concentraciones máximas de metales que no pueden sobrepasarse en los biosólidos que van a ser aplicados al terreno. Estas se denominan concentraciones límite. La misma normatividad también contempla las tasas acumulativas de carga contaminante aplicable a los metales pesados citados en el Cuadro 1, las cuales no deben excederse en los lugares de aplicación al terreno. Un tercer apartado de criterios para metales es conocido como las concentraciones de agentes contaminantes. Si estas concentraciones no son sobrepasadas en los biosólidos que se aplicaran al terreno, entonces no es necesario hacer el seguimiento de las tasas acumulativas de carga contaminante (EPA, 2000).

Cuadro 2. Concentración máxima de metales pesados permitida en los biosólidos.

Metales	Concentración límite (mg/kg)	Tasas acumulativas de carga contaminante (mg/kg)	Concentración del contaminante (mg/kg)
Arsénico	75	41	41
Cadmio	85	39	39
Cobre	4,300	1,500	1,500
Plomo	840	300	300
Mercurio	57	17	17
Molibdeno	75	NL	NL
Níquel	420	420	420
Selenio	100	100	100
Zinc	7,500	2,800	2,800

NL. No tiene límite establecido.

Fuente: US EPA 1993 Y 1994, citada por EPA (2002).

Efecto de biosólidos en el ganado.

En la actualidad existe escasa información relacionada con los efectos de los biosólidos sobre el comportamiento del ganado bovino productor de carne en pastizales semiáridos (Jurado *et al.*, 2004). Sin embargo, resultados de investigación han demostrado que aún

cuando los biosólidos contengan metales pesados como el cobre, plomo y cadmio, estos no representan problema para el ganado que consume pastizales tratados con biosólidos, por lo tanto, no afecta al consumo humano de este tipo de animales (Ávila *et al.*, 2003).

En otros estudios realizados en Baltimore, Largo y Tampa, en Estados Unidos con novillos *Angus* para evaluar su estatus mineral, los cuales pastorearon en praderas de zacate bahía (*Paspalum notatum*), fertilizando con dosis altas de biosólidos (33.6 y 44.8 ton/ha) de excepcional calidad, se encontró que los novillos presentaron deficiencias de cobre, según los signos evidentes presentados en el pelo descolorido, asimismo, el cobre se encontró en bajas concentraciones en el hígado. Las aplicaciones de biosólidos al zacate bahía no afectan en su estatus mineral en el suelo, excepto el almacenamiento de cobre (Tiffany *et al.*, 2002).

Efecto de biosólidos en la vegetación.

Paschke *et al.* (2005), reportaron en estudios recientes realizados en el noroeste de Colorado, Estados Unidos, donde evaluaron el efecto de los biosólidos a largo plazo sobre dos substratos de áreas degradadas (subsuelo y superficie del suelo), demostraron que en el estrato de subsuelo se redujo la densidad y diversidad de especies de zacates perennes y en la superficie del suelo, decreció en 28% la densidad de los zacates perennes *Agropyron cristanatum*, *Agropyron desertorum*, *Bromus inermes*, *Sporobolus cryptandrus*, entre otros, y aumento en 52% la densidad de los arbustos *Artemisia tridentata*, *Gutierrezia sarothrae*, entre otros. Los resultados mostraron también que es muy importante considerar las condiciones iniciales del suelo, mezcla de semillas para la resiembra, y los rangos de aplicación de biosólidos usados para la restauración de los suelos.

También Martínez *et al.* (2003), en estudios realizados en diferentes terrenos de ecosistemas semiáridos degradados, mostraron que el crecimiento de plantas nativas mejoró

con la aplicación de biosólidos en dosis de 40, 80, y 120 ton/ha. La cobertura total y la producción de biomasa se incrementaron significativamente, manteniéndose altos en todos los tratamientos evaluados durante tres años. Respecto a las especies buenas de las plantas nativas, éstas decrecieron con el incremento de las dosis de biosólidos. También se observaron diferencias en el desarrollo de plantas y fue mas remarcado el cambio después de tres años de aplicación de biosólidos. Se obtuvieron incrementos en las concentraciones de N, P, K, y Cu, en los tejidos de las plantas, no así para Pb, Cd, Ni, Cr. Se determinó que las aplicaciones de biosólidos en dosis de 80 ton/ha, pueden dar los mejores resultados en el suelo y en la vegetación nativa, reduciendo los riesgos de contaminación para el medio ambiente.

Efecto de los biosólidos en el suelo.

Está comprobado que el incremento en el contenido de materia orgánica del suelo; por su aporte de N orgánico, aumenta el contenido de N mineral disponible para los cultivos y por su nivel de nutrientes influye en la concentración de fósforo, calcio, potasio, magnesio, zinc, boro y cobre, del suelo. Por lo tanto, el uso de biosólidos en agricultura es importante en muchos países como un sustituto parcial de los fertilizantes y como un corrector de las propiedades físicas (Lavado y Tabeada, 2002). De acuerdo con los mismos autores, los biosólidos son un importante proveedor de nutrientes a los suelos y este aporte puede dar lugar a mayores rendimientos de cultivos y pasturas, en función de las características del ambiente y del manejo agrícola, ya que los biosólidos actúan como un sustituto parcial de los fertilizantes y generalmente se encuentran respuestas positivas por parte de los cultivos (biomasa y rendimiento) a su agregado.

Estas respuestas en rendimiento pueden ser semejantes a las encontradas con fertilizantes químicos y aun superiores; sin embargo, en todos los casos las respuestas suelen

estar limitadas por las condiciones hídricas durante el ciclo del cultivo (Lavado y Tabeada, 2002). Por otro lado, como otros abonos orgánicos, los biosólidos son considerados mejoradores de las propiedades físicas de los suelos, lo cual se hace evidente cuando se usan como mejorador en suelos degradados: dicha degradación se vincula con la pérdida de la estabilidad estructural y el encostramiento, a lo cual, se une la reducción de la actividad biológica y procesos de degradación química que es la disminución del contenido de materia orgánica y agotamiento de nutrientes.

El problema se agrava cuando la magnitud del proceso conduce a la pérdida del horizonte A, ya que la remoción de este horizonte reduce considerablemente la productividad de los suelos y afecta los agrosistemas (Lavado y Tabeada 2002). Los mismos autores indican que la posible acumulación de elementos traza en los suelos, por el uso continuo, es uno de los principales problemas que posee el uso agrícola de los biosólidos. Algunos elementos como el cadmio, cromo, níquel, y plomo, significan una amenaza para el medio ambiente y la salud, debido a su toxicidad potencial y acumulación en la cadena alimenticia. Esta posible acumulación es consecuencia de la presencia de elevadas concentraciones de estos elementos en los efluentes urbanos.

Algunos micro nutrientes como el cobalto y zinc, también pueden alcanzar concentraciones suficientemente elevadas como para pasar a ser potencialmente tóxicos (4,300 y 7,500 mg/kg, respectivamente) (EPA, 2000). Las concentraciones de estos elementos en el biosólido, su carga anual aceptable en los suelos y otros elementos de juicio relativos a estos temas constituyen una parte esencial de las regulaciones existentes a nivel mundial (Lavado y Tabeada, 2002).

Las aplicaciones de biosólidos pueden afectar positivamente las propiedades físicas del suelo y promover la rehabilitación de tierras degradadas (Rostagno y Sosebee, 2001). No

obstante, la aplicación de biosólidos sobre la superficie del suelo tiene consecuencias hidrológicas favorables sobre la erosión del suelo en terrenos dedicados al pastoreo, que depende del rango de aplicación de biosólidos, de las características del mismo y del sitio de aplicación (Moffet *et al.*, 2005).

En estudios recientes realizados en Nuevo México (Whitford *et al.*, 1998) y Texas (Jurado, 2000; Yan *et al.*, 2000), se observó que la aplicación superficial de biosólidos aumento la infiltración de agua; además, redujo la erosión del suelo en pastizales semiáridos.

Investigaciones realizadas por Walton *et al.* (2001), muestran que de los biosólidos aplicados al terreno desde hace 18 años, aun persisten aproximadamente el 32%, en forma de fragmentos. Sin embargo, no se encontró correlación entre los fragmentos identificados y los patrones de vegetación nativa del sitio.

Efecto de biosólidos en el agua.

La Junta para el Control del Recurso Agua del Estado de California, establece que si se aplican cantidades excesivas de biosólidos al suelo, pueden provocar serios problemas en los cuerpos de agua mediante el escurrimiento, ya que se genera una alta concentración y toxicidad de metales pesados y algunos nutrientes, afectando su calidad. Asimismo, la materia orgánica encontrada en los biosólidos ayuda al suelo a retener agua. Esta retención extra de agua, reduce la necesidad de regar con más frecuencia y facilita la conservación de la humedad en el suelo. Algunas veces los biosólidos son químicamente estabilizados con cal. Los agentes con cal aumentan el pH del suelo y pueden aumentar la habilidad de éste para retener agua. También, los suelos con pH alto tienden a retener metales pesados, disminuyendo el riesgo de que éstos pasen a las aguas del subsuelo y provocar daños al ecosistema (CSWRCB, 2000).

Los trabajos de investigación realizados en diversos países indican que la aplicación de biosólidos al suelo tiene poco o no tiene riesgo del todo sobre el agua subterránea. Las formas orgánicas de nutrientes en los biosólidos son menos solubles en el agua que en los fertilizantes químicos y presentan menos posibilidades de infiltrarse en el agua subterránea o desplazarse con el agua superficial de escurrimiento. Por lo tanto, el impacto potencial de las fuentes de agua se minimizan con prácticas propias de manejo, incluyendo la no sobre aplicación de biosólidos, manejando áreas de protección entre las áreas aplicadas y los cuerpos de agua y siguiendo prácticas de conservación de suelos (Enkerlin *et al.*, 1999; EPA, 2000).

Aplicación de biosólidos en el suelo.

De acuerdo con Jiménez (2002), y Jaynes *et al.* (2003), El término aplicación significa que los biosólidos se colocan en los suelos para tomar alguna ventaja de su contenido de nutrientes o de sus propiedades para acondicionar suelos. Existen dos grupos de suelos a los que se pueden aplicar biosólidos: Suelo agrícola (pastizales o de cultivo), forestal y sitios de acondicionamiento (campos minados y sitios de construcción), aeropuertos llamados colectivamente sitios de contacto no público. Parques públicos, invernaderos, viveros, campos de golf, cementerios, prados y jardines familiares; llamados colectivamente sitios de contacto público.

Los problemas asociados con la aplicación de biosólidos en los suelos son el riesgo de contaminar plantas y acuíferos con patógenos y elementos químicos y la posible existencia de olores desagradables. Para evitar estos problemas es importante seguir diversos lineamientos. En el caso de la contaminación de los acuíferos por nitrógeno en forma de nitratos es un caso al que, generalmente, se pone más atención y la cantidad de biosólidos aplicados al suelo se limita, usualmente por este elemento (Jiménez, 2002; Moffet *et al.*, 2005).

Beneficios de los biosólidos en el suelo.

Según la Agencia Protectora del Medio Ambiente la materia orgánica en los biosólidos mejora la textura y la capacidad de retención de agua en el suelo, los cuales promueven el crecimiento radicular. La aplicación de biosólidos también provee nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, incluyendo nitrógeno y fósforo, así como algunos micro-nutrientes esenciales, tales como son el níquel, zinc y el cobre. Los nutrientes que contienen biosólidos ofrecen varias ventajas sobre los inorgánicos, los fertilizantes químicos se liberan lentamente a las plantas en crecimiento. Estas formas orgánicas de nutrientes son menos solubles en agua y, por tanto, menos probables de filtrarse en las aguas subterráneas o de salirse en las aguas superficiales. El reciclaje es otro aspecto importante de la aplicación en la tierra. En lugar de la incineración o eliminación de los biosólidos, estos materiales son devueltos a la tierra para uso benéfico (EPA, 2000; Jurado, 2000).

De acuerdo con CSWRCB, (2000) y Rostagno y Sosebee, (2001), los biosólidos, conocidos también como lodos de las aguas residuales tratadas, son una buena fuente de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, y micronutrientes. Estos materiales, una vez aplicados, benefician a la agricultura, silvicultura, horticultura, y recuperación de tierras pantanosas. Específicamente, los beneficios derivados de los biosólidos usados como mejoradores del suelo se describen a continuación: a) Aporta cantidades importantes de nitrógeno, que es el nutriente básico para el crecimiento de la planta y está presente en el suelo en diferentes formas; en los biosólidos se presenta en forma de amonio, nitratos y nitrógeno orgánico. El nitrógeno del amonio y nitratos están listos para ser usados por la planta. El nitrógeno orgánico es liberado lentamente durante muchos meses, proveyendo continuamente nitrógeno a los cultivos y minimizando el movimiento potencial de éste a las aguas del subsuelo.

Otros autores señalan que el nitrógeno total disponible para la planta en cualquier momento es menos que la cantidad total de este mineral, debido a la dinámica del ciclo de nitrógeno en el suelo; b) Aporta fósforo, que es nutriente básico para el crecimiento de la planta y está presente en todos los biosólidos en diferentes concentraciones; c) Aporta micronutrientes, incluyendo diferentes sales y metales, los cuales son necesarios para el crecimiento de la planta y están presentes en los biosólidos en diferentes cantidades y d) Mejora la estructura del suelo a través de la materia orgánica contenida en los biosólidos ya que ésta ayuda a mantener la porosidad del mismo (USEPA, 1999; CSWRCB, 2000).

Riesgo en el uso de biosólidos.

Indudablemente existen riesgos al usar biosólidos, ya que éstos presentan algunas características que pueden provocar problemas y afectar la calidad del agua y la salud pública si son tratados y manejados inadecuadamente durante su uso como mejorador del suelo; por ejemplo: a) Algunos patógenos pueden estar presentes. Al menos que los biosólidos sean especialmente tratados o desinfectados para destruir dichos patógenos, concentraciones significativas de bacterias, virus y parásitos pueden quedar en los biosólidos. Éste problema de salud pública puede ser prevenido, con un control apropiado del acceso del público a las zonas de aplicación, restricciones en el uso y siembra de ciertos cultivos en las áreas tratadas además, estableciendo zonas de protección alrededor de los pozos de agua, aguas superficiales, canales de drenaje y áreas públicas para prevenir la transmisión de patógenos al público; b) Metales pesados estarán presentes (CSWRCB, 2000).

Por otro lado, EPA (2000) y DOF (2000), indican que décadas de estudio han demostrado que los biosólidos pueden ser usados sin peligro en cosechas de productos alimenticios. Las dependencias oficiales han revisado las prácticas actuales, preocupaciones de la salud pública

los estándares regulatorios y han concluido que el uso de esos materiales en la producción de alimentos para consumo humano cuando se practica de acuerdo con las guías federales reguladoras existentes, presentan márgenes libres de riesgo para el consumidor, a la producción de las cosechas y al medio ambiente. Adicionalmente, un estudio epidemiológico de la salud realizada en familias del campo que utilizaron los biosólidos en la producción de sus alimentos mostró que el uso de los biosólidos era seguro (EPA, 2000).

Control del olor en los sitios de aplicación al terreno.

Los biosólidos tienen olores, los cuales tienden a ser más fuertes cuando se esparcen en el terreno. Los olores de los biosólidos son más una molestia que una amenaza para la salud humana o el medio ambiente. Los olores se disipan cuando los biosólidos se mezclan con el suelo. Los biosólidos pueden tener su propio olor distintivo dependiendo del tipo de tratamiento por el que pasaron. Algunos productos pueden tener un ligero olor a amonio, otros pueden tener un olor más intenso y resultar ofensivos para el público. Mucho del olor es causado por compuestos que contienen sulfuro o amonio, ambos de los cuales son nutrientes de las plantas (EPA, 2000; Moffer *et al.*, 2005).

La persona o entidad que produce los biosólidos tiene la responsabilidad de realizar el control del olor en los sitios de aplicación al terreno. La metodología más efectiva en términos económicos para el control del olor podría ser el examinar las prácticas de operación y de mantenimiento en la instalación de procesamiento. Las condiciones sépticas pueden generar un producto de biosólidos que sea de olor más desagradable de lo necesario. Algunos polímeros se descomponen y forman compuestos que generan olores a altas temperaturas y valores elevados de pH (EPA, 2000).

La digestión anaeróbica incompleta puede dar lugar a olores mucho más fuertes a los producidos por cualquier otro tipo de digestión. Se ha encontrado que la mezcla de lodo crudo y los lodos activados de purga (LAP) antes de almacenar el líquido resultante puede dar lugar a concentraciones mucho más altas del sulfuro de dimetilo (Hentz y Cassel, 2000).

Seguridad e higiene en la aplicación de biosólidos.

De acuerdo a Lavado y Tabeada (2002), el trabajo con biosólidos involucra riesgos específicos de origen biológico y de origen químico. Los primeros involucran los riesgos de contagio de distintos tipos de enfermedades y los segundos los problemas de toxicidad aguda o crónica. Los riesgos físicos no se diferencian de otras tareas rurales. La ropa debe ser cómoda, y depende de la función del trabajador en el proceso de transporte, almacenamiento y distribución de biosólidos en el campo. Se deben incluir guantes resistentes e impermeables, calzado de seguridad y anteojos protectores. Puede utilizarse delantal impermeable o equipos de protección total y aislamiento del cuerpo.

Un aspecto muy importante es la necesidad de prevención, atendiendo a todos los factores de riesgo. Esta prevención implica la capacitación del personal, la planificación y organización de las tareas, manteniendo siempre las normas de seguridad establecidas en esta materia (EPA, 2000; Lavado y Tabeada, 2002).

En general los biosólidos tipo A pueden ser tocados y usados sin peligro por la gente sin ninguna restricción. Ellos pueden ser incluso vendidos en las tiendas para su uso en casas y jardines. Los biosólidos tipo B son restringidos para el acceso del público en general, pero pueden ser usados sin riesgo por personal entrenado. Cuando por alguna razón un biosólido tipo B no cumple con los estándares requeridos por la Agencia Protectora del Medio

Ambiente, éstos son enviados al desecho donde se protegen para que no contaminen ni sean un peligro para el público y el medio ambiente (EPA, 2000).

Normatividad aplicable en materia ambiental.

De acuerdo con el Diario Oficial de la Federación DOF. (2003), la norma oficial mexicana 004 de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales del año 2002 (NOM-004-SEMARNAT), establece los límites en la concentración de algunos elementos en los biosólidos que se aprovechan en terrenos agrícolas y pastizales (Cuadro 3).

Cuadro 3. Límites máximos permisibles para metales pesados en los biosólidos.

Contaminante Determinados en forma total	Excelentes mg/kg en base seca	Buenos mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1,200	3,000
Cobre	1,500	4,300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	220	420
Zinc	2,800	7,500

Tomado de DOF, (2003).

Además de ésta norma, la aplicación de biosólidos con fines agrícolas y mejoramiento de suelos se sujetará a lo establecido en la Ley Federal de Sanidad Vegetal y conforme a la normatividad vigente en la materia. En general, los biosólidos para usos forestales,

mejoramiento de suelos y uso agrícola, se clasifican en dos tipos: excelentes y bueno en función de su contenido de metales pesados; y en clase A, B, y C, en función su contenido de patógenos y paracitos (Cuadro 4) (DOF, 2003).

Cuadro 4. Límites máximos permisibles para patógenos y paracitos en lodos y biosólidos.

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base seca	Huevos de Helmitos/g 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

Tomado de DOF, 2003.

(a) Huevos de Helmitos viables

De acuerdo con Lavado y Tabeada (2002), la normatividad aplicable en materia ambiental de argentina, establece que los biosólidos pueden ser utilizados como abonos orgánicos en cultivos extensivos e intensivos, en pastizales y para rehabilitar suelos degradados.

Proceso para el tratamiento de las aguas negras.

Las aguas negras no son solo las descargas de los sanitarios, sino el conjunto de todos los desagües de las industrias y hogares. El agua de desecho es en proporción a mil partes de agua por una de desperdicios, o sea, 99.9% de agua y 0.1% de desperdicios. Dado este voluminoso uso, la cantidad de aguas de desecho generadas por persona al día es de 600 a 800 litros (Nebel y Wright, 1999). En una población de 100,000 habitantes se descarga de seis a ocho millones de litros diarios; si se añaden las lluvias, las aguas de desecho se diluyen más.

Aún así, los contaminantes que contienen bastan para ennegrecerlas y hacerlas oler mal (Nebel y Wright, 1999).

De acuerdo con los mismos autores, los contaminantes se dividen en cuatro categorías, que a su vez, corresponden a las técnicas empleadas para eliminarlos: (1) residuos y cuerpos sólidos, (2) partículas de materia orgánica, (3) materia orgánica disuelta y en estado coloidal y (4) material orgánico disuelto. Las partículas de materia orgánica que se retira de la superficie y el fondo de las aguas residuales durante el primer tratamiento forma la mayor parte de los lodos en bruto, a los cuales se le añaden los excedentes de lodo activado (proceso en el cual los microorganismos consumen la materia orgánica, junto con los microorganismos patógenos y reducen la biomasa) y los sistemas de separación biológica de los nutrientes (eutrofización cultural). Los lodos en bruto originales forman un líquido negro, maloliente y espeso con 97 o 98 por ciento de agua. Asimismo, es muy probable que contengan microorganismos patógenos, porque captan desechos de los sanitarios; por ello se considera material biológico peligroso (Nebel y Wright, 1999).

Conforme ha mejorado el tratamiento de las aguas residuales, han crecido en proporción los lodos de los que hay que encargarse. Hace algún tiempo, se creía que este lodo era un material del que había que deshacerse sin más, y se incineraba, depositaba en rellenos sanitarios o se transportaba al mar y se vertía, todo lo cual origina contaminación. Apenas en la última década se ha promovido su aprovechamiento como fertilizante orgánico. Aun así, el valor de los lodos de las aguas residuales como fertilizante no compensa los costos de tratamiento y transportación. Su valor real debe ser considerado en términos de restablecer un ciclo sostenible de nutrientes en los suelos y proteger las corrientes de agua de la contaminación y la eutrofización cultural (Nebel y Wright, 1999).

Tratamiento de los biosólidos activados.

Uno de los tratamientos biológicos más importantes en aguas residuales es el de los biosólidos activados. En este tratamiento se utilizan dos tanques, los cuales sirven para oxidar la materia orgánica, para sedimentar los residuos y microorganismos del efluente final. El tratamiento de biosólidos activados incluye un proceso de tres etapas: tratamiento preliminar, sedimentación primaria y tratamiento secundario (biológico). La concentración de metales pesados en los biosólidos está entre las principales consideraciones en la aplicación agrícola de éstos, ya que son potencialmente dañinos para las plantas y/o salud animal e incluso con los humanos (EPA, 2000).

Actualmente se utilizan cuatro métodos para convertir los lodos residuales en fertilizante orgánico: (1) la digestión anaeróbica, (2) la preparación de composta, (3) la pasteurización y (4) la estabilización con cal. Puesto que se trata de una industria nueva, no está claro qué método será a largo plazo el más costeable y práctico para el medio. Asimismo, ninguno recoge ciertas sustancias tóxicas, como metales pesados o compuestos patógenos, parásitos y el contenido de compuestos carbonados lábiles en los biosólidos; y terciarios, en los cuales se suman tratamientos químicos. Dentro de las alternativas disponibles para la disposición final de los biosólidos destaca el reciclaje del residuo. El reuso agrícola, dentro de criterios seguros, es una de las posibilidades de menor impacto ambiental y costos de operación. La idea de valorizar los biosólidos en agricultura nace del concepto de que éste es más un recurso que un residuo, dadas sus propiedades de mejorador del suelo y su contenido de nutrientes. Sin embargo, no es recomendable su uso sin controles. La utilización agrícola de los biosólidos contribuye, además de aportar nutrientes al suelo, a una agricultura autosustentable (Lavado y Tabeada, 2002).

Tratamiento final de los biosólidos.

De acuerdo con Enkerlin *et al.* (1999), existen varios caminos para lograr un adecuado confinamiento de biosólidos generados al tratar los efluentes contaminados. Aunque son muchas y muy diversas las maneras de confinamiento, a continuación se describen brevemente algunos de ellos.

Estabilización; reduce el potencial peligro de los biosólidos al convertir el contaminante a su forma menos soluble, móvil o tóxica. La naturaleza física y su manejabilidad no necesariamente cambian al ser tratados para lograr su estabilidad.

Solidificación; Los biosólidos son encapsulados en sólidos monolíticos de alta integridad estructural y puede ser en partículas finas (microencapsulación) o en grandes bloques o en contenedores (macroencapsulación). Esto no involucra una interacción química entre el contaminante y el reactivo solidificante.

Destrucción térmica; cuando los biosólidos cuentan con características que los hacen candidatos a ser utilizados como combustibles alternos, pueden ser utilizados para este fin. Si en su constitución no tienen compuestos que al quemarse generen otro tipo de contaminantes más graves que pueden emplearse como alternativa la destrucción térmica. En este tipo de técnicas se elimina completamente a los constituyentes de los biosólidos mediante la formación de sus óxidos. Las cenizas (óxidos generados) luego son confinadas y los óxidos gaseosos obtenidos pueden colectarse mediante su solubilización en algún solvente afín. En general, existen en tanto en México como en muchos otros países del mundo, una gran diversidad de empresas dedicadas al tratamiento (desactivación), disposición (confinamiento) y/o incineración (destrucción térmica) de los residuos peligrosos (Enkerlin, *et al.*, 1999; USEPA, 1999).

Acondicionador de suelos.

Los biosólidos contienen un alto porcentaje de humedad, materia orgánica (MO) y nutrientes para las plantas como nitrógeno y fósforo; sin embargo, su composición varía diariamente y de manera estacional, aun dentro de la misma planta de tratamiento (USEPA, 1989). Estos cambios en la composición se han encontrado incluso entre diversas plantas tratadoras de biosólidos. Esta cantidad de nutrientes permite que los biosólidos presenten un gran potencial para incrementar la fertilidad del suelo y mejorar las condiciones de crecimiento de las plantas en ecosistemas naturales.

Según la Agencia Protectora del Medio Ambiente EPA, (1999), y Jurado (2000), sobre la aplicación de los biosólidos en la tierra, tienen un especial valor como acondicionadores de suelo ya que la materia orgánica en los biosólidos mejora la textura y la capacidad de retención de agua en el suelo, los cuales promueven el crecimiento radicular. La aplicación de biosólidos también provee nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, incluyendo nitrógeno y fósforo, así como algunos micro-nutrientes esenciales, tales como son el níquel, zinc y el cobre. Los nutrientes que contienen biosólidos ofrecen varias ventajas sobre los inorgánicos, los fertilizantes químicos se liberan lentamente a las plantas en crecimiento. Estas formas orgánicas de nutrientes son menos solubles en agua y, por tanto, menos probables de filtrarse en las aguas subterráneas o de salirse en las aguas superficiales. El reciclaje es otro aspecto importante de la aplicación en la tierra. En lugar de la incineración o eliminación de los biosólidos, estos materiales son devueltos a la tierra para uso benéfico.

Impacto ambiental de los biosólidos.

A pesar de tener diversos efectos positivos en el ambiente, la aplicación de biosólidos al terreno puede tener impactos negativos en el agua, el suelo y el aire si dicha aplicación no

se realiza correctamente. Los impactos negativos en el agua resultan por la aplicación de biosólidos utilizando tasas que exceden los requerimientos nutritivos de la vegetación. Los impactos negativos al suelo pueden resultar del mal manejo de la aplicación de biosólidos al terreno. Los olores producidos por la aplicación de biosólidos representan el principal impacto negativo al aire (USEPA, 1989; EPA, 2000). La heterogeneidad de los factores bióticos y abióticos juegan un papel fundamental en la implantación de las diversas especies de plantas resultando por lo general un impacto positivo en los ecosistemas áridos y semiáridos (Maestre, 2003).

Después de que los biosólidos son procesados estos son reciclados y aplicados como fertilizantes para mejorar y mantener suelos fértiles y productivos y estimular el crecimiento de las plantas. La aplicación controlada de los biosólidos completa un ciclo natural en el ambiente. Al tratar desperdicios humanos de cañerías, estos se convierten en biosólidos que pueden ser usados como fertilizantes de valor en lugar de ser enterrados en el suelo y no aportar ningún valor a la sociedad. Los agricultores y ganaderos han reciclado biosólidos por muchos años. El reciclado de biosólidos es el proceso de usar benéficamente los residuos resultantes del tratamiento de aguas negras para promover el crecimiento de cultivos agrícolas, fertilizar jardines y parques y reclamar y mejorar áreas minadas (EPA, 2000; Jurado *et al.*, 2004).

La materia orgánica y su interés agronómico.

La fertilidad global de un suelo agrícola ha estado relacionada tradicionalmente con su contenido en materia orgánica; sin embargo, en las últimas décadas, su función fue relegada y su uso poco menos que apartado a tierras marginales de agricultura de subsistencia. Actualmente, debido a la problemática generada por la intensificación del uso del suelo,

vuelve a reconocérsele a la materia orgánica la función que le corresponde en el mantenimiento de la sustentabilidad productiva, funcional y ambiental del agrosistema.

En este sentido, la evolución da la misma señal de una intensa actividad microbiana y unas buenas condiciones ambientales y edáficas, que representan una enorme importancia agronómica derivada de la intervención de la materia orgánica en todos los procesos ligados con la dinámica del suelo, con el desarrollo vegetal y con la vida macro y microbiana que sustenta (Labrado, 1996).

Coloides orgánicos.

En los suelos en que se desarrollan las plantas, una parte de éstas vuelve luego a él. En condiciones naturales, una vez muertas las plantas, todo el follaje cae al suelo y se descompone. En los lugares donde hay agricultura y ganadería una pequeña porción de todo el conjunto de la planta vuelve directamente al suelo y el resto se cosecha por los agricultores o sirve de alimento para el ganado (Collis *et al.*, 1971; Rodríguez, 1989).

Todos los minerales de los vegetales proceden del suelo, excepto parte del nitrógeno, el cual lo consiguen las plantas mediante una relación simbiótica con microorganismos del suelo que lo captan directamente el nitrógeno del aire. Normalmente, una gran porción de los nutrientes disponibles de un lugar están contenidos en la parte aérea y subterránea de la vegetación y en los organismos que habitan en el suelo. Estos nutrientes retornan al suelo y pueden de nuevo ser usados, descomponiéndose, por otras plantas y organismos vivos (Collis *et al.*, 1971).

De acuerdo con Gonzáles y Medina (1997), el suelo es el producto de acciones destructoras, de carácter fisicoquímico, sobre las rocas. Además de su configuración mineral, contiene materia orgánica. El *humus* que se forma en las capas u horizontes superiores del

suelo, enriquece y constituye un ambiente favorable para una enorme gama de formas vivientes. Entre los factores que determinan la formación del suelo destaca el clima ya que, por ejemplo, las lluvias abundantes lixivian las capas superficiales conforme las van infiltrando, esto ocasiona que el suelo tenga una escasa fertilidad. Cuando las lluvias son escasas, las sales se concentran en la superficie, lo cual no favorece la fertilidad. Los suelos bajo climas templados y fríos son más equilibrados, porque presentan menor lixiviación y su contenido de materia orgánica los hace fértiles.

Contaminación del suelo.

El hombre depende del suelo para obtener los recursos naturales requeridos para la satisfacción de sus múltiples necesidades. El suelo, sin embargo, no es un depósito inagotable. Constituye un medio complejo en constante cambio y puede perder su productividad cuando se altera su equilibrio (Adame y Salin, 1993; Enkerlin *et al.*, 1999)

Los mismos autores señalan que actualmente, debido a la aplicación de técnicas agrícolas inadecuadas, al amontonamiento de desechos, a la urbanización y al abuso en la cantidad y frecuencia del uso de venenos contra plantas e insectos indeseables, el hombre ha disminuido la cantidad y calidad de los suelos fértiles. Para fertilizar los suelos y obtener un rendimiento mayor e inmediato, se han dejado a un lado los métodos naturales y se ha recurrido frecuentemente a los químicos. Con ello se ha provocado la destrucción de muchas áreas que antes fueron productivas y ahora solo son páramos.

Uno de los efectos negativos de la utilización de abonos y venenos, es la destrucción de pequeños organismos que viven en el suelo los cuales se encargan de descomponer la materia orgánica que cae, como las hojas y otros restos vegetales y animales, poniendo a disposición

de otras plantas los minerales que necesitan para su buen desarrollo. Esto es lo que hace fértil a un suelo (Adame y Salin, 1993).

Las propiedades del suelo y los efectos de la fertilización guardan estrechas relaciones mutuas. Así, se tiene que el efecto de la fertilización depende, por un lado, del estado de fertilidad del suelo, en tanto que, por otra parte, la fertilización correctamente dosificada contribuye esencialmente al aumento paulatino de la fertilidad del mismo. De ahí que la finalidad de cada tratamiento no sea solamente alcanzar un aumento temporal de los rendimientos, sino mantener y mejorar simultáneamente la fertilidad del suelo (Jacob y Uexkull, 1973).

Los mismos autores señalan que el protoplasma es común en la vida vegetal y animal. Los animales sin embargo, deben contar con otros animales o plantas como fuentes de alimento, el cual luego puede continuar elaborando. Los animales son completamente dependientes del reino vegetal para la vida. El protoplasma de las plantas verdes, puede existir e incrementarse independientemente de cualquier tipo de vida animal. Solo se requiere de suministro de agua, dióxido de carbono, y varios elementos minerales para hacer que las plantas sean unos organismos autosuficientes.

Los cultivos se fertilizan para suministrar los nutrientes que no se hallan presentes en suficientes cantidades en el suelo. El propósito de una fertilización es suministrar las cantidades de fertilizante que darán como resultado el máximo rendimiento (Tisdale y Nelson, 1970). Los fertilizantes son los elementos nutritivos que se suministran a las plantas para complementar las necesidades nutricionales de su crecimiento. En los fertilizantes debe distinguirse la unidad fertilizante y la concentración. La unidad fertilizante es la forma que se utiliza para designar al elemento nutritivo; y la concentración es la cantidad de elemento nutritivo en su respectiva unidad realmente asimilable por la planta (Rodríguez, 1989).

Gramíneas y especies forrajeras.

De acuerdo con López (1992), las gramíneas son las plantas más abundantes sobre la tierra, su distribución es cosmopolita. De ella se estiman unos 620 géneros en unas 10,000 especies; ocupan el tercer lugar en cuanto a número de géneros después de Compositae, Orchidaceae, Leguminosae y Rubiaceae. En México se reconocen 1,010 especies de gramíneas en 160 géneros, de las cuales 20% son endémicas. Las gramíneas se caracterizan por que tienen una amplia capacidad de adaptación y rápido crecimiento vegetativo estacional. Por un lado producen mucha semilla y por otro, su dispersión como fruto seco contribuye a su eficiencia, su sistema radicular fibroso permite un máximo aprovechamiento de agua y nutrientes, y la retención de suelo (Rodríguez y Porras, 1996).

Los mismos autores señalan que como cualquier ser vivo, el grupo de las gramíneas desempeña un papel ecológico importante. Por ejemplo, por su sistema radicular y los tallos subterráneos que las caracterizan, se considera que son excelentes retenedoras y formadoras de suelo. Asimismo, a algunas especies se les reconoce por su alta capacidad colonizadora, pues llegan a establecerse en lugares que presentan poco desarrollo del suelo, escasa cubierta vegetal y/o que han sido recientemente desmontados. En los pastizales, donde generalmente las gramíneas son dominantes, éstas representan el hábitat natural y sustento alimenticio de diferentes herbívoros. A su vez, las gramíneas que tienen una forma de vida "amacollada" forman en la base de sus macollos ciertos microhábitats donde diferentes invertebrados crecen y se desarrollan.

Al igual que otras especies, las gramíneas están expuestas a situaciones ambientales, climáticas y humanas, entre otras, que las afectan. Entre los principales peligros se pueden mencionar en primer lugar la alteración o transformación de su hábitat natural. Aunque es cierto que muchas gramíneas pueden crecer en suelos muy pobres y de hecho son excelentes

colonizadoras, si un territorio ha sido deforestado, y existe una pérdida de suelo, las gramíneas, al igual que toda la vegetación, se ven afectadas (Vallentine, 1990; Rodríguez y Porras, 1996).

El valor nutritivo de forrajes es altamente influido por la etapa de crecimiento cuando son cosechados o pastoreados (Sigh *et al.*, 1989). El crecimiento puede ser dividido en tres etapas sucesivas: Etapa vegetativa, etapa de floración y etapa de formación de semillas.

Factores que afectan el valor nutritivo del forraje.

Los factores que afectan el valor nutritivo de las plantas forrajeras de los pastizales son muchos y el grado en el cual están interrelacionados varía de un área a otra. El valor nutritivo de los pastizales es muy difícil de evaluar, puesto que son muchas las variables que interactúan entre sí, afectando la abundancia de especies de plantas que se desarrollan en ellos. El valor nutritivo del forraje es influenciado por; el estado de madurez ó el estado fenológico de la planta, las condiciones edáficas, las condiciones climáticas, las especies de plantas, las condiciones del pastizal, la suplementación alimenticia, el grado de humedad, la especie animal, edad estado fisiológico y sexo (Gutiérrez, 1991).

Para una evaluación de nutrientes del recurso forrajero de un pastizal son necesarias algunas determinaciones, tales como la composición química la digestibilidad y el consumo voluntario de diferentes especies forrajeras, con diferentes clases y especies de animales en diferentes épocas del año. El valor nutritivo de cualquier forraje depende de su contenido de nutrientes productores de energía así como el contenido de nutrientes esenciales para el organismo, tales como proteínas, vitaminas y minerales (Sigh *et al.*, 1989; Gutiérrez, 1991).

Se ha reportado que en el noroeste de México los animales en pastoreo consumen una gran variedad de plantas, entre los que destacan los zacates nativos. Aunque algunos de ellos

son consumidos ávidamente por los rumiantes, ya que producen mayor cantidad de forraje que otras plantas, no se conoce su calidad nutritiva y, por lo tanto, se desconoce su contribución nutricional en la dieta de los animales en pastoreo (Ramírez *et al.*, 1993).

Compuestos antinutricionales.

De acuerdo con Huston *et al.*, (1994) varios compuestos químicos se producen en las plantas después de los estadios iniciales de la fotosíntesis. Estos compuestos antinutricionales, que son químicamente complejos, pueden servir como mecanismos de defensa para las plantas contra insectos y un medio ambiente adverso. La lignina, por ejemplo, aparenta 1) proveer una estructura fuerte que permite a las plantas reducir el marchitamiento y 2) actúa como defensa para evitar ser consumidas.

Muchos compuestos anti nutricionales son venenosos. Sin embargo, algunos tipos de taninos, sustancia que se encuentra principalmente en herbáceas y en hojas de plantas leñosas, pueden tener algunos beneficios nutricionales. Por ejemplo, niveles bajos de taninos disminuyen la degradación de las proteínas por los microorganismos del rumen. Cuando esta proteína llega al estomago (abomaso) e intestino delgado, puede ser digerida por las enzimas del animal. Si la proteína que escapa del rumen es de alta calidad (alta en aminoácidos esenciales), es benéfica para el rumiante. Esta proteína que escapa del rumen, es benéfica solo si hay una cantidad adecuada de proteína soluble disponible para llenar los requerimientos de los microbios del rumen (Huston *et al.*, 1994; Novel y Wright, 1999).

Descripción del zacate Boer (*Eragrostis curvula*) var. *conferta*.

Otros nombres usados en español; zacate amorseco llorón, zacate llorón, zacate garrapata (Ackerman *et al.*, 1991), amor seco curvado (Martínez, 1979). Nombres comunes en ingles; Weeping (African) lovegrass.

Las plantas del zacate Boer (*Eragrostis curvula*) variedad *conferta* son unas plantas muy amacolladas, hojas angostas ásperas, panojas muy abiertas (Gargano y Aduriz, 1894). Gran resistencia a la sequía, buen rebrote y poco palatable para ovinos; número de semillas por kilogramo es alrededor de 3'300.000 (Tocagni, 1980).

Con respecto a la estructura de la hoja, la presencia de pelos microscópicos bicelulares en la epidermis, parece relativamente primitiva y la ausencia de estos pelos en la mayoría de las gramíneas podría ser por consiguiente más avanzada (Gould y Shaw, 1992).

Descripción técnica basada en (Ackerman *et al.*, 1991; Correll y Johnston, 1970; Cronquist *et al.*, 1994; Gleason y Cronquist, 1991; Rzedowski *et al.*, 2001). Hábito y forma de vida; Hierba perenne, amacollada. Tamaño; de hasta 1.5m de alto. Tallo; a veces ramificado y con raíces en los nudos inferiores, frecuentemente con anillos glandulares en los nudos. Hojas; alternadas, dispuestas en 2 hileras sobre el tallo, con las venas paralelas, divididas en 2 porciones, la inferior, llamada vaina, que envuelve el tallo, más corta que el entrenudo (las de las hojas inferiores con abundantes pelos), y la parte superior de la hoja llamada lámina que es muy larga, angosta, enrollada (las de las hojas inferiores arqueadas y dirigidas hacia el suelo); entre la vaina y la lámina, por la cara interna, se presenta una franja de abundantes pelos, llamada ligula.

Inflorescencia; una panícula abierta, de hasta 40 cm de largo, ubicada en la punta del tallo, compuesta de numerosas espigas ascendentes y distanciadas entre sí, que frecuentemente presentan glándulas. Las espigas inferiores pueden presentar pelos en las axilas. En cada espiga se disponen numerosas espiguillas.

Espiguillas / Flores; Espiguillas casi sésiles y comprimidas lateralmente. Las flores son muy pequeñas y se encuentran cubiertas por una serie de brácteas, sin aristas. Frutos y semillas; una sola semilla fusionada a la pared del fruto (este es un cariósido).

Este zacate es más gustoso antes de formar las espigas pero, los tallos permanecen verdes tarde, haciéndolo de mayor valor en el otoño cuando otros zacates están secos. El valor forrajero es regular (Johnson y Carrillo, 1997).

Origen y distribución geográfica.

Eragrostis curvula es nativa de Sur África, norte de Rhodesia y la región del Transvaal (Ruyle y Young, 1997). Fue colectada en 1927, y subsecuentemente traída hacia los Estados Unidos de Norte America de Tanganyika, Africa en 1932 (Cox *et al.* 1988). El mismo autor reporta a *Eragrostis curvula*, incluyendo *Eragrostis curvula* var. *conferta*, como nativa de Africa (Botswana, Kenya, Lesotho, Mozambique, Namibia, South Africa (Cape Province, Natal, Orange Free State, Transvaal), Swaziland, Tanzania, Zambia, Zimbabwe).

Área de origen; nativa de Sudáfrica (Rzedowski *et al.*, 2001). Distribución secundaria; introducida en el sur de Estados Unidos, México, Costa Rica, Uruguay, Argentina (Aeckerman *et al.*, 1991), partes de Europa, Asia y Oceanía. Distribución en México; Al parecer llegó recientemente a México, donde se ha colectado en varios estados del norte y centro del país (Rzedowski *et al.*, 2001). Villaseñor y Espinosa (1998), la reportan en Coahuila, Estado de México, Michoacán y Sinaloa.

Impacto e importancia.

Usos; se ha utilizado contra la erosión, para la producción de forraje en suelos de baja fertilidad y para resiembra en pastizales semiáridos dadas sus cualidades de abundante producción de semilla, fuerte vigor de las plántulas y capacidad para producir grandes cantidades de materia orgánica tanto en las raíces como en el follaje (Ackerman *et al.*, 1991).

La importancia del estudio de los alimentos forrajeros se deriva de que los pastos constituyen una fuente muy importante de alimento para la ganadería extensiva, tanto ovina

como bovina de carne; el estudio de estos sirve para su manejo y su aprovechamiento, así como también para indicar el uso que se esta teniendo de los mismos (Rodríguez y Porras 1996). Gould y Shaw, (1992) evaluaron la importancia de las gramíneas y notaron que las gramíneas originales de diecisiete estados comprendiendo el oeste americano totalizaban unos 283 millones de hectáreas.

La revegetación de pastizales además de ofrecer la posibilidad de incrementar la disponibilidad de forraje y reducir los riesgos de erosión, permiten también mejorar la calidad nutritiva del forraje disponible, sin embargo, se requiere conocer cuales son las mejores especies y prácticas de establecimiento y manejo para lograr tener éxito (INIFAP, 1997).

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción del sitio de estudio.

El presente estudio se realizó en el rancho experimental de la Universidad de Sonora Unidad Santa Ana, el cual se localiza a 16 km al este de la ciudad de Cananea, Sonora, sobre la carretera que le comunica a esa ciudad con el poblado de Bacoachi (30° 58' 00" Latitud Norte y 110° 08' 30" Longitud Este (Figura 1). El sitio de estudio se encuentra a 1,417 msnm, en un área de transición de Pastizal Mediano Abierto y Pastizal Arbosufrutescente en condición regular (Universidad de Sonora 1967). La topografía del sitio es uniforme, con planos y lomeríos bajos con pendientes que varían del 3 al 7%. El tipo de suelo sobre el cual se localiza el sitio se define como castañosem háplico (FAO UNESCO, 1975). Es de textura migajón arenoso y de profundidad mediana > 50 cm. La precipitación y la temperatura media anual son de 520 mm y 16.3 °C, respectivamente. El clima es templado semiseco BS1 kw (x') (e'), con régimen pluvial de verano (García, 1973), donde el 70% de la precipitación total ocurre durante el verano y el 30% restante durante el invierno.

Las herbáceas representan la vegetación principal, seguida en importancia por arbustos y árboles. En este estrato inferior predominan los zacates navajita azul (*Bouteloua gracilis*), navajita morada (*Bouteloua chondrosioides*), navajita negra (*Bouteloua eriopoda*) navajita roja (*Bouteloua radicata*), navajita velluda (*Bouteloua hirsuta*), navajita delgada (*Bouteloua repens*), navajita alacran (*Bouteloua scorpioides*), banderilla (*Bouteloua curtipendula*), zacate toboso (*Hilaria mutica*), zacate galleta (*Hilaria belangeri*), zacate lobero (*Lycurus phleoides*), zacate tres barbas (*Aristida adscensionis vardecolorata*), tres barbas de Arizona (*Aristida arizonica*) y tres barbas barbados (*Aristida barbata*) entre otros (Betlee *et al.*, 1991). En el estrato superior predominan las especies de mezquite (*Prosopis juliflora*), palmilla (*Nolina*

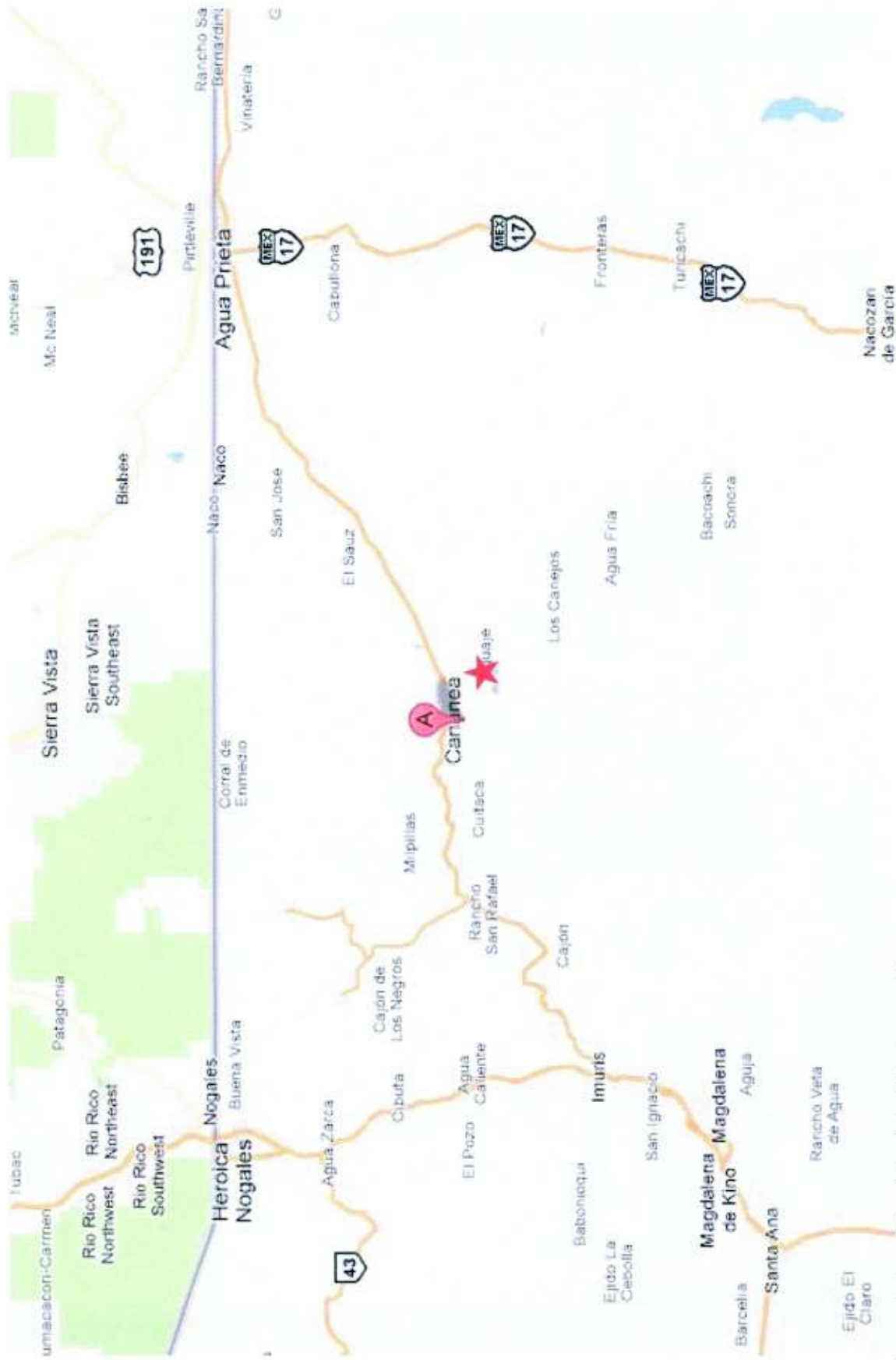


Figura 1. Localización del sitio de estudio

texana) táscale (*Juniperus spp.*), uña de gato (*Acacia greggii*), cosahui del norte (*Calliandra eriophylla*), encino (*Quercus spp.*) y agave (*Agave spp.*) (Universidad de Sonora, 1967; COTECOCA, 1988).

Metodología.

El sitio de estudio se seleccionó durante el verano de 2005 y consistió de un área de pastizal Mediano Abierto en condición pobre que fue resembrado con el zacate boer (*Eragrostis curvula* var. *conferta*) durante el verano de 1971 sobre una preparación de cama de siembra construida con rastra pesada de discos. El pasto se sembró a razón de 2 kg de SPV/ha y se cubrió con rastra ligera de ramas. La semilla se distribuyó manualmente antes de las lluvias. La precipitación registrada fue adecuada y el zacate se estableció exitosamente. A partir de entonces ha sido pastoreado anualmente para remover no más del 70% del forraje total anual disponible, bajo un sistema de pastoreo rotacional con descanso.

Los biosólidos se aplicaron el 15 de junio de 2005 y fueron de procedencia doméstica, los cuales fueron proporcionados por Unión FENOSA, central Hermosillo, Sonora. El producto orgánico contenía aproximadamente un 80% de humedad y fue transportado desde la planta tratadora al sitio de estudio en un contenedor especial. El material orgánico se transportó a las parcelas experimentales usando contenedores de plástico los cuales fueron llenados con pala. La aplicación de los biosólidos se realizó de forma superficial y se distribuyeron en las parcelas experimentales de manera uniforme con la ayuda de rastrillos jardineros. Los biosólidos se aplicaron sobre la superficie del suelo en parcelas triplicadas de 4 x 5 m. (Figura 2), en dosis de 0, 25 y 50 toneladas de M.S./ha. Las parcelas fueron delimitadas con bordos de tierra en su periferia de 40 cm de altura y 2.0 m de base para evitar la contaminación entre parcelas experimentales por el movimiento de biosólidos con la lluvia de



Figura 2. Ilustración que muestra la aplicación de biosólidos en las parcelas experimentales durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.

escurrimiento. Las parcelas experimentales fueron cercadas con alambre de púas y malla pollera para evitar el pastoreo del ganado vacuno y de las liebres y conejos.

Las variables que se analizaron en el presente estudio fueron: la preferencia animal, producción de forraje y el valor nutritivo del zacate boer dado por las siguientes variables: Nitrógeno total, proteína cruda, fosforo total, cenizas totales, grasa, fibra cruda y digestibilidad.

La preferencia animal se determinó durante la época de crecimiento activo de las plantas. Una vaca adulta de la raza Hereford se utilizó para evaluar los índices de preferencia (Figura 3). El ganado se dietó por 12 horas previo a la realización de las pruebas de pastoreo. Se permitieron un total de tres periodos de pastoreo de 60 minutos cada uno, los que se consideraron como repeticiones. Para evitar sesgo nunca se permitió a los animales permanecer pastoreando por lapsos de tiempo mayor de 2 minutos. Cuando esto ocurrió se arreó al animal a un extremo del estudio para que regresara nuevamente a comer y marcara nuevamente el forraje de su elección. El ganado nunca se le presionó moverse a otra parcela a menos que hubiera cumplido los 2 minutos consecutivos de pastoreo y se le permitió regresar a la misma parcela cuantas veces así lo hiciera. Durante cada periodo de pastoreo se registraba el tiempo de estancia consumiendo forraje en cada parcela experimental. Una vaca diferente se utilizó en cada observación. El tiempo de pastoreo de cada animal se contabilizó en cada parcela experimental para determinar la preferencia animal.

La producción de forraje se determinó mediante cortes de producción al final de la época de crecimiento activo de las plantas del verano del 2005 (Figura 4). Se realizaron cinco cortes de forraje al azar por parcela experimental. Para la toma de información se utilizó un cuadrante de 1 m², realizando los cortes manualmente con tijeras y hoz, depositando el forraje en sacos debidamente marcados con los tratamientos de las parcelas correspondientes.



Figura 3. Ilustración que muestra las pruebas de preferencia animal realizadas en las parcelas experimentales durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora.



Figura 4. Realización de cortes de producción de forraje en áreas tratadas y testigo después de la aplicación de biosólidos en Cananea, Sonora, México.

Las muestras se transportaron al laboratorio de la Universidad de Sonora en Santa Ana, donde se secaron a una temperatura de 70 °C por 72 hs en una estufa de aire forzado para eliminar la humedad.

El valor nutritivo del zacate Boer se cuantificó al final de la época de crecimiento activo de las plantas del 2005. Las muestras de forraje se colectaron al azar cortando forraje de por lo menos 10 plantas/parcela. El forraje se cosechó tanto de la base como de la parte media y superior de las plantas. Los cortes para las muestras de forraje se realizaron manualmente utilizando tijeras. Las muestras cosechadas se introdujeron en bolsas de papel y se trasladaron al laboratorio para su análisis. En el laboratorio las muestras fueron secadas en una estufa de aire forzado a una temperatura de 60 °C durante 24 horas. Posteriormente, las muestras se molieron en un molino Wiley número 20 y se depositaron en bolsas de plástico previamente identificadas para su análisis. Las muestras fueron homogéneamente mezcladas previas a su análisis.

Las variables nutricionales que se evaluaron fueron: nitrógeno total, proteína cruda, fósforo disponible, ceniza, grasa, fibra cruda, y digestibilidad *in vitro*. Con excepción de la digestibilidad *in vitro* que se realizaron en los laboratorios del INIFAP en Carbo, Sonora, todas las muestras se analizaron en el laboratorio de la UNISON en Santa Ana, Sonora. El valor nutritivo de la especie se determinó mediante análisis bromatológico, siguiendo la metodología descrita por AOAC (1984). La proteína cruda se determinó mediante el método de Micro Kjeldahl en fase de digestión y de destilación; la ceniza se determinó en base a diferencias de peso después de la incineración de la muestra. La grasa se determinó mediante el método de extracto etéreo. La fibra cruda se cuantificó por el método de detergente neutro. La digestibilidad se determinó mediante el método de digestibilidad *in Vitro*.

Diseño experimental y análisis estadístico.

Las variables evaluadas (preferencia animal, producción de forraje, proteína cruda, ceniza, grasa, fibra, digestibilidad, nitrógeno total y fósforo disponible) se analizaron en forma independiente. Se utilizó un diseño de bloques al azar con tres tratamientos y tres repeticiones. Cada variable evaluada, se analizó por medio de un análisis de varianza simple. Cuando se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos, se utilizó la prueba de rangos múltiples de Duncan para la comparación de medias (Steel y Torrie, 1980). Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico COSTAT (COSTAT, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Precipitación.

La precipitación registrada durante el año del estudio en la estación climatológica más cercana que correspondió a la Ciudad de Cananea, Sonora, muestra que ésta fue adecuada en cuanto a su distribución pero estuvo 14.2% abajo de la normal registrada en los últimos 57 años (Figura 5). La lluvia oportuna ocasionó un crecimiento adecuado de las plantas en las parcelas experimentales.

Características del suelo.

Las características generales del suelo en el sitio de estudio se sumarizan en el Cuadro 4. El suelo presenta una textura Franco Arenosa lo que lo hace muy permeable. En general la parte superficial del suelo muestra las mayores concentraciones de materia orgánica y los principales nutrientes mayores y menores del suelo. El contenido de arena limo y arcilla promedian 86.3, 8.7 y 5%, respectivamente. El contenido de materia orgánica promedio 1.0%, la capacidad de intercambio catiónico 4.7 mg/100 g, el pH 5.6, la conductividad eléctrica 0.47 Ds/m y un contenido de fosforo, calcio, magnesio, sodio y potasio que varió de 2.8 a 618 ppm (Cuadro 5).

De acuerdo con Cox *et al.* (1988), y Marietta y Britton (1989), aunque el zacate prospera en suelos de texturas variables, se adapta mejor a los suelos productivos y arenosos, como los característicos en este estudio.

Preferencia animal.

La preferencia animal resultó diferente ($P < 0.05$) entre tratamientos (Figura 6). El tratamiento testigo resultó con el menor ($P < 0.05$) tiempo de pastoreo 28.2 minutos (15.7%),

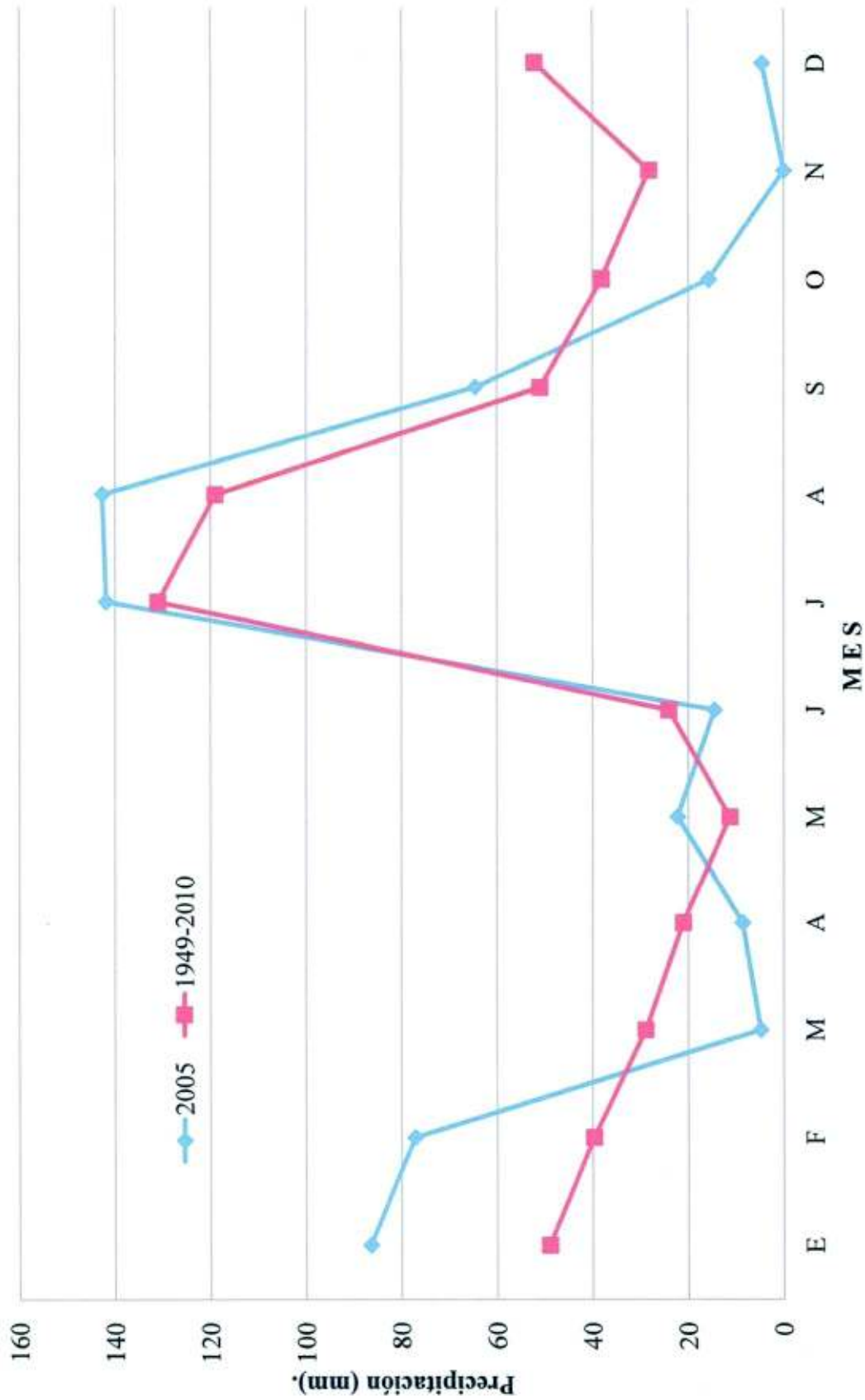


Figura 5. Precipitación registrada durante el periodo de estudio en el verano de 2005 y la media de lluvia de 1949 a 2010 en la ciudad de Cananea, Sonora, México.

Cuadro 5. Características físico-químicas del suelo en el sitio de estudio en Cananea, Sonora, México.

Profundidad (cm)	Arena %	Limo %	Arcilla %	M.O	C.I.C Meq/100g	pH	C.E Ds/m	P ppm	Ca ppm	Mg ppm	Na ppm	K ppm
0-10	89	8.0	3.0	1.57	4.7	5.6	0.95	4.1	562	100	40	330
10-20	86	9.0	5.0	0.76	4.8	5.7	0.34	2.2	655	86	42	243
20-30	84	9.0	7.0	0.69	4.7	5.5	0.12	2.2	637	96	48	185
Media del Perfil	86.3	8.7	5.0	1.0	4.7	5.6	0.47	2.8	618	94	43.3	252.7

M.O.= Materia Orgánica; C.I.C.= Capacidad de Intercambio Catiónico; C.E.= Conductividad Eléctrica; P= Fosforo disponible; Ca=calcio; Mg= Magnesio; Na=Sodio; K= Potasio.



Figura 6. Preferencia animal promedio (minutos) del ganado vacuno pastoreando en praderas de zacate Boer tratadas con diversas dosis de biosólidos en Cananea, Sonora, México.

*Literales distintas indican diferencia ($P \leq 0.05$) entre tratamientos.

seguido por el tratamiento de 25 toneladas por hectárea con 58.5 minutos (32.5%), que también resultó estadísticamente diferente. El tratamiento de 50 ton/ha de biosólidos logró la mayor ($P<0.05$) preferencia animal con 93.2 minutos (51.8%) y resultó estadísticamente diferente al resto de los tratamientos. Los animales consistentemente prefirieron las plantas de zacate Boer en las parcelas tratadas con biosólidos en comparación con las plantas en el testigo. De manera acumulada, los animales pastorearon el 84.3% del tiempo total de pastoreo plantas de boer aplicadas con biosólidos y solamente el 15.7% del tiempo prefirieron plantas del pasto no tratadas con biosólidos.

Los resultados encontrados en este estudio concuerdan con los encontrados en otras regiones y tipos de animal. En general, los animales prefieren seleccionar primero las especies de plantas y partes de planta más verdes y suculentas con la mejor calidad forrajera.

Está demostrado que la preferencia animal en diversas especies está influenciada por la calidad de los forrajes a su vez afectada por el estado fenológico de las plantas, el suelo, el clima y el manejo de la vegetación (Hoyos y Lazcano, 1988; García y Medina, 2006; Allegretti *et al.*, 2006). De acuerdo con Lyons *et al.* (2001), la calidad nutricional depende del tipo de planta, parte de la planta, edad, época de crecimiento, clima, suelo, sitio, carga animal y compuestos antinutricionales. El tipo de animales (bovinos, cabras, borregos, venado, etc.) tienen diferentes potenciales digestivos y muestran preferencias por ciertos grupos de plantas.

García *et al.* (2008a) y García *et al.*, (2008b), mencionan que es importante conocer los alimentos o las plantas que los animales consumen y las partes de ellas que mas prefieren. Los ensayos de preferencia son básicos al momento de seleccionar las especies que deben de ser establecidas en los agostaderos. Este tipo de información se requiere para hacer un manejo sustentable de las tierras de pastoreo (Vallentine, 1990).

Figueroa (2003), reporta diferencias significativas en la preferencia animal con diversas variedades y durante varias épocas fenológicas del zacate buffel en pruebas de preferencia realizadas con ganado vacuno en Cananea, Sonora. Reporta que la preferencia animal se ve fuertemente influenciada por el rebrote de las plantas y la calidad nutritiva de las variedades probadas.

Producción de forraje.

La producción de forraje del zacate boer también resultó diferente ($P < 0.05$) entre tratamientos (Figura 7). El zacate boer consistentemente produjo mayor ($P < 0.05$) producción de forraje en las parcelas tratadas con biosólidos en comparación con los zacates en las parcelas testigo. La producción forrajera del zacate boer promedió 0.957 ton M.S./ha en las parcelas testigo y 1.425 y 2.03 ton M.S./ha en las parcelas tratadas con 25 y 50 ton/ha de biosólidos, respectivamente. Los biosólidos incrementaron en un 49% la producción de forraje del boer en las parcelas tratadas con 25 ton/ha e incrementaron en un 113% la producción de forraje del pasto en las parcelas tratadas con 50 ton/ha.

Está demostrado que el zacate boer responde bien a la aplicación de dosis bajas de fertilizante nitrogenado (Taliaferro *et al.*, 1975; Sanderson *et al.*, 1991) y es un excelente productor de forraje.

Los resultados de este estudio son similares a los logrados por Fraijo (2006) con la aplicación de seis dosis de biosólidos para la rehabilitación de un Pastizal Mediano Abierto (*Bouteloua-Aristida*) en Cananea, Sonora, donde la producción de zacates nativos se incrementó 14.5, 64.5, 38.7, 91.9 y 54.8% con las dosis de biosólidos de 10, 20, 30, 40 y 50 ton/ha. Se reporta un incremento en la producción de producción de biomasa de hierbas de 26.7, 46.7, 116.7, 83.3 y 125.0% con las mismas dosis de aplicación de biosólidos.

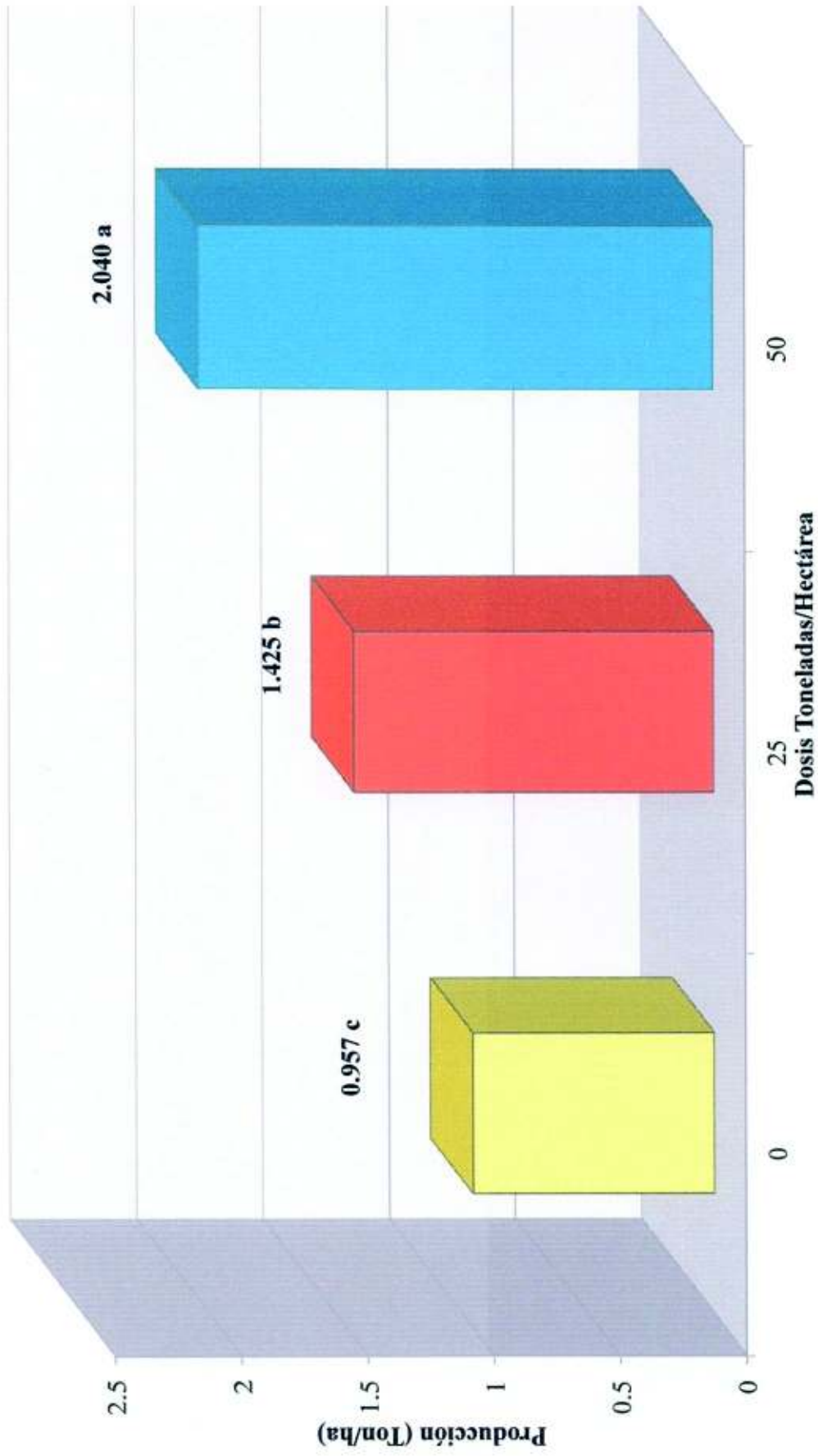


Figura 7. Producción de forraje (Ton. M.S./ha) en praderas de zacate Boer tratadas con diversas dosis de biosólidos durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.

*Literales distintas indican diferencia ($P \leq 0.05$) entre tratamientos.

Jurado y Wester (2001) en Pastizales de zacate toboso (*Hilaria mutica*) con una producción promedio de forraje de 400 kg/ha, reportan incrementos hasta de 83% con la aplicación de biosólidos en dosis de 34 ton/ha. Martínez *et al.* (2003), reportan incrementos en la producción de biomasa de especies nativas hasta de 503% con la dosis de 40 ton/ha de biosólidos.

De acuerdo con Voigt *et al.* (2004), en agostaderos áridos y semiáridos el zacate boer produce de 3 a 10 ton de M.S./ha/año y de 20 a 30 ton M.S./ha/año en suelos fértiles con buena lluvia y en áreas bajo condiciones de riego.

La producción animal con el zacate boer es variable entre ambientes agroecológicos (Voigt *et al.*, 2004). Se han logrado ganancias diarias de peso hasta de 550 kg/ha pastoreando durante el verano con 12 vaquillas/ha y con 53 borregas/ha en 130 días se produjeron 160 kg/ha. Con cargas menores, (1.5 novillos y/o vaquillas/ha) los animales han ganado de 0.7 a 1.0 kg/animal/día durante la época verde (Esqueda *et al.*, 2001; Voigt *et al.*, 2004).

Calidad nutritiva.

La calidad nutritiva del zacate boer representada por las variables de nitrógeno total, proteína cruda, fósforo disponible, ceniza, grasa, fibra cruda y digestibilidad consistentemente se incrementó con la aplicación de los biosólidos, aunque dichos incrementos no siempre resultaron significativos.

El nitrógeno total fue diferente ($P < 0.05$) en el follaje de las plantas de zacate boer tratadas con diferentes dosis de biosólidos (Figura 8). Este elemento promedió 0.078% en el follaje del zacate boer en las parcelas testigo y promedió 0.120 y 0.130% en las plantas localizadas en las parcelas tratadas con 25 y 50 ton/ha de biosólidos, respectivamente. Los

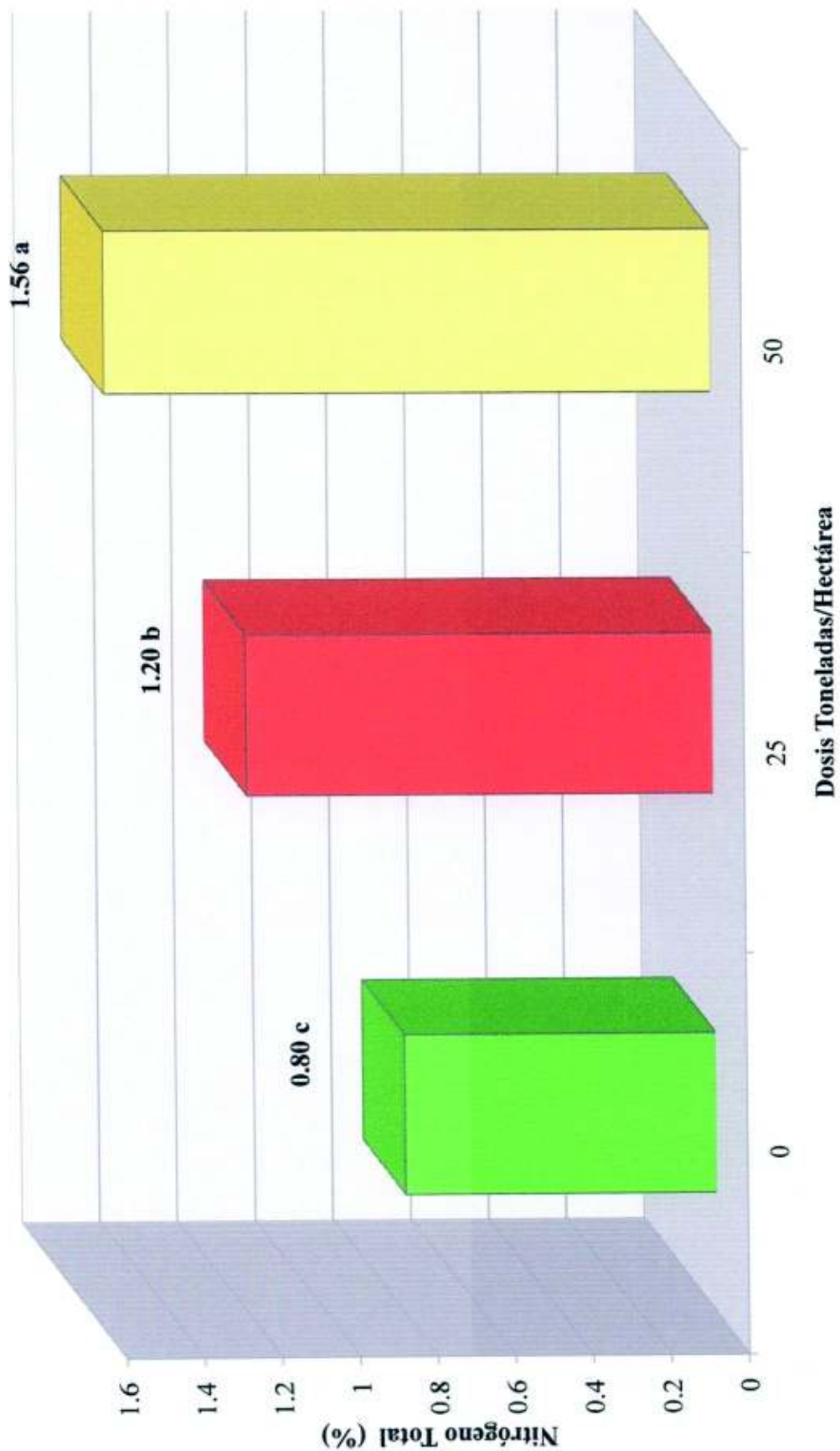


Figura 8. Nitrogeno Total (%) en el follaje del zacate Boer en parcelas tratadas con diversas dosis de biosólidos durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.

*Literales distintas indican diferencia ($P \leq 0.05$) entre tratamientos.

pastos tratados con biosólidos tuvieron entre 50 y 95% más nitrógeno total en el follaje en comparación con las plantas en las parcelas testigo.

La proteína cruda también resultó diferente entre tratamientos (Figura 9). El contenido de proteína promedió 5.1% en el follaje del zacate boer en las parcelas testigo y promedió 7.5 y 9.9% en las plantas localizadas en las parcelas tratadas con 25 y 50 ton/ha de biosólidos, respectivamente. Las plantas de zacate boer tratadas con biosólidos presentaron entre un 47 y 95% más contenido de proteína en el follaje en comparación con las plantas testigo.

El contenido de fósforo total en el follaje de las plantas fue diferente entre tratamientos ($P < 0.05$), incrementándose el contenido del nutriente a medida que aumentó la dosis de aplicación de biosólidos en el agostadero (Figura 10). El contenido de fósforo promedió 0.078% en las plantas de zacate boer en las parcelas testigo y promedió 0.120 y 0.130% en las plantas localizadas en las parcelas tratadas con 25 y 50 ton/ha de biosólidos, respectivamente. Los biosólidos incrementaron entre un 54 y 67% el contenido de fósforo en el follaje de las plantas.

El contenido de cenizas se incrementó entre 17 y 19% con la aplicación de los biosólidos, pero los incrementos logrados no fueron significativos ($P > 0.05$) en comparación con el testigo (Figura 11). El contenido de grasa fue similar ($P > 0.05$) entre tratamientos y varió de 1.24 a 1.38% en el follaje del zacate boer en las parcelas tratadas y no tratadas (Figura 12). La fibra cruda en el follaje del zacate boer fue similar ($P < 0.05$) entre tratamientos y varió de 27.2 a 31.5% (Figura 13).

La digestibilidad del follaje del zacate boer fue diferente ($P < 0.05$) entre tratamientos (Figura 14). La variable promedió 37.1% en el follaje del zacate boer en las parcelas testigo y

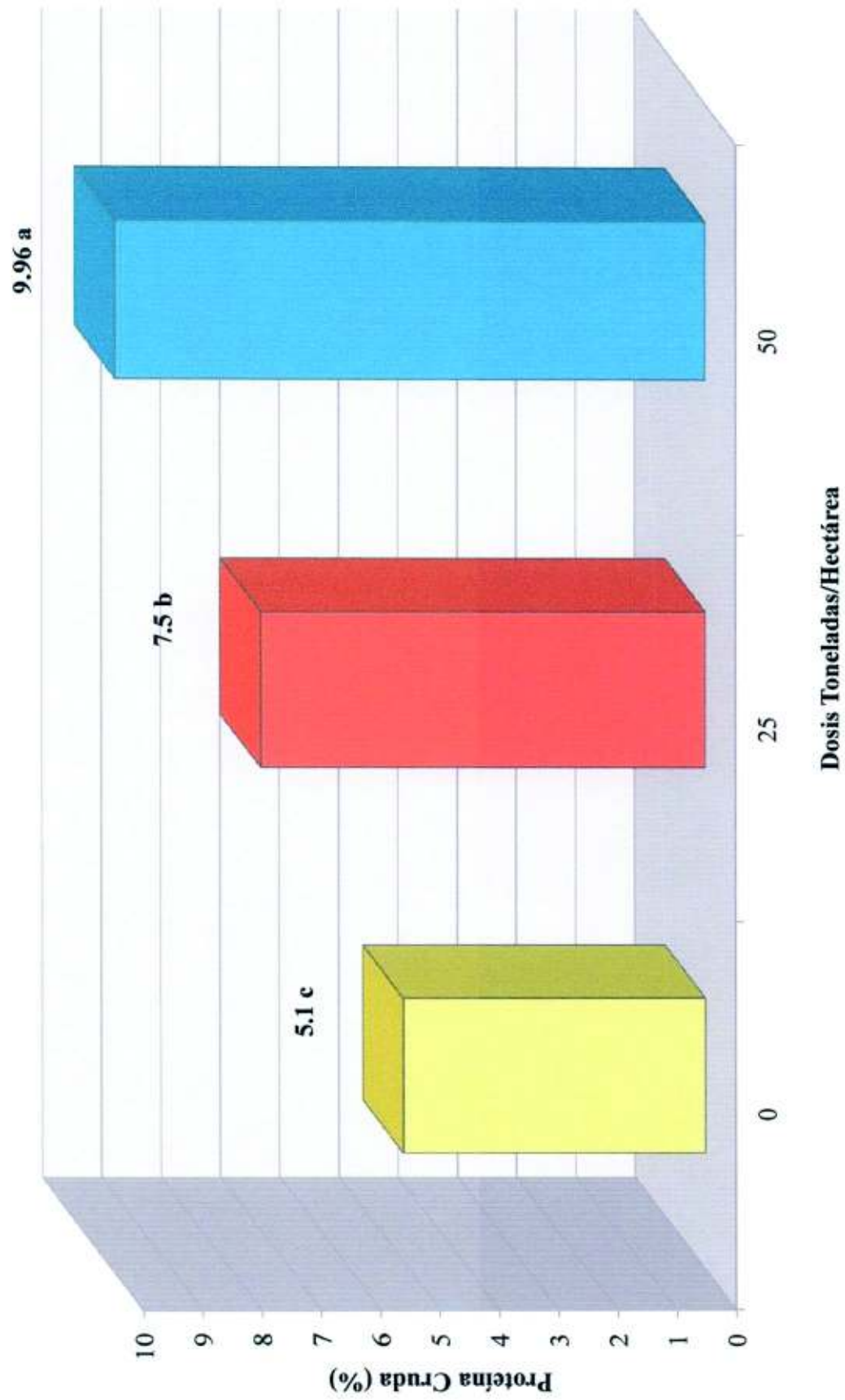


Figura 9. Proteína Cruda (%) en el follaje del zacate Boer en parcelas tratadas con diversas dosis de biosólidos durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.

*Literales distintas indican diferencia ($P \leq 0.05$) entre tratamientos.

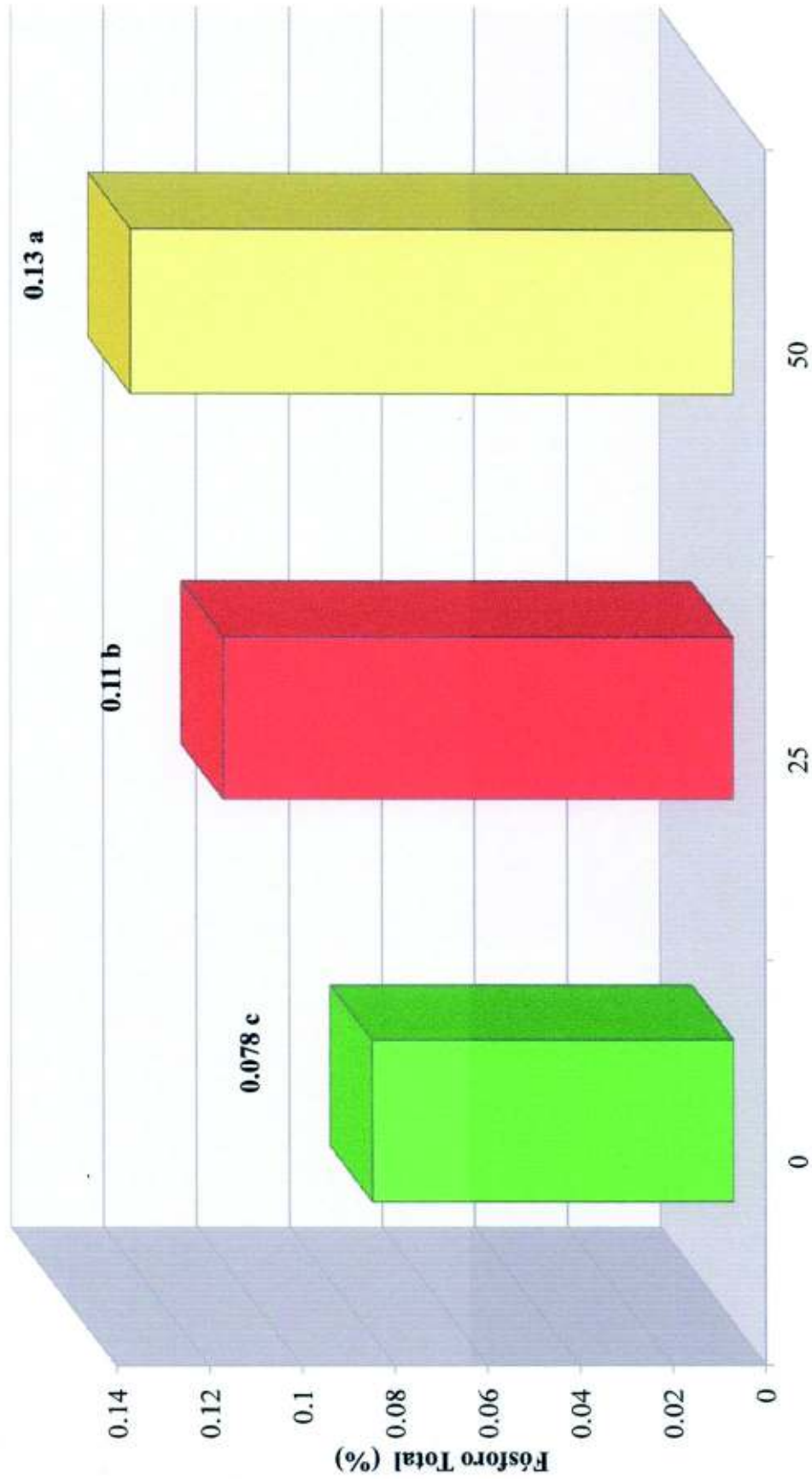


Figura 10. Fósforo Total (%) en el follaje del zacate Boer en parcelas tratadas con diversas dosis de biosólidos durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.

*Literales distintas indican diferencia ($P \leq 0.05$) entre tratamientos.



Figura 11. Contenido de Cenizas (%) en el follaje del zacate Boer en parcelas tratadas con diversas dosis de biosólidos durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.

*Literales distintas indican diferencia ($P \leq 0.05$) entre tratamientos.

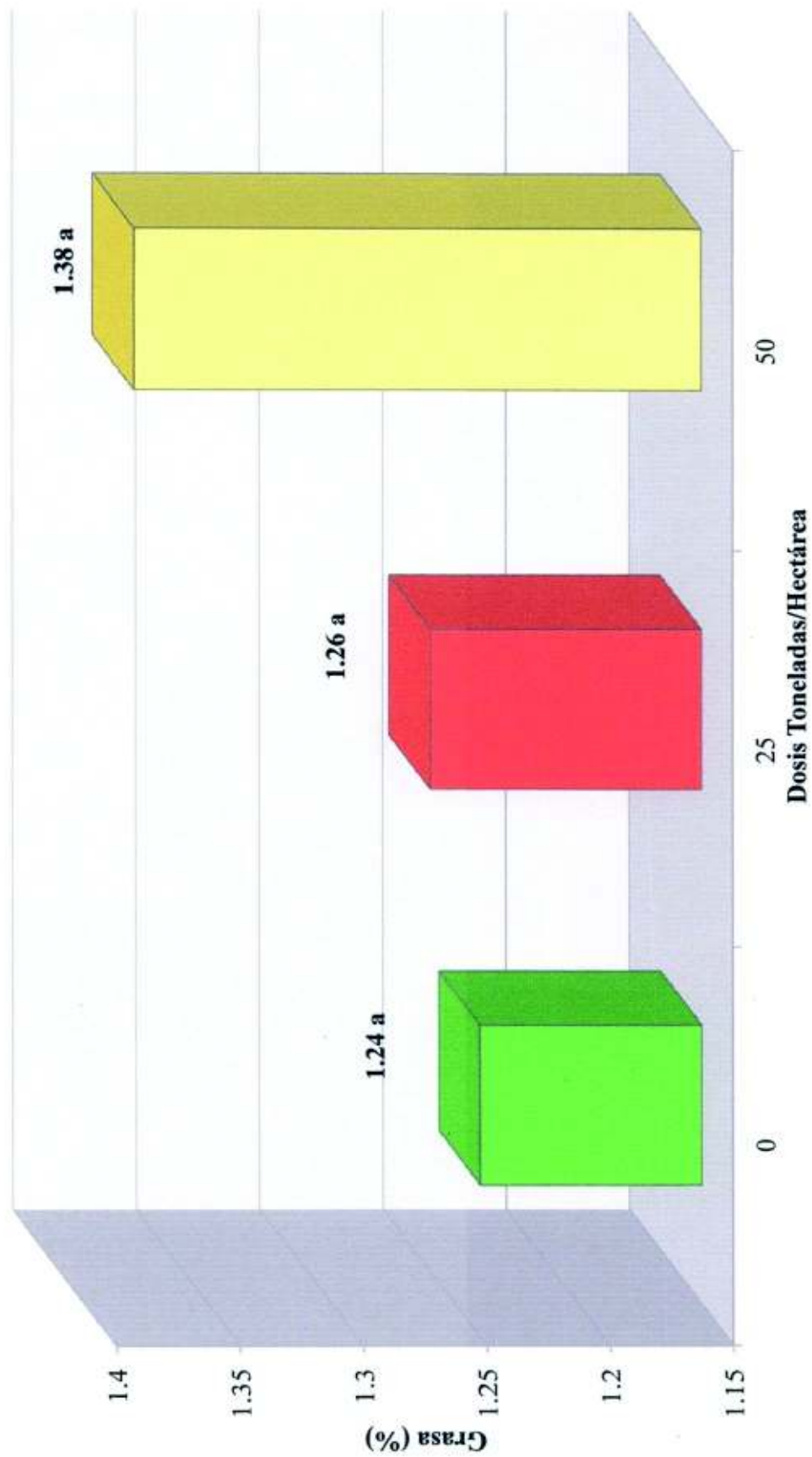


Figura 12. Contenido de Grasa (%) en el follaje del zacate Boer en parcelas tratadas con diversas dosis de biosólidos durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.

*Literales distintas indican diferencia ($P \leq 0.05$) entre tratamientos.

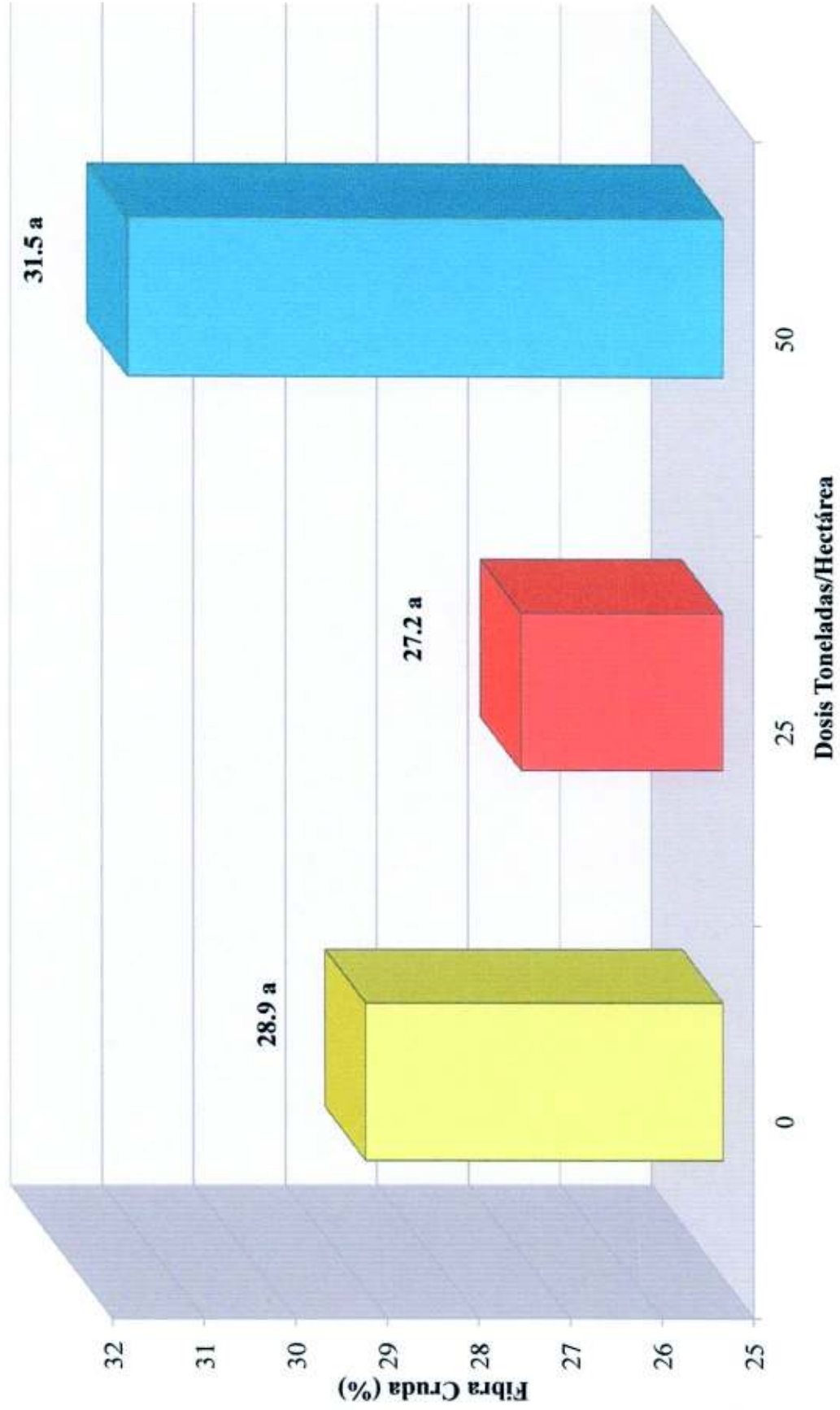


Figura 13. Contenido de Fibra Cruda (%) en el follaje del zacate Boer en parcelas tratadas con diversas dosis de biosólidos durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.

*Literales distintas indican diferencia ($P \leq 0.05$) entre tratamientos.

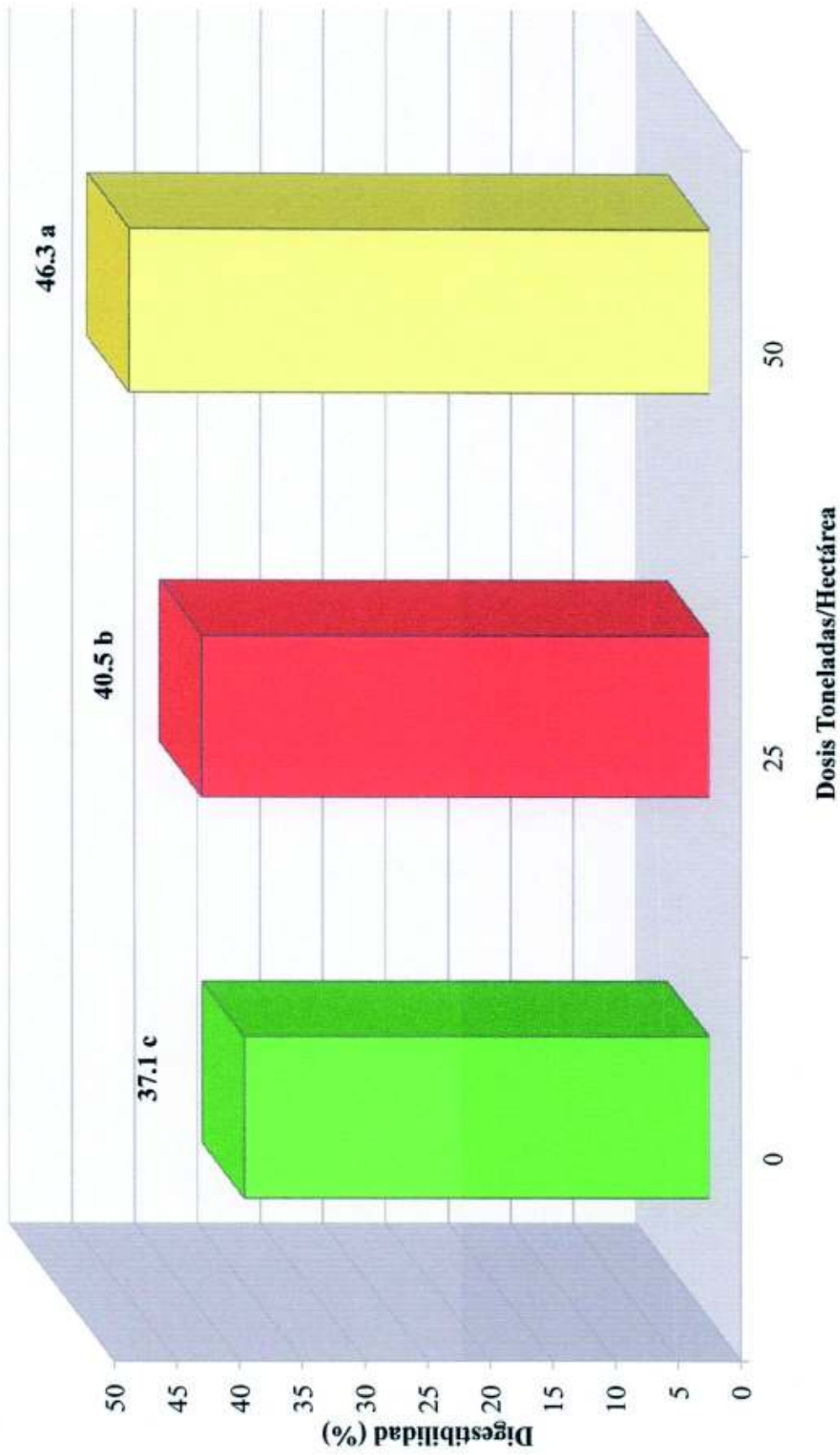


Figura 14. Digestibilidad (%) en el follaje del zacate Boer en parcelas tratadas con diversas dosis de biosólidos durante el verano de 2005 en Cananea, Sonora, México.

*Literales distintas indican diferencia ($P \leq 0.05$) entre tratamientos.

varió de 40.5 a 46.3% en las parcelas tratadas con 25 y 50 ton/ha de biosólidos, respectivamente.

Los resultados logrados en este estudio son similares a los obtenidos por otros autores en otros ambientes diferentes. La disponibilidad de nutrientes en el suelo y en el forraje de las plantas es alto en las áreas aplicadas con biosólidos y estos tienden a disminuir sobre tiempo cuando no se realiza otra aplicación (Jaynes *et al.*, 2003; Fraijo, 2006). Los nitratos se incrementan entre un 55.2 y 201% en el suelo después de la aplicación de 30 a 50 ton/ha de biosólidos (Fraijo, 2006), pero otros estudios muestran que los niveles de nutrientes se reducen hasta en un 80% siete años después de la aplicación de biosólidos (Jaynes *et al.*, 2003).

Fraijo (2006), reporta incrementos en el contenido de fósforo en el suelo de 124.6, 133.1, 237.2, 257.4 y 352.1% durante el primer año de aplicación para las dosis de biosólidos de 20, 10, 30, 50 y 40 ton/ha, respectivamente, aunque se han reportado reducciones hasta de un 77% de fósforo en el suelo 7 años después de la aplicación de biosólidos en agostaderos (Jaynes *et al.*, 2003).

Los biosólidos una vez aplicados, benefician a la agricultura, silvicultura y horticultura. Los beneficios derivados de los biosólidos usados como mejoradores de suelo son que: aportan a) cantidades importantes de nitrógeno, b) fosforo, c) micronutrientes y mejoran la estructura del suelo (CSWRCB, 2000).

Armenta (2012), indica que el contenido de nitrógeno y fósforo en el suelo continúa siendo 2 a 4 veces superior en las parcelas tratadas en comparación con el testigo, cuatro veranos después de la aplicación de los biosólidos en dosis de 30 a 50 ton/ha en un Pastizal Mediano Abierto en Cananea, Sonora, México.

Estudios similares realizados en Cananea, Sonora, para evaluar la calidad nutritiva de diversas variedades de zacate buffel sembradas bajo condiciones de temporal y muestreado

durante la primavera y el verano, indican que el contenido de proteína cruda varió de 5.8 a 9.6%, las cenizas de 7.3 a 9.5%, la grasa de 6.1 a 10.1%, la fibra cruda de 69.4 a 79.3% y la digestibilidad de 45.9 a 56.5% (Figueroa, 2003).

De acuerdo con Dalrymple (1970), McMurphy y Denman (1970) la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio puede incrementar la proteína cruda, la digestibilidad de la materia seca (van Heerden *et al.*, 1974; Gargano y Aduriz, 1984), así como la producción de forraje, la capacidad de carga animal y la ganancia diaria de peso de los animales en pastoreo (McIvain y Shoop, 1970), y la palatabilidad, por lo que la fertilización puede incrementar la utilización de agostaderos y el contenido de proteína cruda en el forraje (McMurphy y Denman, 1970; Rethman *et al.*, 1989).

Voigt *et al.* (2004), señalan que la calidad del zacate boer cambia rápidamente a medida que la planta madura, el contenido celular y la hemicelulosa se reduce y se incrementa la celulosa y la lignina. A medida que la edad del rebrote se incrementa de 28 a 45 días la digestibilidad se reduce 2.8% y la proteína cruda $1.7 \text{ g kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (Voigt *et al.*, 1981). Otros estudios indican que la digestibilidad de la materia seca se redujo de $2.2 \text{ g kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ del rebrote de primavera al estado de maduración de semilla (Vera *et al.*, 1973). Voigt *et al.* (1986), indican que el zacate boer es alto en palatabilidad aunque esta se reduce rápidamente a medida que el pasto se hace viejo. El autor señala que la palatabilidad se mejora y se prolonga con la fertilización nitrogenada.

Los resultados encontrados en ese trabajo coinciden con los reportados por Voigt *et al.* (2004), quienes indican que en forma general, los niveles de proteína cruda y digestibilidad varían con la edad del pasto. Valores de digestibilidad y proteína cruda de 65 y 18% se han reportado durante el rebrote tierno y hasta un 50 y 6% en material viejo, seco y lignificado, respectivamente.

La primera hipótesis planteada en relación a que las plantas de zacate boer serian mas preferidas por el ganado que las plantas del mismo pasto en las áreas testigo se acepta ya que el ganado prefirió consistentemente las plantas en las parcelas tratadas con biosólidos. La segunda hipótesis planteada relacionada con que la calidad forrajera del pasto seria mayor en las parcelas tratadas con biosólidos que en las parcelas testigo también se acepta porque resultó cierta. La tercera hipótesis que indicaba que los biosólidos incrementarían por lo menos en un 30% la producción forrajera del zacate boer, también se acepta ya que las parcelas tratadas con biosólidos produjeron 2 a 3 veces más forraje en comparación con el testigo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Bajo las condiciones en las que se llevó acabo el presente trabajo se concluye que:

El ganado vacuno prefirió consistentemente consumir plantas de zacate boer tratadas con biosólidos en comparación con plantas del mismo pasto sin tratamiento alguno. Las plantas en las parcelas tratadas con 50 toneladas/ha fueron significativamente más preferidas que las plantas de boer en las parcelas tratadas con 25 toneladas/ha, lo que sugiere que los biosólidos son determinantes y no reducen la preferencia animal. La baja preferencia por las plantas de pasto en las parcelas testigo indica que los suelos del agostadero no cuentan con suficientes nutrientes para provocar crecimientos adecuados del pasto ni en cantidad ni en calidad para atraer al ganado vacuno.

La producción de forraje del zacate boer puede ser duplicada con la aplicación de biosólidos, lo que incrementa el potencial de producción de los productores y la capacidad de mantenimiento de los ranchos.

Los biosólidos también incrementan significativamente la calidad nutritiva del forraje del boer. Con la aplicación de 25 y 50 ton/ha de biosólidos se incrementó entre un 50 y un 95% el contenido de nitrógeno y entre un 54 y 67% el contenido de fosforo en el forraje. Aunque los cambios en el contenido de cenizas, grasa y fibra en el follaje del pasto no se incrementaron significativamente con la aplicación de los biosólidos, la proteína cruda se incrementó entre un 47 y 95% y la digestibilidad del forraje se incrementó en 3.4 a 12.3 puntos porcentuales.

Los biosólidos juegan un papel muy importante en los agostaderos porque pueden incrementar el nivel de nutrientes en el suelo, incrementar la calidad nutritiva del zacate boer e incrementar significativamente la producción de forraje y carga animal en los ranchos. Los

predios con zacate boer que apliquen biosólidos para rehabilitar praderas de zacate boer pueden duplicar la capacidad de carga animal y el potencial de producción de los ranchos.

Se requiere continuar evaluando la calidad del pasto sobre tiempo para determinar el efecto acumulado de los biosólidos sobre tiempo no solo para medir su efecto sobre la producción y calidad nutritiva del pasto, sino para determinar el tiempo que requiere el ganado para no diferenciar la calidad nutritiva en áreas tratadas y no tratadas con biosólidos. Esto servirá para determinar el costo beneficio relacionado con el uso del práctica y la periodicidad con que se requieren aplicar los biosólidos en el agostadero para maximizar la producción de forraje y carne.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adame, R. A. y D. A. Salin. 1993. Contaminación ambiental. Ed. Trillas. Primera edición. México, D.F. 50p.
- Aekerman, B., A., E. Manrique. F., V. Jaramillo. L., P. Guerrero. S., J. A. Miranda. S., I. Nuñez. T. y A. Chimal H. 1991. Las gramíneas de México, tomo II. Secretaría de agricultura y Recursos Hidráulicos. Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero. México, D. F. 395p.
- Allegretti, L., C. Sartor, J. Trejo, y S. Paez. 2006. Efecto del estado fisiológico en la composición botánica de la ingesta de cabras en el NE de Lavalle, Argentina. Sitio Argentino de Producción Animal. 4p.
- AOAC. 1984. Official methods of analysis. II Ed. Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D. C. 1260p.
- Armenta, V. A. 2012. Cambios en el suelo y en el forraje cuatro veranos después de la aplicación de biosólidos en un Pastizal Mediano Abierto de Cananea, Sonora, México. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias. Universidad de Sonora-Campus Santa Ana. Santa, Ana, Sonora, México.108p.
- Ávila, C. M., J. C. Villalobos., R. E. Sosebee., C. M. Britton., E. B. Fish., D. B. Wester y R. E. Zatman. 2003. Efecto de biosólidos en pastizales de oeste de Texas en el contenido de minerales en tejidos de novillos en pastoreo. Resumen. Memoria de la XXXIX Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. UNAM. México, D. F. p.139.
- Barrios, J., A. Rodríguez., A. González., A. Jiménez and C. Amaya. 2001. Quality of sludge generated in wastewater treatment plants in México: meeting the proposed regulation. In: Specialized conference on sludge regulations, treatment, utilization and disposal. International Water Association (IWA)-UNAM-UAM. Acapulco, Guerrero, México. p. 21.
- Beetle, A. A. D. G. Johnson. C. A. Navarro, y F. R. Alcaraz. 1991. Gramíneas de Sonora. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos-COTECOCA. Hermosillo Sonora, México. 174p.
- Cameron, E., N. Howm, S. Saggat and C. Ross. 2004. The cost-benefits of applying biosolid composts for vegetable, fruit, and sweetcorn production systems in New Zealand. Landcare Research Science series No. 27. ISSN 1172-269X. ISBN 0-478-09364-0. P. Lincoln, New Zealand. 31p.
- Colin, A., C. R. López., C. O. Olea., D. C. Barrera and F. C. Valdez. 2001 Products generated from the thermal treatment of sewage sludge treatment. In: Specialized conference of sludge regulation, treatment, utilization and disposal. International Water Association (IWA)-UNAM-UAM. Acapulco, Guerrero, México. 75p.

- Collis, N. G., B. G. Davey, y D. E. Smiles. 1971. Fundamentos de la Agricultura Moderna. AEDOS, Barcelona. España. 272p.
- Cox, J. R., M. H. Martin-R., F. A. Ibarra-F., J. H. Fourie, N. F. Rethman, and D. G. Wilcox. 1988. The influence of climate and soils on the distribution of four African grasses. *Journal of Range Management* 41(2):127-139.
- Cronquist, A., A. H. Holmgren, J. L. Reveal, P. K. Holmgren. 1994. Vascular Plants of the Intermountain West. U.S.A Intermountain Flora. 496p.
- Correll, D. S. y M. C. Johnston. 1970. Manual of the Vascular Plants of Texas. Texas Research Foundation. Renner, Texas, USA. 1881p.
- COSTAT. 2002. Costat Statisticals Software, version 6. 101. Monterrey, Ca. 9394, USA. 442p.
- COTECOCA. 1988. Tipos de vegetación, sitios de productividad forrajera y coeficientes de agostadero del estado de Sonora. Hermosillo, Sonora. p. 361.
- Cox, J. R., M. H. Martin-R, F.A. Ibarra-F., J. H. Fourie., N. F. G. Rethman and D. G. Wilcox. 1988. The influence of climate and soils on the distribution of four African grasses. *Journal of Range Manage* 41:127-139.
- CSWRCB. 2000. California State Water Resources Control Board. Verdades acerca de los riesgos y beneficios del uso de las aguas residuales tratadas lodo/biosólidos en el suelo. En: General Waste Discharge Requeriments for the Discharge of biosolids to Land For Use A Soil Amendments In Agricultural, Silvicultural, Horticultural and Land Reclamations Activities. Servicios del Departamento de Salud Ambiental del Condado de San Luis Obispo, California. 319p.
- Dalrymple, R. L. 1970. What we did to get 495 pounds of beef per acre from weeping lovegrass. p. 100-109. *In*: R. L. Dalrymple (Ed.). Proc. Weeping Lovegrass Symp. 1st Lake Murray Lodge, Ardmore, OK. 28-29 Apr. 1970. Noble Found. Ardmore, OK.
- DOF. 2003. Diario Oficial de la federación. SEMARNAT. Protección ambiental. Fecha de publicación: viernes 15 de agosto consultado en <http://dof.terra.com.mx> el 16 de junio de 2006.
- Enkerlin, C. E., G. Cano. R. A. Garza. E. Vogel. 1999. Ciencia ambiental y desarrollo sostenible. Thomson. México. pp. 408-410.
- EPA. 2000. Environmental Protection Agency. Aplicación de biosólidos al terreno. Folleto informativo de tecnología de biosólidos. United States Environmental Protection Agency. EPA 832-F00-064. Septiembre. USA. 122p.

- EPA and USDA. 2000. Environmental Protection Agency and United States Department of Agriculture. A guide for recommended practices for field storage of biosolids and other organic by-products used in agriculture and soil resource management. Office of Water. Washington, D.C. USA. 62p.
- Esqueda, C. M. H., L. R. Carrillo, R. 2001. Producción de forraje y carne en pastizales resembrados con gramíneas introducidas. *Tec. Pecu. Mex.* 39(2):139-152.
- FAO-UNESCO. 1975. Soil map of the World. USA, México and central América. 4:37-41.
- Figuroa, P. J. 2003. Valor nutritivo y preferencia animal de tres variedades de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en la región de Cananea, Sonora. Tesis Profesional. Universidad de Sonora-Campus Santa Ana. Santa, Ana, Sonora, México. 52p.
- Figuroa, U., M. A. Flores y R M. Palomo. 2002. uso de biosólidos en suelos agrícolas. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC. Campo experimental valle de Juárez. Folleto técnico No. 3 Guerrero. Chihuahua, México. 20p.
- Fraijo, Z. S. 2006. Uso de biosólidos para la recuperación de pastizales deteriorados en la región de Cananea, Sonora. Tesis Profesional. Universidad de Sonora-Campus Santa Ana. Santa, Ana, Sonora, México. 64p.
- García, D. E. y M. G. Medina. 2006. Composición química, metabolitos secundarios, valor nutritivo y aceptabilidad relativa de diez árboles forrajeros. *Zootecnia Tropical* 24(3):233.
- García, D. E., M. G. Medina., T. Clavero. J. Humbria., A. Baldizan y C. Domínguez. 2008a. Preferencia de arboles forrajeros por cabras en la zona baja de los andes venezolanos. *Revista Científica FCV-LUZ* 9(5):549-555.
- García, D. E., M. G. Medina., L. J. Cova., A. Torres., M. Soca., P. Pizzani., A. Baldizan., y C. D. Domínguez. 2008b. Preferencia de vacunos por el follaje de doce especies con potencial para sistemas agrosilvopastoriles en el estado Trujillo, Venezuela. *Pastos y Forrajes* 31(3):255-270.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen para adaptarlo a las condiciones de la republica Mexicana. México. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 71p.
- Gargano, A. O. and M. A. Aduriz. 1984. Defoliation management and nitrogen fertilization in weeping lovegrass. *Eragrostis curvula*, cv. Tanganyika. (In Spanish, with English abstract). *Rev. Fac. Agron. Univ. Buenos Aires* 5:7-14.
- Gargano, A. O., M. A. Aduriz and M. C. Saldungaray. 2001. Yield and quality of fertilized deferred forage of *Digitaria eriantha* and *Eragrostis curvula*. *Journal of Arid Environments*. 47(2):181-189.

- Gleason, H. A. y A. Cronquist. 1991. Manual of the vascular plants of northeastern United States and adjacent Canada. 2a ed. Bronx, New York. USA. 390p.
- Gómez, J. M., A. Ruiz de Apodaca., C. Rebollo and J. Azcarate. 2001. European policy on biodegradable waste: A management perspective in: specialized conference on sludge regulations, treatment, utilization and disposal. International Water Association (IWA)-UNAM-UAM. Acapulco, Gurrero, México. p. 129.
- Gonzales, F. A. y N. J. Medina. 1997. Ecología. Mc Graw Hill Editores. Primera edición. México. 252p.
- Gould, W. y B. Shaw. 1992. Gramíneas. AGT. Editores, S.A. Primera edición. México. 88p.
- Gutiérrez, A. J. 1991. Nutrición de rumiantes en pastoreo. Colección texto universitario. Universidad Autónoma de Chihuahua, México. 261p.
- Hentz, L. Jr., H. Cassel, and F. Alan. 2000. Separating Solids Solves Odor Emission Problems. Biosolids Technical Bulletin, July August, 25p.
- Hoyos, C. y P. Lascano. 1988. Valor nutritivo y preferencia por especies forrajeras nativas en las sabanas bien drenadas de los Llanos Orientales de Colombia. Pasturas Tropicales 10(3):1-7.
- Huston, J. E., C. A. Taylor y E. Straka. 1994. Effects of juniper on livestock. In: Juniper symposium 1994 proceedings'. Technical report 92-2. Texas A&M University Research station. Sonora, TX. 19p.
- INIFAP. 1997. Trasplante de chamizos en agostaderos. Tecnologías Llave en mano. Instituto Nacional de Investigación Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Primera edición INIFAP-SAGAR. División Pecuaria. México. 146p.
- Jacob, A. H. y V. Uexkull. 1973. Nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. EURAM. México. 80p.
- Jaynes, W. P., R. E. Zartman., R. E. Sosebee, and D. B. Wester. 2003. Biosolid decomposition after surface application in West Texas. Journal of Environmental Quality 32:1773-1781.
- Jiménez, C. B. 2002. La contaminación ambiental en México. Ed Limusa. Primera edición. México. 302p.
- Johnson, D. y L. Carrillo. 1977. Zacates. Comité de Fomento Ganadero. Hermosillo, Sonora, México. 76p.

- Jurado, P. 2000. Effects of biosolids and an inorganic mulch on soil-plant relationship in two Chihuahuan desert grassland [Ph.D. dissertation]. Lubbock, Texas, USA. Texas Tech University. 146p.
- Jurado, P. y D. B. Wester. 2001. Effects of biosolids on tobosagrass growth in the Chihuahuan desert. *Journal of Range Management* 54:89-95.
- Jurado, P., M. Luna y R. Barreto. 2004. Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos en pastizales áridos y semiáridos. *Tec. Pec. Mex.* 42(3):379-395.
- Labrado, M. J. 1996. La materia orgánica en los agrosistemas. Mundi Prensa, Editores. Primera edición. Madrid, España. 67p.
- Lavado, S. y M. Tabeada. 2002. Manual de procedimientos para aplicación de biosólidos en el campo. Convenio aguas Argentinas, S.A. y Facultad de Agronomía, UBA. Argentina. 54p.
- Llamas, A. y B. Treviño. 2004. Aprovechamiento de biosólidos como una fuente de energía ecológica. *Revista transferencia*. Año 17. Num. 68. Octubre, del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México. p. 4. Artículo electrónico consultado en la fecha 3 de Noviembre de 2006 en http://transferencia.mty.itesm.mx/transferencia68/investigación68/investigacion2_68.htm
- Lyons, R. K., R. Machen y T. D. A. Forbes. 2001. ¿Por qué cambia la calidad del forraje en los pastizales? E-99S Universidad de Texas A&M. Extensión en español. Texas, USA. 6p.
- López, R. G. 1992. Gramíneas. Universidad Autónoma de Chapingo. México. p. 11.
- Maestre, F. 2003. La restauración de la cubierta vegetal en zonas semiáridas en función del patrón espacial de los factores bióticos y abióticos. *Ecosistemas*. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Año XII No.1 Enero-Abril. 4p.
- Marietta, K. L., and C. M. Britton. 1989. Establishment of seven high yielding grasses on the Texas High Plains. *Journal of Range Management* 42:289-294.
- Martínez, F. M., G. Cuevas., R. Calvo and I. Walter. 2003. Biowast effects on soil and native plants in a semiarid ecosystem. *Journal of Environmental Quality* 32:472-479
- Martínez, M. 1979. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 1220p.
- McIlvain, E. H. and M. C. Shoop. 1970. Fertilizing weeping lovegrass in western Oklahoma. p. 62-70. *In*: R. E. Dalrymple (ed.) Proc. Weeping Lovegrass Symp. 1st Lake Murray Lodge, Ardmore, OK. 28-29 Apr. 1970. Noble Found. Ardmore, OK.

- McMurphy, W. E., and C. E. Denman. 1970. Research results on fertilizing weeping lovegrass in north central Oklahoma. p. 53-61. *In*: R. E. Dalrymple (ed.) Proc. Weeping Lovegrass Symp. 1st Lake Murray Lodge, Ardmore, OK. 28-29 Apr. 1970. Noble Found. Ardmore, OK.
- Moffet, C., R. E. Zartman and D. B. Wester. 2005. Surface biosolids application: effects on infiltration, erosion, and soil organic carbon in Chihuahua desert grasslands and shrublands. *Journal of Environmental Quality* 34:299-311.
- Nebel, B. J. y R. T. Wright. 1999. Ciencias ambientales. Ecología y desarrollo sostenible. Sexta ed. Edit. Pearson Education. México, D.F. 335p.
- Paschke, M., K. Topper., R. B. Brobst and E. F. Redente. 2005. Long term effects of biosolids on revegetation of disturbed sagebrush steppe in northwestern Colorado. *Restoration Ecology* 13(3):233-244.
- Ramírez, R. G., Saucedo, J. G., Narro J. A y J. Aranda. 1993. Preference indices for forage species grazed by spanish goats on a semiarid shrubland in Mexico. *Journal of Applied Animal Research* 3:55-66.
- Rethman, N. F. G., L. G. van Zyl, and B. H. Beukes. 1989. The influence of level and distribution of nitrogen fertilizer, on the dry matter production of *Eragrostis curvula*. *Journal of the Grassland Society of South Africa* 6:83-88.
- Rodríguez, A. y D. Porras. 1996. Zacates forrajeros. Editorial Trillas. Primera edición. México. 46p.
- Rodríguez, S. F. 1989. Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT editor S.A. Primera edición. México. 47p.
- Rostagno, C. M. and R. B. Sosebee. 2001. Surface application of biosolids in the Chihuahuan desert: effects on soil physical Properties. *Journal of Arid Land Research and Management* 15(3):233-244.
- Ruyle, G. B. and D. J. Young. 1997. Arizona range grasses. Cooperative Extension, publication AZ97105, College of Agriculture, The University of Arizona, Tucson, Arizona. Website: <http://ag.arizona.edu/pubs/natresources/az97105/>
- Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski y col. 2001. Flora fanerogámica del valle de México. Instituto de Ecología, A.C., y Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Segunda Edición. Patzcuaro, Mexico. 1046p.
- Saldaña, I. 2000. La carencia de agua potable. *Revista Industrial Ambiental* 1(4): 11-14.

- Sanderson, M. A., R. M. Jones, and J. S. Newman. 1991. Productivity of ten warm-season perennial grasses over several years in Central Texas. Bull. B-1695. Tex. Agric. Exp. Stn., College Station, TX. USA. 21p.
- Sigh, B., H. P. S. Makkar and S. S. Neg. 1989. Rate and extent of digestion and potentiality digestible dry matter and cell wall of various tree leaves. Journal of Dairy Science 72:3233-3239.
- Steel, R. G. D. and. H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. McGraw- Hill, New York. USA. 390p.
- Taliaferro, C. M., F. P. Horn, B. B. Tucker, R. Totusek and R. D. Morrison. 1975. Performance of three warm-season perennial grasses and a native range mixture as influenced by N and P fertilization. Agronomy Journal 67:289-292.
- Tiffany, M. E., L. R. McDowell., G. A. O'Connor., F. G. Martin., N. S. Wilkinson., S. S. Percival and P. A. Rabiansky. 2002. Effects of residual and reapplied biosolids on performance and mineral staus of grazing beef steers. Journal of Animal Science 80:260-269.
- Tisdale S. L. y. W.L. Nelson. 1970. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Montaner y Simon S. A. Barcelona, España. 541p.
- Tocagni, H. 1980. Plantas forrajeras. Ed. Albatros. Republica Argentina. 33p.
- Universidad de Sonora. 1967. Vegetación del estado de Sonora. En: UNISON ed. II informe anual de investigación 1966-1967. Hermosillo Sonora, México. 27p.
- USEPA. 1999. United States Enviromental Protection Agency. Biosolids generation, use, and disposal in the united States. Office of solids Waste. EPA-530-R-99-09.
- USEPA. 1989. United Status Environmental Protection Agency. Environmental regulations and technology. Use and disposal of municipal wastewater sludge. EPA625/10-84-003. Washington, D.C. 76 p.
- Vallentine, J. F. 1990. Grazing management. Academic Press, Inc. First edition. San Diego, California, USA. 533p.
- van Heerden, A. J., J. W. Nel., and P. Mellet. 1974. The effect of nitrogen fertilization on the yield and feeding value of *Eragrostis curvula* hay. South African Journal of Animal Science 4:109-112.
- Vera, R. R., H. Irazoqui, and E. E. Menvielle. 1973. The nutritive value of weeping lovegrass during the spring season. I. Digestibility and yield of digestible nutrients. Journal of the British Grassland Society 28:149-152.

- Villaseñor R. J. L. y F. J. Espinosa G. 1998. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario y Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 449p.
- Voigt, P. W., F. P. Horn and C. L. Dewald. 1981. Forage quality responses of four lovegrasses to stage, interval, and season of harvest. *Agronomy Journal* 73:877-884.
- Voigt, P. W., L. I. Croy and F. P. Horn. 1986. 1986. Forage quality of winterhardy lovegrasses. *Journal of Range Management* 39:276-280.
- Voigt, P. W., N. F. G. Rethman and M. M. Poverene. 2004. Lovegrasses. p. 1027-1056. *In*: L. E. Moser, B. L. Burson and L. E. Sollenberger (Eds). Warm-Season (C₄) Grasses. Agronomy Series No. 45. A. S. A., C. S. S. A., S. S. S. A., Madison, Wisconsin, USA. 1171p.
- Walton, M., J. E. Erec., R. P. Gibbens and M. D. Remmenga. 2001. Persistence of municipal biosolids in Chihuahuan desert rangeland 18 years after application. *Journal of Arid Land Research and Management* 15 (3):223-232.
- Whitford, G., E. F. Aldon., D. W. Freckman. A. Steinberger and L. W. Parker. 1998. Effects of organic amendments on soil biota on a degraded rangeland. *Journal of Range Management* 42:56-60.
- Yan, S., W. Changgui., R. E. Sosebee., D. B. Wester., E. B. Fish, and R. E. Zartman. 2000. Responses of photosynthesis and water relations to rainfall in the desert shrub creosote bush (*Larrea tridentata*) as influenced by municipal biosolids. *Journal of Arid Environments* 46(4):397-412.