



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA
EN RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA

CENID-RASPA

Potencial de Uso de Biosólidos en un Suelo de Matorral Desértico



M. C. María del Carmen Potisek Talavera
Dr. Uriel Figueroa Viramontes
Dr. Rodolfo Jasso Ibarra
Dr. Guillermo González Cervantes
Dr. José Villanueva Díaz

ISBN: 968-800-634-3

Folleto Técnico 6

Gómez Palacio, Durango

Agosto del 2006

Potencial de Uso de Biosólidos en un Suelo de Matorral Desértico

M. C. María del Carmen Potisek Talavera
Dr. Uriel Figueroa Viramontes
Dr. Rodolfo Jasso Ibarra
Dr. Guillermo González Cervantes
Dr. José Villanueva Díaz

CENID-RASPA

2006

**Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera.**

Km 6.5 margen derecha Canal Sacramento
Gómez Palacio, Durango. MÉXICO.
Apdo. Postal 41
35150 Cd. Lerdo, Dgo.
Teléfonos y Fax: 01 (871) 719-10-76, 719-10-77 y 719-11-34
e-mail: cenid.raspa@inifap.gob.mx

El contenido de esta publicación podrá reproducirse total o parcialmente con fines específicos de divulgación, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente a los autores, al CENID-RASPA y al INIFAP.

ISBN: 968-800-634-3

Presentación

La creciente demanda de agua dulce para desarrollar actividades productivas ante cada vez menor disposición de este recurso en el mundo, hace obligatorio el tratamiento del agua una vez que ha sido utilizada por el hombre.

En los países desarrollados esta práctica es generalizada, y con ello logran disminuir no sólo el alto consumo del recurso, sino también bajar los niveles de contaminación de los cuerpos de agua donde se descargan y el manto acuífero, y destinar el agua tratada a actividades de recreo y uso en la producción de insumos agroalimentarios e industriales.

La Comarca Lagunera, como lo muestran los autores de este folleto, genera un volumen considerable de este tipo de aguas que pueden tratarse y utilizarse de nuevo; pero además, los biosólidos derivados de su tratamiento es posible utilizarlos como abono del suelo para la producción de matorral desértico en aquellas zonas agrícolas que paulatinamente han sido abandonadas por falta de agua de riego.

Como una aportación al manejo del tema, el INIFAP a través de su personal investigador entrega en esta ocasión una revisión y resultados de investigación sobre los riesgos de uso de biosólidos en suelos con matorral semidesértico realizado en el marco del proyecto de investigación "Aprovechamiento de Biosólidos en la Producción Agrícola y Forestal: una Alternativa Regional de Disposición Final para Aminorar Riesgos de Salud Pública y Contaminación Ambiental N° 263", financiado con fondos CONACYT, e invita a los lectores del tema a sumar esfuerzos para avanzar en esta línea de investigación ligada al aprovechamiento de aguas negras.

Dr. José Antonio Cueto Wong
Director del CENID-RASPA

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
Generación de lodos	3
Pretratamiento	3
Tratamiento primario	4
CARACTERÍSTICAS DE LOS BIOSÓLIDOS	6
Características físicas	6
Características químicas	8
Características microbiológicas	9
NORMATIVIDAD EN EL USO DE BIOSÓLIDOS EN MÉXICO	9
USO BENÉFICO DE LOS BIOSÓLIDOS	14
RIESGOS DE CONTAMINACIÓN POR EL USO INADECUADO DE BIOSÓLIDOS	17
Lixiviación de nitratos	17
Salinidad	18
Compuestos orgánicos	19
Metales pesados	19
RIESGOS DE CONTAMINACIÓN CON NITRATOS Y SALINIDAD POR EFECTO DE APLICACIÓN DE BIOSOLIDOS	20
Metodología	21
RESULTADO Y DISCUSIÓN	23
Modificaciones de algunos parámetros fisicoquímicos en el suelo de textura arenosa por efecto de la aplicación superficial del biosólido en las columnas de suelo	26
CONCLUSIONES	33
BIBLIOGRAFÍA	35

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el crecimiento de la población urbana requiere cada vez más de agua potable para consumo doméstico e industrial. La reutilización de agua tratada ofrece la oportunidad de conservar dicho recurso. En México, esto conlleva a la generación de grandes volúmenes de aguas negras, que al desecharse se conducen a colectores municipales y deben ser tratadas para cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-96. Esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales que descargan en aguas y bienes nacionales. Una vez tratada, esta agua puede reutilizarse con fines de riego agrícola, riego de áreas verdes y para procesos industriales.

El lodo que resulta del proceso de las plantas tratadoras de agua residual (PTAR) es un subproducto que se genera inevitablemente. Cuando estos lodos cumplen con la norma para poder clasificarse como residuo no peligroso (NOM-052-ECOL-1993) y con la norma NOM-004-SEMARNAT-2002, que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, se consideran como **biosólidos**, y pueden utilizarse como abono orgánico en suelos agrícolas y pastizales. Solamente la ciudad de Torreón, Coahuila en la Comarca Lagunera, genera alrededor de $1.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de aguas residuales (CNA, 2005) y una producción estimada de 34 ton día^{-1} de lodos residuales en peso seco. La práctica

común de disposición final de los lodos residuales de PTAR es depositarlos en los rellenos sanitarios municipales; sin embargo, esto representa un problema potencial de contaminación ambiental debido a la concentración de grandes cantidades de lodos en un solo lugar.

Como caso de estudio, en los últimos 12 años, la superficie de riego en el Distrito de Riego 017 en la Comarca Lagunera (que incluye parte de los estados de Coahuila y Durango) se ha visto disminuida de 100 mil ha de cultivo a 32 mil 400 ha durante el período de 1990 a 2001. La reducción en la superficie se debe a las oscilaciones drásticas en la precipitación anual que se han presentado en la cuenca alta del río Nazas en la última década, y que influye negativamente sobre el almacenamiento de agua en las presas (Jasso *et al.*, 2002). Esto conlleva a que grandes superficies sin cultivar bajo riego queden sujetas a un crecimiento acelerado de especies arbustivas y arbóreas como mezquite (*Prosopis* sp.) y huizache (*Acacia farnesiana*). Dichas especies son potencialmente productivas ya que puede extraerse de ellas leña, carbón, forraje, fruto y goma (Villanueva *et al.*, 2004). La incorporación de biosólidos en suelos de pastizales y mezquitales es una alternativa de disposición final, ya que recicla nutrientes sobre grandes superficies de suelo. Con la aplicación de los biosólidos y un manejo adecuado de estas áreas se tiene la posibilidad de convertirlas en superficies con alto potencial productivo.

El objetivo de este folleto es presentar información sobre cómo se genera este subproducto, sus características, la normatividad vigente

que regula su uso potencial y disposición final, así como resultados de un proyecto de investigación sobre riesgos de contaminación por el uso de biosólidos en un suelo de matorral desértico.

ANTECEDENTES

Generación de Lodos

El tratamiento convencional para el manejo de aguas residuales municipales comprende el tratamiento preliminar (pretratamiento), primario y secundario. El tratamiento terciario se lleva a cabo para obtener un efluente de alta calidad. Las etapas de los tratamientos se describen a continuación (Metcalf y Eddy, 1991).

Pretratamiento.

El pretratamiento de las aguas residuales se define como el proceso de eliminación de los constituyentes grandes (madera, botellas, papel, tela, entre otros) de las aguas residuales mediante cribas, ya que su presencia puede provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. Un segundo sistema de cribas permite la separación de sólidos mayores de 5 mm (Figura 1).



Figura 1. Área de pretratamiento con criba rotatoria para la separación de semillas en una planta tratadora de aguas residuales (PTAR) en la ciudad de Torreón, Coahuila.

Tratamiento primario

Involucra operaciones de sedimentación por gravedad y flotación, que remueven aproximadamente la mitad de los materiales sólidos presentes en el influente. El material sólido orgánico e inorgánico que se retiene es arrastrado al fondo y retirado del proceso, pues constituye el lodo primario junto con el material sobrenadante (aceites, grasas y residuos vegetales). En la Figura 2 se muestra el cono desarenador donde se realiza la separación de sólidos y el cono desengrasador.

Enseguida, el influente pasa por uno de los reactores secuenciales, en el cual se lleva a cabo el proceso de reacción, en donde la población microbiana utiliza la materia orgánica presente en el influente como fuente de carbono y energía para su crecimiento y supervivencia (Figura 3). Finalmente, el agua pasa por el segundo

reactor secuencial, en el cual se efectúa el proceso de sedimentación de los lodos (Figura 4), para que posteriormente éstos sean descargados a los lechos de secado (Figura 5).



Figura 2. Conos de separación de sólidos, aceites y grasas. Torreón, Coah.



Figura 3. Primer reactor secuencial de reacción en una PTAR ciudad de Torreón,



Figura 4. Reactor Secuencial de Sedimentación de los lodos en una PTAR de la ciudad de Torreón, Coahuila.

CARACTERÍSTICAS DE LOS BIOSÓLIDOS

Durante el tratamiento de agua residual se separa toda la materia sólida y semi-sólida para producir agua limpia como producto principal y lodos residuales como subproducto. Los lodos residuales son ricos en materia orgánica y nutrientes; sin embargo, contienen algunos contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y organismos patógenos (Bierman y Rosen, 1994).

Características físicas

La principal característica física de los biosólidos es el contenido de humedad. Dependiendo del método de estabilización y deshidratado, el porcentaje de sólidos varía de cinco a 90 por ciento. Cuando el contenido de sólidos es muy bajo, los biosólidos son de aspecto gelatinoso, debido a que se le añaden polímeros. A medida que el

porcentaje de sólidos aumenta, su aspecto cambia a una masa sólida, suave como lodo. Respecto al color de los biosólidos es negro y el olor fuerte (EPA, 2000). La purga de los lodos en el lecho de secado a cielo abierto en una PTAR se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Descarga de lodos en el lecho de secado en una planta tratadora de aguas.

Una vez que los lodos se descargan en los lechos de secado a cielo abierto, estos permanecen ahí aproximadamente un mes (Figura 6).



Figura 6. Lodos en el lecho de secado a cielo abierto en la planta tratadora de aguas residuales de Torreón, Coahuila.

Características químicas

Contenido de nutrimentos. La composición química de los biosólidos hace que sean atractivos para la incorporación en suelos. Contienen nutrimentos necesarios para el crecimiento de las plantas y materia orgánica que mejora las condiciones del suelo. En general, los biosólidos son ricos en nitrógeno (N) y fósforo (P); una tonelada de biosólidos puede contener en promedio de 37 a 50 kg de N y de 13 a 24 kg de P (Stehower, 1999), además de otros nutrimentos (Cuadro 1).

El contenido de materia orgánica en los biosólidos es del 60 a 70 por ciento. Esto es de gran beneficio ya que la materia orgánica, además de liberar nutrientes al descomponerse, mejora la estructura el suelo e incrementa la capacidad de infiltración y retención de agua.

Cuadro 1. Contenido de nutrimentos en biosólidos con diferente proceso de estabilización.

Parámetro	Digestión Aeróbica	Digestión Anaeróbica	Estabilización Alcalina
		%	
Sólidos totales	2.3	6.7	9.1
Materia orgánica	63	60	62
Nitrógeno total	4.9	4.6	3.7
Nitrógeno orgánico	4.7	3.6	3.6
Nitrógeno amoniacal	0.2	0.9	0.1
Fósforo	2.4	2.1	1.3
Potasio	0.4	0.5	0.2

Fuente: Stehower, 1999.

Contenido de metales pesados. La concentración de metales pesados en los biosólidos define si éstos pueden incorporarse en suelos agrícolas o de pastizales. En el Cuadro 2 se observa el contenido medio y extremo de metales pesados en lodos residuales.

Cuadro 2. Contenido medio de metales pesados en biosólidos.

Metal	Mediana	Extremo
	mg kg ⁻¹	
As	3.4	20.0
Cd	2.2	7.3
Cu	505.0	1382.0
Pb	62.0	202.0
Hg	1.5	6.0
Mo	8.7	44.0
Ni	22.0	85.0
Se	4.4	8.5
Zn	694.0	1989.0

Fuente: Stehower, 1999.

Características microbiológicas

Las aguas residuales que provienen del uso doméstico y los lodos que se forman con el tratamiento de este tipo de aguas, generalmente contienen cuatro grupos de organismos patógenos que atacan al ser humano; estos son: bacterias, virus, protozoarios y helmintos. No obstante lo anterior, mediante el proceso de estabilización que reciben los biosólidos, el contenido de patógenos se reduce a niveles que los hacen no peligrosos cuando se utilizan en la agricultura (NRC, 1996).

NORMATIVIDAD EN EL USO DE BIOSÓLIDOS EN MÉXICO

La Norma Oficial NOM-004-SEMARNAT-2002 establece los límites permisibles de metales y patógenos en biosólidos. Los metales pesados que están regulados en materia de biosólidos, de acuerdo con la Norma anterior son: arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr),

cobre (Cu), plomo (Pb), mercurio (Hg), níquel (Ni) y zinc (Zn). De acuerdo con el contenido de metales pesados, los biosólidos se pueden clasificar como **Excelentes** y **Buenos** (Cuadro 3). Si la concentración de alguno de los metales es mayor que el límite máximo permisible para ser clasificados como **Buenos**, los biosólidos se consideran **no aptos** para su uso.

Cuadro 3. Límites máximos de metales pesados en biosólidos.

Metal	Buenos	Excelentes
	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Arsénico	75	41
Cadmio	85	39
Cromo	3000	1200
Cobre	4300	1500
Mercurio	840	300
Níquel	57	17
Plomo	420	420
Zinc	7500	2800

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002.

Para disminuir el riesgo de contaminación microbiológica, los lodos residuales de PTAR deben pasar por procesos de *estabilización* que reduzcan significativamente el contenido de patógenos y así poder cumplir con la Norma NOM-004-SEMARNAT-2002. Los procesos de estabilización de biosólidos más comunes se describen en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Procesos de estabilización de lodos residuales de PTAR.

Proceso	Descripción
Digestión aeróbica	Los lodos se mantienen en agitación con oxígeno o aire para mantener condiciones aeróbicas durante un período de 40 a 60 días, dependiendo de la temperatura.
Digestión anaeróbica	Los lodos se mantienen en condiciones anaeróbicas (ausencia de aire u oxígeno) durante un período de 15 a 60 días, dependiendo de la temperatura.
Estabilización alcalina	Los lodos se mezclan con suficiente cal (alrededor de 20 por ciento) para elevar el pH a un valor de 12.
Secado al aire	Se conocen también como “camas de secado”. Los lodos se extienden sobre camas de arena o pavimentadas, con pendiente que permite recuperar el agua de exceso por lixiviación o escurrimiento.
Elaboración de composta	Existen varios métodos para elaborar composta. La temperatura debe aumentar a 55°C o más.

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002.

De acuerdo al contenido de patógenos, los biosólidos se clasifican por esta norma en tres clases: clase A, B y C. De acuerdo a cada clase, en el Cuadro 5 se muestran las cantidades de patógenos que pueden presentar los lodos para ser clasificados.

Cuadro 5. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en biosólidos.

Clase	Patógenos:		Parásitos:	
	Coliformes fecales ¹	<i>Salmonella spp.</i>	Huevos de helminto ³	
	NMP g ⁻¹ (base seca) ²	NMP g ⁻¹ (base seca) ²	N g ⁻¹ (base seca) ²	
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1	
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10	
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35	

¹Indicador bacteriológico de contaminación.

²NMP número más probable.

³Huevos de helmintos viables. N número de huevos. Base seca (con un contenido de menos del 5 % de humedad).

Fuente: NOM-004-SEIMARNAT-2002.

El aprovechamiento de los biosólidos en función de su calidad por el contenido de patógenos se describe en el Cuadro 6. Los biosólidos **Clase A** se obtienen mediante procesos adicionales a la estabilización para reducir significativamente los patógenos, como pueden ser tratamientos con calor, pasteurización o composteo. Cuando esta clase de biosólidos se clasifican como «Excelentes» por el contenido de metales, pueden aplicarse prácticamente sin restricciones, inclusive en suelos urbanos de uso público. Los biosólidos **Clase B** son los que comúnmente se producen en las PTAR después del proceso de estabilización; éstos, junto con los de **Clase C** pueden aplicarse en suelos agrícolas, áreas de pastizales y bosques (NRC, 1996).

Cuadro 6. Aprovechamiento de biosólidos en función de su calidad por metales pesados .

Tipo (metales pesados)	Clase (patógenos)	Aprovechamiento
Excelente	A	Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación. Los establecidos para clase B y C.
Excelente o Bueno	B	Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación. Los establecidos para clase C.
Excelente o Bueno	C	Usos forestales. Mejoramientos de suelos. Usos agrícolas.

Fuente: Adaptado de NOM-004-SEMARNAT-2002.

USO BENÉFICO DE LOS BIOSÓLIDOS

El uso benéfico de los biosólidos cuando se aplican a terrenos agrícolas, pastizales y forestales es el de suministrar nutrimentos a las plantas que allí crecen y mejoran las condiciones del suelo. La aceptación de esta práctica ha ido en aumento ya que es ecológicamente segura y viable, y en términos económicos permite reducir costos de producción en los cultivos cuando se utilizan como sustitutos parciales de los fertilizantes inorgánicos. El nitrógeno es uno de los elementos más abundantes en este subproducto; por lo que deberán considerarse los siguientes factores antes de aplicarse: 1) Nitrógeno aprovechable durante el ciclo del cultivo, 2) Demanda de nitrógeno del cultivo para alcanzar su rendimiento potencial y 3) Nitrógeno acumulado en el suelo (Gilmour y Clark, 1998).

El uso de los biosólidos es una práctica común para la recuperación de suelos afectados por minería en Estados Unidos y Canadá (NRC, 1996) bajo normas establecidas por la EPA (1995). En la actualidad, en Estados Unidos los biosólidos se aplican a los suelos con varios propósitos: con fines agrícolas (36 por ciento) principalmente para la producción de zacate; el 38 por ciento se envía a rellenos sanitarios; el 16 por ciento se incinera y el resto dispuesto en la superficie para otros usos (NRC, 1996).

Los mismos biosólidos incubados en diferentes suelos descomponen y mineralizan el nitrógeno a diferentes niveles (Ajwa y Tabatai, 1994). Por otro lado, (Jurado *et al*, 2004 a) mencionan que al

realizar aplicaciones de biosólidos en forma superficial muestra efectos favorables en la concentración en el suelo de N-NO_3 bajo condiciones de campo. También (Rostagno y Sosebee, 2001); observaron que con la aplicación superficial de siete hasta 90 t de materia seca de biosólido aumenta la materia orgánica en la superficie de suelos con textura arenosa y arcillosa en la medida que se incremente la dosis.

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

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

En un pastizal degradado de zacate navajita, la aplicación superficial de biosólidos en dosis de 22 hasta 90 t ha⁻¹ mostró resultados muy promisorios para la reutilización de nutrimentos en pastizales

nativos, ya que se obtuvieron incrementos en el contenido de algunos macro y micronutrientes en el suelo, así como un efecto neutral, es decir, de no incremento en la concentración de los metales pesados (Fresquez *et al.*, 1990).

En México, (Jurado *et al.*, 2004 b) evaluaron el efecto de aplicaciones de biosólidos en dosis de 15 a 20 t ha⁻¹ en pastizales de pasto navajita en el estado de Jalisco. Durante el año 2003, la producción de forraje seco se incrementó de manera lineal a razón de 71 kg de forraje por cada tonelada de biosólidos, a partir de 1,250 kg. Por ejemplo, en el tratamiento de 90 t ha⁻¹ la producción fue de más de siete ton ha⁻¹, comparado con 476 kg ha⁻¹ obtenidos en el tratamiento testigo.

También es posible utilizar los biosólidos en jardinería siempre y cuando pasen el análisis de calidad de acuerdo a la NOM-004; la Figura 7 muestra un jardín en donde se han realizado aplicaciones de biosólidos.



Figura 7. Aprovechamiento de biosólidos en jardines de una PTAR en Torreón, Coahuila.

RIESGOS DE CONTAMINACIÓN POR EL USO INADECUADO DE BIOSÓLIDOS

Una de las mayores preocupaciones que afronta la sociedad actual en todo el mundo es la disponibilidad de agua de buena calidad, ya que de ello depende en gran medida la salud pública. Por otra parte, la contaminación de los cuerpos subterráneos de agua también pone en riesgo la capacidad productiva de los suelos, aunque los factores son diferentes que los citados para los problemas de salud pública. En el caso de los suelos agrícolas la acumulación excesiva de cationes y aniones en el agua del subsuelo que llega a extraerse para el riego de los cultivos puede limitar de manera irreversible su productividad, o provocar que los costos de rehabilitación sean demasiado altos, de manera que deja de ser rentable esta actividad. Algunos de los riesgos de contaminación por el uso inadecuado de los biosólidos son:

Lixiviación de nitratos

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

(Martínez *et al.*, 2001). El daño en la salud humana más documentada por consumo de agua contaminada con nitratos es la enfermedad en niños menores de seis años conocida como metahemoglobinemia o síndrome del bebe azul. El consumo de aguas contaminadas con nitratos se ha asociado también con algunos tipos de cáncer como el gástrico y con problemas reproductivos en la mujer y el hombre (Cueto *et al.*, 2005).

Existen cultivos forrajeros capaces de acumular nitratos en exceso, los cuales están asociados con una menor producción de leche y probables abortos en ganado bovino (Cueto *et al.*, 2003).

El exceso de nitrógeno disponible para los cultivos estimula un mayor crecimiento vegetativo y succulencia de los tejidos, lo que puede provocar una mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades (Cueto *et al.*, 2005).

Salinidad

Los contaminantes potenciales en los biosólidos son muy variados, incluyen iones electrolitos y no electrolitos disueltos, residuos de compuestos orgánicos y elementos pesados. Los iones electrolitos son altamente electropositivos o negativos y producen valores de presión osmótica que limitan el crecimiento de los cultivos; su concentración se mide generalmente como conductividad eléctrica (CE). Cuando se aplica agua de riego con alto contenido de iones electrolitos, es decir, con elevada conductividad eléctrica; el resultado es una

salinidad progresiva que conduce al deterioro de los suelos y que impide su uso con fines agrícolas. Por lo anterior, es de suma importancia evaluar la presencia de éste en los lixiviados de suelos donde se aplican biosólidos.

Compuestos orgánicos

Otro grupo de contaminantes es el que incluye a residuos de compuestos orgánicos, que actúan como ingrediente activo en una gran cantidad de productos que se usan para el control de plagas, enfermedades y procesos industriales. Su presencia en los biosólidos podría ocurrir debido a la gran cantidad de químicos que se usan en la industria, en jardinería y en insecticidas domésticos. Los efectos de estos contaminantes en la salud pública se manifiestan como desórdenes del tipo carcinógeno.

Metales pesados

Finalmente, los elementos pesados incluyen al arsénico, plomo y cadmio, cuyos efectos como cáncer en la piel están bien documentados. El manejo inadecuado de los biosólidos incrementa el riesgo de contaminación con metales pesados y contaminación microbiológica de suelos, plantas y seres humanos (EPA, 2000).

RIESGOS DE CONTAMINACION CON NITRATOS Y SALINIDAD POR EFECTO DE APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS

Es incuestionable la complejidad del estudio de la contaminación de los cuerpos de agua subterránea en escenarios naturales debido, entre otras razones, a las escalas espaciales y temporales requeridas a los costos involucrados y a lo impráctico que resultaría contaminar dichos cuerpos de agua para llegar a conocer los límites críticos para los diferentes sectores de usuarios. Por lo que antecede, se ha realizado un estudio de caso exploratorio para analizar el potencial de contaminación del agua subterránea al aplicar biosólidos bajo condiciones de laboratorio en suelos de textura arenosa, que se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelos del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA), del INIFAP.

Entre las diversas metodologías para estudiar este proceso en condiciones controladas sobresalen los lisímetros o contenedores de suelos en los que se producen lixiviados para evaluar el arrastre de contaminantes hacia estratos del perfil del suelo inferiores al límite de crecimiento de las raíces de los cultivos. Alternativo a los lisímetros, las columnas de suelo que funcionan bajo el mismo principio permiten estudiar el proceso a una escala espacial mucho menor y por ello con costos de operación significativamente inferiores. No obstante, los resultados generalmente son una buena base para establecer lineamientos e indicadores para controlar la contaminación del agua subterránea (Shuttleworth, 1993).

La investigación se llevó a cabo durante el período de enero del 2004 a diciembre del 2005, en el laboratorio del CENID-RASPA en Gómez Palacio, Dgo.

Para evaluar la fertilidad y salinidad del suelo arenoso por adición de biosólidos, así como los lixiviados obtenidos y evaluar la contaminación, se utilizaron columnas de PVC de 10.2 cm de diámetro por 60 cm de largo. Previo al empacado del suelo, se parafinaron los tramos de PVC para minimizar el flujo de agua por las paredes (Figuroa *et al.*, 2000). Para empacar las columnas se hizo a través tres estratos: el estrato de 40 a 60 cm (con arena de río) con una densidad aparente de 1.5 g cm^{-3} ; el estrato medio de 10 a 40 cm (con arena de duna) con una densidad aparente de 1.4 g cm^{-3} ; el estrato superficial de 0 a 10 cm compuesto por suelo con la misma densidad aparente que en el estrato anterior y mezclado con los tratamientos de biosólidos y fertilizantes (ver Figura 8, donde se muestran las columnas empacadas con suelo arenoso).

Los tratamientos evaluados:

- a) Biosólidos, en dosis de 970 kg N ha^{-1} ;
- b) Biosólidos, en dosis de $485.43 \text{ kg N ha}^{-1}$;
- c) Nitrógeno, en dosis de 100 kg N ha^{-1} , utilizando sulfato de amonio como fuente.
- d) Testigo, sin aplicación de biosólido ni fertilizante.

La dosis alta de biosólidos es equivalente a 200 t ha^{-1} aplicadas a las columnas de suelo superficialmente. La dosis baja de biosólidos es equivalente a 100 t ha^{-1} aplicadas a las columnas de suelo superficialmente. La composición nutrimental y de sales del biosólido utilizado en la evaluación se aprecia en el Cuadro 7. A las columnas se les aplicó agua en un volumen aproximado a dos veces el volumen de saturación del suelo.

La colección de los lixiviados se realizó cada 500 ml hasta completar un volumen total de 3.0 l, posteriormente se hizo una muestra compuesta de cada repetición y de cada tratamiento y se realizaron los análisis fisicoquímicos. En el caso del suelo, al término del experimento en laboratorio, las columnas se dividieron en cuatro estratos 0-5, 5-10, 10-35 y 35-60 cm. A cada estrato se le realizó un análisis fisicoquímico y posteriormente los resultados se analizaron estadísticamente mediante el programa SAS (SAS , 1999).



Figura 8. Estudio de caso CENID-RASPA: Columnas de suelo y colecta de lixiviados.

Cuadro 7. Composición nutrimental del lodo utilizado de la PTAR en base seca al momento de aplicarse en un suelo de textura arenosa.

Variable	Unidad	Valor
pH		7.35
Conductividad eléctrica	(dS m ⁻¹)	5.97
Calcio soluble	(meq 100 g ⁻¹)	1.81
Magnesio soluble	(meq 100 g ⁻¹)	0.89
Sodio soluble	(meq 100 g ⁻¹)	1.67
Carbonatos totales	(%)	4.9
Nitrógeno total	(%)	1.62
Materia orgánica	(%)	20.7
Nitrógeno disponible	(N-NO ₃ mg kg ⁻¹)	206
Fósforo disponible	(P mg kg ⁻¹)	780
Potasio disponible	(K mg kg ⁻¹)	869
Clase textural		Arena

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición química de los lixiviados. Los resultados obtenidos del análisis de lixiviados en columnas de suelo arenoso y con aplicación de biosólidos en dosis baja y alta, respectivamente de 100 y 200 t ha⁻¹ se indican en el Cuadro 8.

El valor de CE varió con relación al volumen acumulado de lixiviado debido a que en las etapas iniciales se solubiliza una mayor cantidad de sales precipitadas. Se observó una tendencia decreciente de la CE con respecto al volumen de lixiviado acumulado, en la que los valores se estabilizan una vez que se han percolado alrededor de 500 ml (50 mm de lámina). Los resultados corresponden a la fracción asintótica de dicha relación.

Cuadro 8. Resultados de análisis de lixiviados con la aplicación de biosólidos en columnas de suelo arenoso (*).

Variable	Biosólido 200 t ha ⁻¹	Biosólido 100 t ha ⁻¹	Fertilizante	Testigo
pH	8.38 B	8.17 C	8.71 A	8.74 A
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	2.026 A	1.594 B	1.487 B	1.304 B
RAS	4.22	3.89	3.52	4.43
Carbonatos (CO ₃ ⁻²)	0.531 ns	0.674	0.718	0.769
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻¹)	7.397 A	4.544 B	2.298 C	2.103 C
Cloruros (Cl ⁻¹)	3.061 ns	2.989	2.833	2.744
Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	12.21 ns 9	10.32 6	10.55 9	8.208
Calcio (Ca ⁺²)	11.10 A	8.10 B	7.10 BC	5.60 C
Magnesio (Mg ⁺²)	2.102 ns	1.382	1.641	0.902
Sodio (Na ⁺¹)	10.83 A	8.47 AB	7.36 B	7.99 B
Potasio (K ⁺¹)	0.782 B	0.831 AB	0.681 C	0.609 C

(*) Las concentraciones iónicas están en miliequivalentes por litro. Valores con la misma letra son iguales a un nivel de probabilidad de alfa 0.01 con prueba Tukey.

Al comparar los valores entre columnas se observa claramente que en las que se aplican dosis altas de biosólidos la conductividad eléctrica del lixiviado es muy superior a las restantes (Potisek *et al.*, 2004). Aparentemente los biosólidos liberan mayores cantidades de electrolitos aun en etapas avanzadas del proceso, lo que confirma el comportamiento de las aguas residuales como aguas salinas (Figueroa *et al.*, 1994).

La aplicación de fertilizante favorece ligeramente a un incremento en la CE sólo en las etapas iniciales. Debe notarse, que independientemente de la condición de las columnas, en todos los casos los lixiviados se clasifican como aguas altamente salinas (C3) (Richards, 1980). Con esto se puede afirmar que los perfiles de textura ligera pueden facilitar la salinización de las aguas subterráneas y este proceso podría ser más intenso si se aplican frecuentemente biosólidos a la superficie. Los iones que muestran una mayor relación a esta tendencia son los bicarbonatos, el calcio y el sodio.

El análisis combinado de la presencia de sodio, calcio y magnesio se realiza mediante la Relación de Adsorción de Sodio o RAS (Richards, 1980). El valor de RAS indica el riesgo de afectar una característica hidrodinámica esencial al suelo como es la velocidad de infiltración, si ésta se aplica con fines de riego. Los resultados de los análisis de los lixiviados muestran valores de RAS muy estables, alrededor de cuatro unidades en todos los tratamientos (Cuadro 8).

Independientemente de las causas, el valor indica que los lixiviados se clasifican como agua baja en sodio en todos los casos, por lo que este ión no representa riesgo de contaminación al utilizarse los biosólidos bajo estas condiciones.

Modificaciones de algunos parámetros fisicoquímicos en el suelo de textura arenosa por efecto de la aplicación superficial del biosólido en las columnas de suelo.

Potencial Hidrógeno (pH) del suelo. En la Figura 9 se aprecian los valores de pH a diferentes profundidades 0-5, 5-10, 10-35 y 35-63 cm de las columnas de suelo arenoso. En el estrato de 0-5 cm el pH disminuyó a un valor de 6.84 con el tratamiento de 200 t ha⁻¹ de biosólidos, comparado con el tratamiento testigo, que presentó un valor de 8.26. Los tratamientos de 100 t ha⁻¹ de biosólidos y fertilizante presentaron valores similares de 7.69 y 7.63, respectivamente. En las profundidades de 10-35 y 35-63 cm el comportamiento de los tratamientos fue similar ($p > 0.05$). La disminución del pH se presenta por la formación de ácidos orgánicos al descomponerse la materia orgánica.

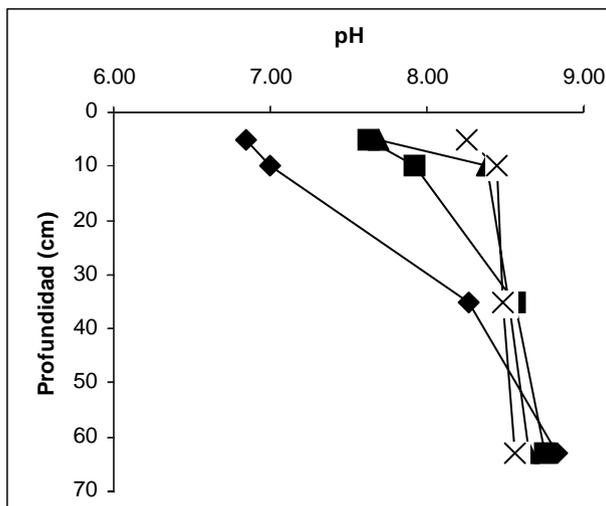


Figura 9. Distribución de los valores de pH en el perfil de una columna de suelo.

Conductividad eléctrica del suelo. La conductividad eléctrica (CE) se afectó en el estrato superior con diferencias altamente significativas entre los tratamientos, siendo el valor más alto de 2.78 dSm^{-1} con 200 t ha^{-1} de biosólidos y el valor más bajo con el tratamiento Testigo de 0.5 dSm^{-1} . A la profundidad de 5-10 cm los valores de la CE disminuyeron excepto con el tratamiento de 200 t ha^{-1} de biosólidos, con un valor de 0.68 dSm^{-1} . En las profundidades inferiores el comportamiento de esta variable fue similar en todos los tratamientos con valores menores de 0.4 dS m^{-1} (Figura 10). Es posible que el incremento de la conductividad eléctrica se deba a la adición de iones solubles. La conductividad disminuyó en las profundidades inferiores y las diferencias entre tratamientos también. Cabe resaltar que aún con los valores más altos de CE, los suelos no alcanzan la clasificación de suelos salinos (Ayers y Wescot, 1989).

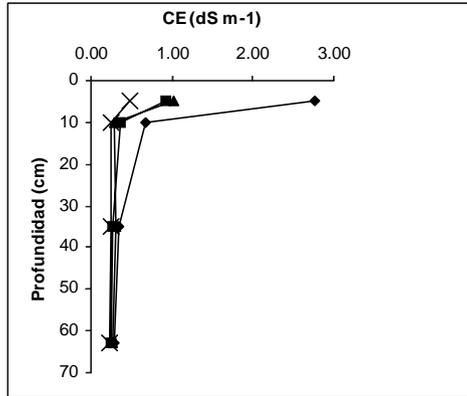


Figura 10 Distribución de los valores de CE en el perfil de una columna de suelo.

Porcentaje de sodio intercambiable. Los valores de por ciento de sodio intercambiable (PSI) real, por la naturaleza de la textura arenosa, fueron bajos sin mostrar diferencias estadísticas entre tratamientos. El PSI menor fue de menor del siete por ciento en el estrato superior y aún más bajo, en los estratos de 5 a 35 cm. En el estrato de 35–50 cm, el PSI aumentó a valores alrededor de 10 por ciento en los tratamientos con biosólidos y fertilizante. Lo anterior indica un mayor movimiento del sodio, con respecto a Ca + Mg, en los estratos inferiores del suelo (Figura 11).

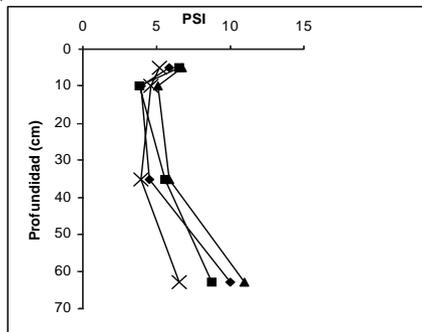


Figura 11. Distribución de los valores de PSI en el perfil de una columna de suelo.

Materia orgánica. Los contenidos de materia orgánica evaluados en las diferentes profundidades de las columnas de suelo de textura arenosa se muestran en la Figura 12. En los estratos evaluados no se encontraron diferencias significativas en los incrementos de la materia orgánica; sin embargo, en el estrato superior el valor más alto se observó con el tratamiento de 200 t ha⁻¹ de biosólidos con un valor de 0.8 por ciento, a diferencia del tratamiento testigo que presentó un valor de 0.59 por ciento. En las profundidades de 5-10 y 10-35 cm los valores de este parámetro disminuyen ligeramente con un comportamiento similar. En el estrato inferior se muestran valores inferiores 0.2 por ciento en todos los tratamientos. Si bien es cierto que el biosólido contiene una gran cantidad de materia orgánica, en los suelos arenosos se refleja en forma sustancial el incremento de este parámetro.

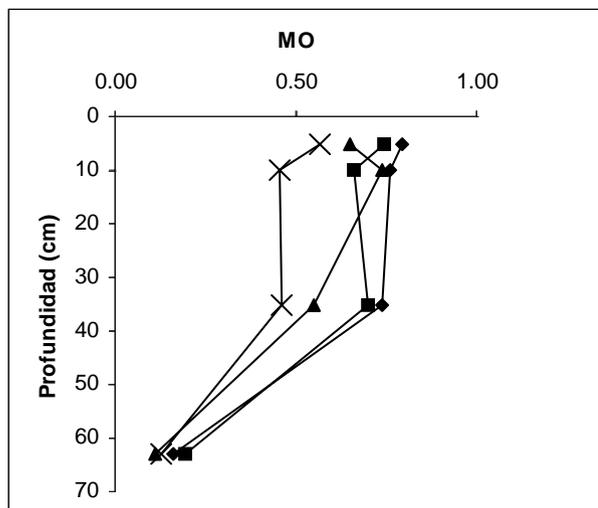


Figura 12. Distribución de los valores de materia orgánica en el perfil de una columna de suelo.

Nitrógeno. En cuanto al contenido de nitrógeno en forma de nitratos, en los dos estratos superiores hubo diferencias altamente significativas entre tratamientos: se observó en la profundidad de 0-5 cm un incremento de este parámetro en los tratamientos donde se aplicaron los biosólidos, siendo los valores de 155 y 74 mg kg⁻¹ para las dosis de 200 y 100 t ha⁻¹ de biosólidos, respectivamente; mientras que en los tratamientos donde se aplicó el fertilizante inorgánico y en el testigo, los valores fueron de 39 y 13 mg kg⁻¹.

Cabe mencionar que a la profundidad de 5-10 cm, los valores se incrementan con los tratamientos de biosólidos, presentando valores de 224 y 78 mg kg⁻¹, para las dosis de 200 y 100 t ha⁻¹ de biosólidos, respectivamente, comparados con los tratamientos de fertilizante y testigo con valores de 6.8 y 1.2 mg kg⁻¹ (Figura 13). El aumento en la profundidad de 5-10 cm es debido a que los nitratos se encuentran en forma de anión y que es fácilmente transportado por el agua y perdido por efecto de lixiviación.

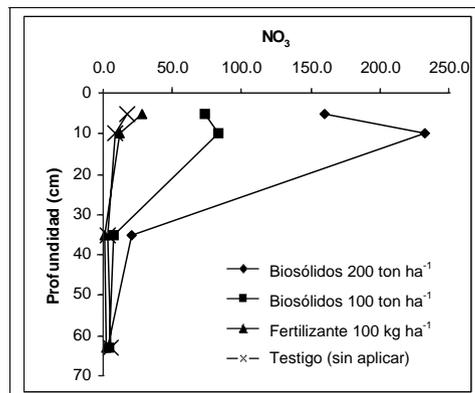


Figura 13. Distribución de los valores de nitratos en el perfil de una columna de suelo.

Fósforo. La evaluación de los contenidos de fósforo se realizó en las columnas de suelo de textura arenosa y se muestra a nivel de las cuatro profundidades en la Figura 14. En las dos primeras profundidades se observaron incrementos con la aplicación de los biosólidos. En el estrato de 0-5 cm los valores fueron de 54 y 37 mg kg⁻¹ en las dosis de 200 y 100 t ha⁻¹ de biosólidos, respectivamente; mientras que los tratamientos con fertilizante y el testigo presentaron valores menores de 5 mg kg⁻¹. En las dos últimas profundidades los valores disminuyeron en los tratamientos (Figura 14).

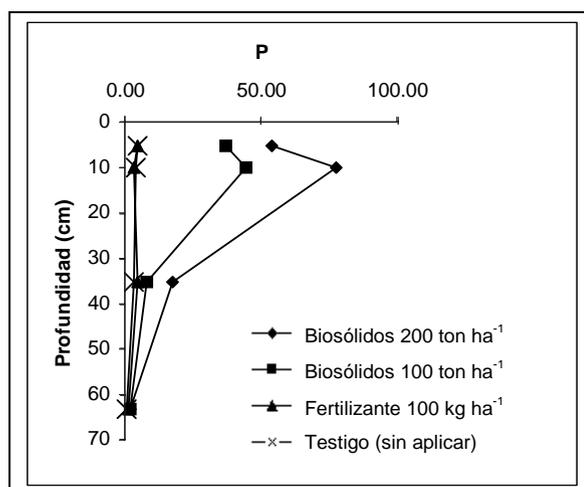


Figura 14. Distribución de los valores de fósforo en el perfil de una columna de suelo.

Potasio. En el caso del potasio, los incrementos se presentan en el estrato superior, nuevamente con los tratamientos de biosólidos carga alta y baja con valores de 769 y de 726 mg kg⁻¹ respectivamente, el valor más bajo se observó con el tratamiento de fertilizante con un valor de 636 mg kg⁻¹. Al igual que en el caso del fósforo y en la segunda

profundidad, los valores de todos los tratamientos se incrementan ligeramente. En las profundidades inferiores los valores de potasio disminuyen en todos los tratamientos (Figura 15).

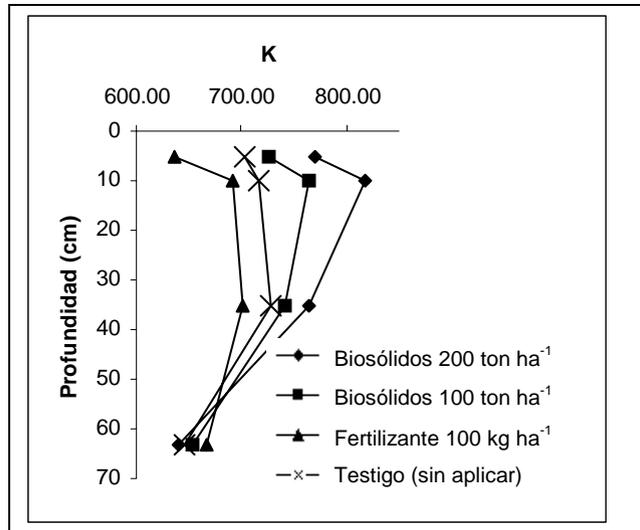


Figura 15. Distribución de los valores de potasio en el perfil de una columna de suelo.

CONCLUSIONES

- Los biosólidos pueden ser aprovechados como una fuente de nutrimentos para las plantas; su aplicación afecta las propiedades del estrato donde se aplica en dosis por encima de 100 ton ha⁻¹ en suelos de textura arenosa, los cuales disminuyen el pH e incrementan la conductividad eléctrica del suelo, pero sin llegar a clasificarlo como suelo salino.
- El incremento en la materia orgánica es substancial. Los aumentos en las concentraciones nutrimentales como N-NO₃⁻, P, y K pueden representar la recuperación de la fertilidad en este tipo de suelos. En vista de que las cantidades de nitrógeno aportadas al suelo son altas, deberán considerarse los requerimientos nutrimentales del cultivo que se vaya a establecer, a fin de no incurrir en riesgos de contaminación por lixiviación de nitratos.
- Las sales, nitratos, metales pesados y algunos compuestos orgánicos que estuvieran presentes en los biosólidos deberán manejarse estrictamente bajo las normas y regulaciones estipuladas por la Norma Oficial Mexicana de Protección al Ambiente, con el fin de no dañar los suelos, cultivos y especialmente el acuífero. Al aplicarse a los suelos en forma continua será necesario llevar a cabo un monitoreo, específicamente de los elementos traza aún cuando las dosis sean bajas. Cuando el uso de estos materiales se hace en dosis altas con frecuencia y en suelos permeables, esto representa una fuente potencial de salinización de los cuerpos de agua, ya que los biosólidos contienen aniones y cationes, como

son bicarbonatos, calcio y sodio, lo que podría ocasionar pérdida de la productividad de los suelos.

- Si los biosólidos se aplican como una alternativa de disposición final en áreas revegetadas con mezquite con potencial productivo, esta situación beneficiará a la sociedad en general en salud y contaminación ambiental.
- El hecho de trabajar con columnas a nivel laboratorio permite evaluar algunos indicadores que pueden marcar rumbos para estudios más profundos o bien, para tomar medidas preventivas antes de buscar soluciones a problemas más complejos.

BIBLIOGRAFIA

- Ajwa H.A. and M. A. Tabatai. 1994. Descomposition of different organic materials in soil. *Biol. Fert:Soils*. Vol 18:175-182.
- Ayers, R. S. and D. W. Wescot. 1989. *Water Quality for Agriculture*. FAO. Irrigation and Drainage. paper No. 29 Rev. 1 FAO, Rome.
- Bierman, P. M. and C. J. Rosen. 1994. Sewage sludge incinerator ash effect on soil chemical properties and growth of lettuce and corn. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25, 2409-2437.
- Comisión Nacional del Agua. 2005. *Inventario de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales e Industriales en la Región Lagunera*. Gerencia Regional Cuencas Centrales del Norte. Subgerencia Técnica. Jefatura de Saneamiento y Calidad del Agua.
- Cooley, E. P. 1998. *Biosolids and chemical fertilizer application on the Chihuahuan Desert grasslands* (M. Sc. Dissertation). Lubbock, Texas, USA. Texas Tech University.
- Cueto W., J. A., J. Z. Castellanos R., U. Figueroa V., J. M. Cortés J., D. Reta S. y C. Valenzuela S. 2005. *Uso sustentable de desechos orgánicos en sistemas de producción agrícola*. Estudios de Nutrición Vegetal de los principales cultivos básicos en México (Convenio SAGARPA-2004). CENID-RASPA. Gómez Palacio, Dgo. México. 47p.
- _____. H. Quiroga G. y C. T. Becerra M. 2003. Efecto del nitrógeno total disponible sobre el desarrollo del ballico anual. *Producción y Calidad de forraje y acumulación de nitratos*. Terra (21) pp285-295.

- Environmental Protection Agency of United States. 1995. Impacts of Municipal Wastewater Treatment: A retrospective analysis. Washington D. C. USEPA. Office of water. Pp 147-171.
- Environmental Protection Agency of United States. 2000. EPA. 832-F-00-064. Office of water. Washington D. C
- Figuroa V., U., M. Palomo, M. A. Flores O., B. Corral D. y J. P. Flores M. 2000. Establecimiento de parcelas demostrativas con el uso de biosólidos en suelos agrícolas del Valle de Juárez, Chih. INIFAP. Praxedis G. Guerrero, Chihuahua. Informe de Investigación.
- ____ Ortega, R. Palomo y J. P. Flores M. 1994. Lixiviación de sales y contaminación por metales pesados en suelos lavados con aguas residuales. INIFAP. Campo Experimental Valle de Juárez. Reporte de Investigación.
- Fresquez, P. R., R. E. Francis and G. L. Dennis. 1990. Soil and vegetation responses to sewage sludge on a degraded semiarid boorm snakeweed/blue grama community. *J. Range Management*; 43:325-331.
- Gilmour, J. T. and M. D. Clarck. 1998. Nitrogen release from wastewater sludge: A site specific approach. *Journal Water Pollution Control Federal*. Vol. 60: 494-498.
- Instituto Nacional de Ecología. 1993. Norma Oficial Mexicana. NOM 052-ECOL-1993.
- Jasso I., R., J. Villanueva D., J. G. Martínez R. e I. Sánchez C. 2002. Sucesión de mezquite y huizache en predios agrícolas y alternativas de reconversión productiva. Memorias de la XIV Semana Internacional de Agronomía. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Universidad Juárez del Estado de Durango. Venecia, Dgo. pp 378-384.
- Jurado G., P., M. Luna L. y R Barretero H. 2004 a. Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos en pastizales áridos y

semiáridos. Técnica pecuaria en México. Vol. 42 No.3 Sep-Dic. INIFAP.

_____2004 b. Aprovechamiento de biosólidos para la rehabilitación de pastizales en zonas semiáridas. Folleto Técnico No. 12.

Campo Experimental Campana-Madera. INIFAP.

Martínez R., J. G., J. Z. Castellanos R. y A. Ortega. 2001. Determinación de la vulnerabilidad del acuífero de Ciudad Juárez, Dgo. A la contaminación por nitratos mediante GIS. XIII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. Gómez Palacio, Dgo. pp 47-52.

Metcalf and Eddy Incorporated. 1991. Wastewater Engineering: Treatment Disposal and reuse. New York Mac Graw Hill. 374p.

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

Potisek T., .M. C., R. Jasso I., U. Figueroa V., G. González C. y J. Villanueva D. 2004. Estudio del Riesgo de Contaminación de Acuíferos por Biosólidos bajo Condiciones de Laboratorio. Memorias del Congreso Internacional de Agronomía. Instituto de Ciencias Agrícolas. Mexicali, Baja California, México. pp 281-285

Richards, L. A. (editor) 1980. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Ed. Limusa. México, D.F.

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

Rostagno, C. M. and R. E. Sosebee. 2001. Surface Application of Biosolids in Chihuahuan Desert: Effects on soil physical properties. *Arid Lands Res. Management*. 15: 233-244.

Statistical Analysis System Institute. 1999. Cary, NC.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

Shuttleworth, W. J. 1993. Evaporation. *In*: Maidment, D.R. (Editor): Handbook of hydrology. Mc Graw Hill, Inc. pp 4.24- 4.47.

Stehower, R. 1999. Use of Biosolids in Crop Production. The Pennsylvania State University. University Park, PA. 8 p.

Villanueva D., J., R. Jasso I., G. González C., I. Sánchez C. y M. C. Potisek T. 2004. El Mezquite en la Comarca Lagunera. Alternativa de producción Integral para ecosistemas desérticos. Folleto Científico No. 14 Gómez Palacio, Dgo. 35p.

Wastewater Treatment Division. 2002.<http://dnr.metrock.gov/WTD/biosolids/Forest/html>

Comité Editorial del CENID-RASPA

Presidente: Dr. José Antonio Cueto Wong

Secretario: Ing. Raquel Anguiano Gallegos

Vocales: Dr. Ignacio Orona Castillo
Dr. Guillermo González Cervantes

Edición Técnica:

Dr. Ignacio Sánchez Cohen

Esta publicación se terminó de imprimir en el mes de julio del 2006 en los talleres del Grupo Colorama de Torreón, Coahuila.

Su tiraje consta de 500 ejemplares

Editor: Ing. Raquel Anguiano Gallegos



CENID-RASPA
Km 6.5 margen derecha canal Sacramento
Gómez Palacio, Durango. MÉXICO.
Apdo. Postal 41, Cd. Lerdo, Dgo.
Tels. y Fax: 01 (871) 719-10-76, 719-10-77 y 719-11-34
e-mail: potisek.carmen@inifap.gob.mx