

# Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos en pastizales áridos y semiáridos

## Beneficial use of biosolids as organic fertilizers in arid and semiarid rangelands

Pedro Jurado Guerra<sup>a</sup>, Miguel Luna Luna<sup>b</sup>, Rodolfo Barretero Hernández<sup>b</sup>

### RESUMEN

Se presenta información sobre la generación de biosólidos en México y otros países, así como las tendencias actuales para su manejo y disposición. Se describen los tipos de biosólidos, y se presentan datos sobre su contenido de nutrientes para las plantas y otros elementos potencialmente tóxicos y su variabilidad. Se presentan los efectos de la aplicación de biosólidos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y el agua, la producción y la calidad del forraje de algunas plantas, y la calidad del aire de zonas áridas y semiáridas. Se muestran los efectos de la aplicación de biosólidos en pastizales, sobre la productividad y el comportamiento del ganado de carne, y su posible contaminación por minerales o metales potencialmente tóxicos. Se presentan las limitantes y prácticas de manejo para la aplicación de biosólidos en pastizales. Finalmente, se discuten las ventajas y desventajas de la aplicación de biosólidos en pastizales de zonas áridas y semiáridas.

**PALABRAS CLAVE:** Biosólidos, Suelo, Agua, Forraje, Ganado, Pastizales, Aridos, Semiáridos.

### ABSTRACT

Biosolids generation data in Mexico and other countries as well as actual trends of biosolids use and disposition are presented. Biosolids types and the biosolids alternatives for use and disposition are described. Data about biosolids composition, including plant nutrients and other elements with toxic potential as well as their variability are shown. Methods of biosolids application and season of application and their effects on arid and semiarid rangelands are analyzed. The effects of topical application of biosolids on some soil physical, chemical and biological properties are presented. The effects of biosolids application on runoff and leachate water in arid and semiarid soils are presented. Effects of biosolids application on forage yield and quality of some grasses are described. Data on behavior and performance of cattle on arid rangelands treated with biosolids are presented. The effects of biosolids application on air quality are described. Limits and management practices for biosolids application in arid and semiarid rangelands are discussed. Also, the advantages and draws of biosolids application on rangelands are described and discussed.

**KEY WORDS:** Biosolids, Soils, Water, Forage, Cattle, Arid, Semiarid, Rangelands.

### INTRODUCCIÓN

Los pastizales de zonas áridas y semiáridas de México, que comprenden aproximadamente 128.3 millones de hectáreas y son el sustento de la ganadería, presentan diversos grados de deterioro debido al manejo inadecuado y efectos climáticos adversos. Las prácticas de mejoramiento de

### INTRODUCTION

Arid and semiarid grasslands in Mexico, that totals about 128.3 million hectares and constitute a source of feed for livestock, show different degrees of deterioration due to lack of management and adverse climate. Improvement practices, including organic fertilizers and soil amendments, form part of the

---

Recibido el 18 de marzo de 2003 y aceptado para su publicación el 2 de marzo de 2004.

<sup>a</sup> Campo Experimental La Campana, CIRNOC-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Ave. Homero 3744, Fracc. El Vergel, 31100. Chihuahua, Chih. Tel/Fax (614) 481-02-57. jurado.pedro@inifap.gob.mx; pjuradog@avantel.net. Correspondencia al primer autor.

<sup>b</sup> Campo Experimental Vaquerías, CIRPAC-INIFAP.

pastizales, entre ellas el uso de materiales orgánicos como fertilizantes y mejoradores de suelo, son parte de la solución para frenar el deterioro y los problemas de baja producción y calidad del forraje en estos ecosistemas; sin embargo, dichas prácticas representan una alta inversión y un largo tiempo de amortización.

El uso de biosólidos en pastizales como fertilizante y mejorador de suelos ha sido evaluado en zonas áridas de New Mexico y Texas y en zonas semiáridas de Colorado. En dichos estudios, los biosólidos aplicados superficialmente en dosis moderadas han mostrado efectos benéficos sobre las propiedades del suelo y vegetación sin efectos perjudiciales.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) generan un subproducto conocido como “biosólidos” en México o como “sewage sludge” o “biosolids” en otros países, que es un material semisólido, oscuro, con alto contenido de materia orgánica y nutrientes, que puede ser utilizado como abono en suelos deteriorados<sup>(1,2)</sup>. No obstante, este subproducto, que es resultado de un proceso de estabilización, actualmente representa un problema de tipo ambiental debido a su contenido de contaminantes como micro-organismos patógenos y metales pesados. Es por ello que para su aprovechamiento como mejorador de suelo y fertilizante, los biosólidos deben ser declarados “no peligrosos” para el ambiente, en base al análisis CRETIB (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico-infeccioso) de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) de la SEMARNAT.

La Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002-Protección Ambiental.- Lodos y Biosólidos- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de agosto del 2003. Dicha Norma contiene los lineamientos para el manejo y disposición de lodos y biosólidos en México<sup>(3)</sup>.

Investigaciones recientes en México reportan beneficios del uso de biosólidos como fertilizante

solution to stop deterioration, improve forage productivity and quality in these ecosystems; however, adoption of these practices require high investments and a long term.

Use of biosolids in rangelands as fertilizer and soil improver has been assessed in arid areas in New Mexico and Texas and in semiarid areas in Colorado. In those studies, surface biosolids' application at moderate rates has shown beneficial effects on soil properties and on vegetation, without undesirable side effects.

Waste water treatment facilities (PTAR) generate a product known as “biosolids” or “sewage sludge”, which is semisolid, dark, with high organic matter and nutrients content that can be used as fertilizer in degraded soils<sup>(1,2)</sup>. However, this by-product, which is the result of a stabilization process, currently is an environmental risk because of its pollutants content, mostly pathogenic microorganisms and heavy metals. Therefore, for biosolids to be used as soil improvers and fertilizers they should be certified as “not dangerous” for the environment based on a CRETIB test (Corrosivity, Reactivity, Explosiveness, Toxicity, Flammability and Biological) as specified in SEMARNAT's Ecological Balance and Environment Protection Act (LGEEPA).

The Official Standard of Mexico (NOM-SEMARNAT-2002 Environment Protection, Sludges and Biosolids, Specifications and maximum permissible contents of pollutants for use and disposal) was published in the Official Register on August 15, 2003. These standards provide guidelines for management and disposal of biosolids and sludges in Mexico<sup>(3)</sup>.

Recent research in Mexico report benefits through use of biosolids as fertilizer in forage maize<sup>(4)</sup> and cauliflower<sup>(5)</sup>; however, there is no information on its uses as fertilizer and soil improver in grasslands. The objectives of the present study were to examine available information on the effect of applying biosolids as fertilizers and soil improvers in arid and semiarid ranges and to evaluate its advantages and drawbacks in these ecosystems.

en cultivos como maíz forrajero<sup>(4)</sup> y la coliflor<sup>(5)</sup>; sin embargo, existe un gran desconocimiento sobre su uso como fertilizante y mejorador de suelo en pastizales. Los objetivos de esta revisión bibliográfica son: revisar la información existente sobre los efectos de la aplicación de biosólidos en pastizales áridos y semiáridos, y evaluar las ventajas y desventajas de su aplicación en estos ecosistemas.

### **GENERACIÓN, COMPOSICIÓN Y ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN DE BIOSÓLIDOS**

Se desconoce la cantidad exacta de biosólidos generados en México; no obstante, algunas estimaciones en 1994 reportan cifras de 100,000 t para la región centro del país<sup>(6)</sup> pero otras consideran una generación de 12 millones de t año<sup>-1</sup> en más de 1000 PTAR distribuidas en el país<sup>(7)</sup>. Con base a las expectativas del incremento en la capacidad para el tratamiento de aguas residuales para cumplir con la norma ambiental NOM-001-SEMARNAT-1996<sup>(3)</sup> se estima que la generación de biosólidos en México alcanzará aproximadamente las 650,000 t, en materia seca (MS) por año, en un futuro próximo<sup>(8)</sup>; para Estados Unidos, se estima en 12 millones<sup>(9)</sup> y para la comunidad europea, con 15 países miembros, en 7.5 millones<sup>(10)</sup>.

Los biosólidos pueden ser de tipo doméstico o industrial, dependiendo de la procedencia de las aguas residuales, donde los primeros contienen menos contaminantes; también pueden ser de tipo aeróbico cuando se realiza un tratamiento de digestión con bacterias, y de tipo anaeróbico, que aunque costoso, es más eficaz para disminuir la cantidad de patógenos<sup>(1)</sup>. Los biosólidos también pueden ser líquidos, deshidratados o secos, de acuerdo a su contenido de humedad y como resultado de los procesos en las PTAR.

Los biosólidos contienen un alto porcentaje de humedad, materia orgánica (MO) y nutrimentos para las plantas como N y P; sin embargo, su composición varía diario y de manera estacional, aún dentro de una misma planta de tratamiento<sup>(1)</sup>. En estudios efectuados recientemente (1993-1998) en Texas<sup>(11,12,13)</sup>, donde se evaluaron aplicaciones de biosólidos domésticos-anaeróbicos-deshidratados

### **BIOSOLIDS GENERATION, COMPOSITION AND DISPOSAL ALTERNATIVES**

No information is available on the exact amount of biosolids produced in Mexico, however, estimates for 1994 report around 100,000 metric tons for the central region of the country<sup>(6)</sup>. Other sources calculate an annual production of 12 million metric tons in more than 1,000 PTARs throughout the country<sup>(7)</sup>. Based on prospective increases of waste water treatment capacity, in order to comply with environmental regulation NOM-001-SEMARNAT-1996<sup>(3)</sup>, biosolids generation in Mexico should add up to 650,000 metric tons of dry matter (DM) annually in the near future<sup>(8)</sup>, the corresponding data for the USA would be some 12 million metric tons<sup>(9)</sup> and for the 15 members of the EU, 7.5 million metric tons<sup>(10)</sup>.

Biosolids can be classified according to type, either as home or industrial, depending on their origin, usually industrial biosolids carry more pollutants; or as aerobic or anaerobic depending of what type of bacteria is used in the digestion process, this last one being more efficient to control pathogens<sup>(1)</sup>. Biosolids can be liquid, dehydrated or dry, in accordance with their water content and as a result of the process in the PTARs.

Usually biosolids contain high water, organic matter and plant nutrients (Phosphorous and Nitrogen) content; however, their composition varies daily and seasonally, even in the same PTAR<sup>(1)</sup>. Recent studies carried out in Texas<sup>(11,12,13)</sup>, in which dehydrated-municipal-anaerobic biosolids from New York were applied in semiarid grasslands, their composition showed great variations (Table 1). Besides, they may carry heavy metals as Cd, Cr and Pb, pathogenic micro-organisms and some organic compounds potentially toxic for plants and soil.

The three more important options for use and final disposal of biosolids are dumping in sanitary landfill, incineration and reuse in agriculture and forests<sup>(14,15)</sup>. Disposal in sanitary landfills and incineration, even if viable, present a risk for soil, underground water and air pollution, and a waste

provenientes de New York, en pastizales semiáridos, la composición de los mismos presentó una alta variación (Cuadro 1). Además de contener metales pesados como el Cd, Cr y Pb, microorganismos patógenos y algunos compuestos orgánicos potencialmente tóxicos para el suelo y las plantas.

Las tres opciones más importantes para el uso y la disposición final de biosólidos son la confinación en rellenos sanitarios, la incineración, y la reutilización en agricultura y bosques<sup>(14,15)</sup>. La disposición en rellenos sanitarios y la incineración, a pesar de su viabilidad, representan un riesgo de contaminación para el suelo, las aguas subterráneas y el aire, además de que representa un desperdicio de nutrimentos, que pueden ser reutilizados en la agricultura, pastizales o bosques.

De acuerdo a las leyes ambientales, así como a las condiciones económicas, en la actualidad la aplicación de biosólidos a tierras agrícolas, de bosques y de pastizales es recomendable y benéfica<sup>(9,15,16)</sup>. Aproximadamente el 49 y 47 % de los lodos orgánicos se reutilizan en la agricultura de los Estados Unidos<sup>(15)</sup> y de la Comunidad Europea<sup>(17)</sup>, respectivamente.

**EFFECTOS DE LA APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO Y AGUA**

La evaluación de los efectos de los biosólidos en pastizales se inició en la década de los 80's en New Mexico<sup>(18)</sup>, donde se evaluó la aplicación superficial única de 1 t MS ha<sup>-1</sup> de biosólidos domésticos en un pastizal degradado de navajita (*Bouteloua gracilis* (H.B.K.) Lag. Ex Steud). En este y otros estudios en New Mexico<sup>(18,19)</sup>, Colorado<sup>(20)</sup> y Texas<sup>(12,21,22,23)</sup> se observó que la aplicación superficial de biosólidos, en dosis desde 7 hasta 90 t MS ha<sup>-1</sup>, aumentó la infiltración de agua (Figura 1) y conservó el contenido de humedad del suelo (Figura 2, Cuadro 2). Además, redujo la erosión de suelo en pastizales semiáridos<sup>(19,22)</sup> (Figura 1). En uno de estos trabajos<sup>(21)</sup> se observó un efecto controversial de los biosólidos, con intercepción de lluvias ligeras en la sequía y conservación de humedad en la temporada de lluvias.

Cuadro 1. Composición promedio y rangos de biosólidos domésticos-anaeróbicos-deshidratados de New York, USA.

Table 1. Average composition and ranges of aerobic – domestic–dehydrated biosolids' from New York, USA.

Parameter	%	Range
Moisture	76.6	74.7 - 81.2
Organic matter	32.6	24.0 – 53.0
Total N	3.73	2.34 - 4.85
Total P	1.96	1.19 - 2.79
Total K	0.16	0.03 - 1.32
Al	0.91	0.75 - 1.03
Fe	2.50	1.17 - 5.19
— — — — — — — — (mg Kg <sup>-1</sup> ) — — — — — —		
Zn	1045	779 - 1604
Cu	934	558 - 1566
Pb	245	166 - 378
Ni	35	17 - 52
Cd	9	1 - 56

(Adapted from<sup>(11,12,13)</sup>).  
(n=60, samples from 1993 to 1998)

of nutrients that could be reused in agriculture, grasslands and forests.

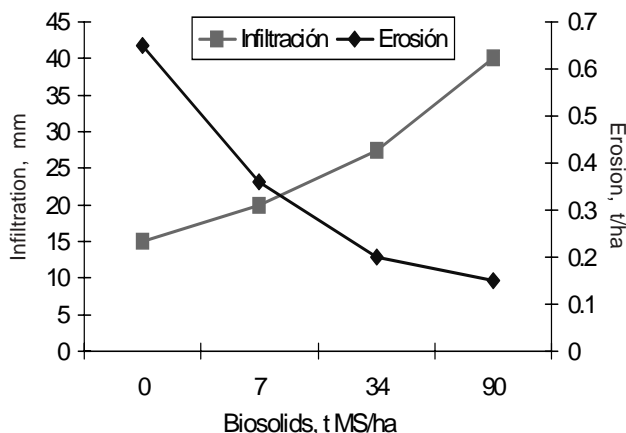
In accordance with environmental regulations, and to economic conditions, currently, application of biosolids to agricultural land, forests and grasslands is beneficial and highly recommended<sup>(9,15,16)</sup>. Approximately 49 and 47 % of organic sludges are reused in agriculture in the USA<sup>(15)</sup> and the EU<sup>(17)</sup>, respectively.

**EFFECTS OF BIOSOLIDS APPLICATION ON SOIL AND WATER PROPERTIES**

Assessment of effects of biosolids in grasslands began in New Mexico in the 1980s<sup>(18)</sup>, when a surface application of 1 metric ton of dry matter (DM) ha<sup>-1</sup> of domestic biosolids was evaluated in a degraded blue grama (*Bouteloua gracilis* (H.B.K.) Lag. Ex Steud) grassland. In this and in other studies in New Mexico<sup>(18,19)</sup>, Colorado<sup>(20)</sup> and Texas<sup>(12,21,22,23)</sup> biosolids surface application in quantities from 7 to 90 DM metric tons ha<sup>-1</sup> increased water infiltration (Figure 1) and helped

Figura 1. Efecto de biosólidos sobre la infiltración de agua y erosión de suelo en pastizales semiáridos

Figure 1. Effect of biosolids on water infiltration and soil erosion in semiarid grasslands



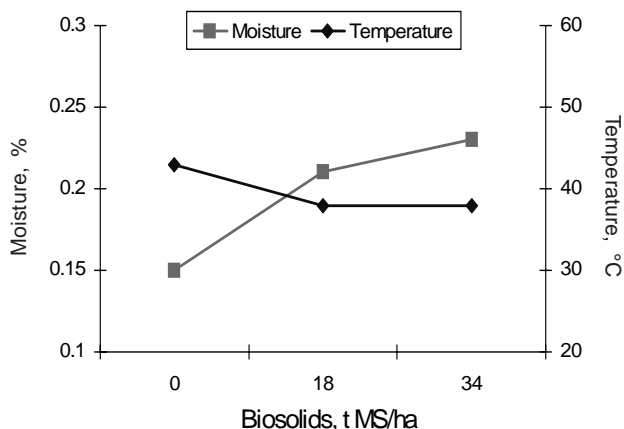
(Adapted from Moffet, 1997<sup>(22)</sup>).

Otras propiedades físicas del suelo han sido evaluadas en pastizales de Texas. La densidad relativa y la dispersión de arcilla de dos tipos de suelo, disminuyeron solamente en la dosis más alta de 90 t MS ha<sup>-1</sup> de biosólidos después de 18 meses de la aplicación superficial<sup>(24)</sup>. Por el contrario, otros estudios indican que el disturbio al suelo (incorporación) antes de la aplicación superficial de biosólidos en pastizales de Nevada no es recomendable, debido a que se modifican negativamente las relaciones hídricas del suelo<sup>(25)</sup>.

Los efectos de los biosólidos sobre las propiedades químicas de los suelos en pastizales han sido documentados desde los años 80's hasta la fecha. En un pastizal degradado de zacate navajita, la aplicación superficial de biosólidos en dosis de 22.5 hasta 90 t MS ha<sup>-1</sup> mostró resultados muy promisorios para la reutilización de nutrientes en pastizales nativos<sup>(26)</sup>, ya que se obtuvieron incrementos en el contenido de algunos macro y micro-nutrientes en el suelo, así como un efecto neutral, o no incremento, en el contenido de algunos metales pesados (Cuadros 2,3). Resultados similares reportan otros autores con la aplicación única de biosólidos domésticos-anaeróbicos-deshidratados en

Figura 2. Efecto de biosólidos sobre la humedad y temperatura superficial del suelo en pastizales semiáridos

Figure 2. Effect of biosolids on soil moisture and surface temperature in semiarid grasslands



(Adapted from Jurado-Guerra, 2000<sup>(12)</sup>).

conserve soil humidity (Figure 2, Table 2). Besides, erosion in semiarid grasslands was reduced<sup>(19,22)</sup> (Figure 1). In one of these studies<sup>(21)</sup> a controversial biosolids effect was observed, where light rainfall interception occurred during drought season and moisture conservation in the rainy season.

Other soil physical properties were evaluated in Texas' grasslands. Bulk density and clay dispersion in two types of soil decreased only with the higher amount (90 DM metric tons ha<sup>-1</sup>) after biosolids surface application<sup>(24)</sup>. On the other hand, other studies point that soil disturbances (incorporation) before biosolids surface application in grasslands in Nevada is not recommended, because hydrological soil relationships are negatively modified<sup>(25)</sup>.

Effects of biosolids on soil chemical properties in grasslands have been documented since the 1980s. In a degraded blue grama grassland, surface application of biosolids in amounts from 22.5 to 90.0 DM metric tons ha<sup>-1</sup> showed promising results for nutrient reuse in native grasslands<sup>(26)</sup>, because of increases in soil contents of several soil macro and micronutrients as well as neutral or non

Cuadro 2. Efecto de los biosólidos sobre algunas propiedades del suelo y la composición del agua de escurrimiento y lixiviado en diferentes estudios

Table 2. Effects of biosolids on some soil properties, runoff and lixiviation water composition in several studies

#Quote	Mo	Inf	Ero	Tem	Nem	Bac	Fun	EC	pH	OM	Ntot	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>
(18)	+				+								
(31)						+	+						
(26)											+		
(19)		+	-					+	-	=	+	+	+
(27)								+				+	+
(28)											=	+	
(22)		+	-							+			
(29)												+	
(12)	+			-								+	
(21)	+											+	
(23)		+											
(24)										+			
(33)								=	=	=	+		
(20)-Rw		+									+		
(23)-Rw								+	-			=	+
(36)-Lw												+	
(35)-Lw												+	

Mo=moisture, Inf=infiltration, Ero=erosion, Tem=temperature, Nem=nematodes, Bac=bacteria, Fun=fungus, EC=electrical conductivity, OM=Organic matter, Ntot=Total N , NO<sub>3</sub>=Nitrates, NH<sub>4</sub>=Ammonium.

+ increase, - decrease, = remained equal, Rw runoff water, Lw lixiviated water.

dosis de 45 t MS ha<sup>-1</sup>, aplicados superficialmente durante la época de latencia (abril) en pastizales semiáridos, dominados por navajita y navajita velluda (*B. hirsuta* Lag.) en la parte central de New Mexico<sup>(19)</sup>, y en un pastizal mediano abierto de navajita en Colorado con aplicaciones de biosólidos de 1 hasta 15 t<sup>(27)</sup>.

Algunos autores indican efectos muy reducidos en la MO del suelo con la aplicación de biosólidos en pastizales<sup>(19,26)</sup>. Se ha observado que la aplicación superficial de 7 a 90 t MS ha<sup>-1</sup> incrementa la concentración de MO en la costra de suelos arenosos y arcillosos en la medida que se aumenta la dosis<sup>(22,24)</sup>. La aplicación única y superficial de biosólidos durante el otoño en un pastizal de toboso (*Hilaria mutica* (Buckl.) Benth.), incrementó el nitrógeno asimilable (NO<sub>3</sub>-N) en el suelo hasta cuatro veces más con la dosis de 34 t MS ha<sup>-1</sup><sup>(28)</sup>, mientras que el contenido de nitrógeno total en el suelo permaneció similar en áreas tratadas y no

increases in some heavy metals contents (Tables 2, 3). Similar results were reported by other authors in respect of a one-time surface application of biosolids at 45.0 DM metric tons ha<sup>-1</sup> during dormancy (April) in semiarid grasslands dominated by blue grama and hairy grama (*B. hirsuta* (H.B.K.) Lag.) in central New Mexico<sup>(19)</sup> and in a shortgrass prairie in Colorado to which 1.0 to 15.0 DM metric tons ha<sup>-1</sup> of biosolids were applied<sup>(27)</sup>.

Some authors report very small effects on soil organic matter after biosolids application in grasslands<sup>(19,26)</sup>. Surface application of biosolids between 7 and 90 DM metric tons ha<sup>-1</sup> increases organic matter in the crust of sandy and clay soils as the amount increases<sup>(22,24)</sup>. A once only 34 DM metric tons ha<sup>-1</sup> surface application of biosolids in the fall, to a tobosagrass (*Hilaria mutica* (Buckl.) Benth.) rangeland increased soil available nitrogen (NO<sub>3</sub>-N) nearly four times<sup>(28)</sup> in semiarid grasslands in Texas, both under field<sup>(12)</sup> and

Cuadro 3. Efecto de los biosólidos sobre las concentraciones de algunos elementos en el suelo y agua en diferentes estudios

Table 3. Effects of biosolids on some elements in soil and water in several studies

# Quote	P	PO <sub>4</sub>	K	Mg	Ca	SO <sub>4</sub>	Cu	Mn	Zn	Fe	Na	Cd	Pb	Cr	Hg
(26)	+		+	+	+		+	+	+						
(19)	+						+		+			=	+		
(27)							=			=		=	=	=	=
(33)	+			+			+	+	+	+		+	+		
(23)-Rw	+						+	+				=	=	=	
(35)-Lw	=	+				+	=			=		=	=	=	
(36)-Lw	+		+	+	+	+	+				+	+	+		

PO<sub>4</sub>= phosphates, SO<sub>4</sub>= sulfates, Rw= runoff water, Lw= lixiviated water.

+ increase, = remained equal.

tratadas. De igual manera, la aplicación superficial de biosólidos ha mostrado efectos favorables en la concentración de NO<sub>3</sub>-N en suelos de pastizales semiáridos en Texas, en condiciones de campo<sup>(12)</sup> y en condiciones controladas<sup>(29)</sup>; en ambos estudios, las dosis altas en la primavera incrementaron más el contenido de NO<sub>3</sub>-N en el suelo en relación a las de verano.

La aplicación de biosólidos puede tener pérdidas de nutrientes en forma de gases. Se ha evaluado la volatilización de amoníaco a través de colectores dinámicos y semiabierto en condiciones de campo y con diferentes temperaturas ambientales<sup>(30)</sup>, en dosis de 7 ó 18 t MS ha<sup>-1</sup> de biosólidos aplicados sobre la superficie en dos tipos de suelo. Los resultados muestran una mayor volatilización de amoníaco en la dosis más alta en los dos suelos, con mayores pérdidas durante las primeras 36 h, especialmente en temperaturas intermedias (6 a 23 °C) y cálidas (20 a 36 °C). En general, las pérdidas de nitrógeno alcanzan desde un 8 % hasta un 17 % del total de amonio presente en los biosólidos.

En pastizales semiáridos del oeste de Texas<sup>(12)</sup> se han evaluado los efectos de la aplicación superficial de biosólidos sobre la temperatura del suelo, con dosis de 18 y 34 t MS ha<sup>-1</sup> en dos sitios con suelos franco-arcilloso y franco-arenoso. Las temperaturas de la superficie del suelo en la tarde durante los

controlados<sup>(29)</sup>. In both studies, high spring rates increased NO<sub>3</sub>-N content in soil compared to summer applications.

Biosolids application can result in nutrients losses as gas. Ammonia volatilization has been evaluated through semi-open dynamic collectors in field conditions and at different temperatures<sup>(30)</sup>, at 7 and 18 DM metric tons ha<sup>-1</sup> of surface applied biosolids on two soil types. Results show a greater ammonia loss at the higher rate for both types of soil, losses being greater in the first 36 h especially at the intermediate (6 to 23 °C) and hot (20 to 36 °C) temperature ranges. In general, nitrogen losses can reach from 8 to 17% of total ammonia present in biosolids.

In semiarid grasslands in West Texas<sup>(12)</sup>, effects of biosolids' surface application on soil temperature have been studied in application rates of 18 and 34 DM metric tons ha<sup>-1</sup> in two locations with sandy loam and clay loam soils. Soil surface temperature in the afternoon in summer reached 46 °C on average (32 to 53 °C) in the untreated plots and 40 °C on average (30 to 47 °C) in the plots treated with 34 DM metric tons ha<sup>-1</sup> in the clay loam (Figure 2).

Some researchers mention that soil electrical conductivity increased with biosolids application in grasslands in New Mexico<sup>(19,27)</sup>. On the other hand, soil pH decreases after organic sludge application<sup>(19,26)</sup>.

meses de verano alcanzaron un promedio de 46 °C (32 a 53 °C) en las parcelas sin tratar, y un promedio de 40 °C (30 a 47 °C) en las parcelas con 34 t MS ha<sup>-1</sup>, en el suelo franco-arcilloso (Figura 2).

Algunas investigaciones mencionan que la conductividad eléctrica (CE) del suelo se incrementa con la aplicación de biosólidos en pastizales de New Mexico<sup>(19,27)</sup>; por el contrario, el pH del suelo disminuye ligeramente con la aplicación de lodos orgánicos<sup>(19,26)</sup>.

Se han evaluado los efectos de los biosólidos en las propiedades biológicas de los suelos. El primer trabajo evaluó la aplicación superficial de biosólidos en campo y se observó un incremento en el contenido de nemátodos en el suelo de un pastizal degradado en New Mexico<sup>(18)</sup>.

En el oeste de New Mexico se evaluó la aplicación única y superficial de biosólidos domésticos-anaeróbicos, en dosis de 22.5, 45 y 90 t MS ha<sup>-1</sup> al inicio de la época de crecimiento de los pastos de verano<sup>(31)</sup>, en un pastizal degradado de escobilla (*Gutierrezia sarothrae* (Pursh.) Britt. & Rusby)-navajita-galleta (*Hilaria jamesii* (Torr.) Benth.) en un suelo franco-arcilloso. Las poblaciones microbiales del suelo tales como las bacterias aeróbicas heterotróficas, hongos (e.g. *Mucor* spp. y *Penicillium chrysogenum*) y bacterias oxidantes del amonio (Nitrosomonas) se incrementaron linealmente en la medida que se incrementó la dosis de biosólidos.

En condiciones controladas<sup>(32)</sup>, en Sierra Blanca Texas, se evaluó el efecto de la aplicación de biosólidos sobre la actividad microbiana del suelo. Se aplicaron 16 t MS ha<sup>-1</sup> a un suelo franco-arcilloso, en una cámara de control de temperatura para simular las estaciones de aplicación de invierno (5 °C), primavera-otoño (23 °C) y verano (38 °C). Los biosólidos incrementaron la concentración de CO<sub>2</sub> en la cámara de temperatura, especialmente durante los tres primeros días en las tres condiciones. Al final del estudio (29 días) la población microbiana en el suelo y en los biosólidos

Biosólidos effects on soil biological properties have also been evaluated. In a pioneer field study, surface application of biosólidos increased soil nematodes content in a degraded rangeland in New Mexico<sup>(18)</sup>. In west New Mexico a once only surface application at the beginning of summer grasses growth of anaerobic-domestic-biosólidos at 22.5, 45.0 and 90.0 DM metric tons ha<sup>-1</sup> in a degraded broom snakeweed (*Gutierrezia sarothrae* (Pursh.) Britt. & Rusby) and galleta (*Hilaria jamesii* (Torr.) Benth.) rangeland in a clay loam soil<sup>(31)</sup> was evaluated. Soil microbial populations such as aerobic heterotrophic bacteria, fungus (*Mucor* spp. and *Penicillium chrysogenum*) and ammonium oxidizer bacteria (Nitrosomonas) – showed a linear increase in response to the biosólidos rate.

In controlled conditions<sup>(32)</sup>, in Sierra Blanca, Texas, the effect of biosólidos on soil microbial activity was evaluated. Sixteen DM metric tons ha<sup>-1</sup> of biosólidos was applied to a clay loam in a temperature control chamber to simulate winter (5 °C), fall-spring (23 °C) and summer (38 °C). Biosólidos increased CO<sub>2</sub> concentration, especially during the first 3 d for all conditions. At the end of the study (29 d) soil and biosólidos microbial population had increased significantly in the fall-spring and summer conditions.

In other studies carried out in central New Mexico to assess long term effects (8 years), of surface application of aerobic-domestic-dry biosólidos at 22.5, 45.0 and 90.0 DM metric tons ha<sup>-1</sup>, on some soil properties in semiarid grasslands<sup>(33)</sup>, favorable results were reported (Table 2). Similarly, in south New Mexico<sup>(34)</sup>, approximately 32 % of applied biosólidos persisted in fragments bigger than 2 mm after 18 years, most probably due to biosólidos' origin and the arid soil environment.

In grasslands in Colorado surface application of biosólidos was assessed on N and some heavy metals concentration in runoff water (Tables 2,3). Application rates of up to 41.0 DM metric tons ha<sup>-1</sup> were tested and results showed that concentration of those elements were below those considered as toxic to livestock<sup>(20)</sup>.



se incrementó significativamente con las temperaturas de primavera-otoño y verano.

En otros estudios realizados en la parte central de New Mexico para evaluar los efectos a largo plazo (8 años) de la aplicación superficial de biosólidos domésticos-anaeróbicos-secos, en dosis de 22.5, 45 ó 90 t MS ha<sup>-1</sup>, sobre algunas propiedades de los suelos en pastizales semiáridos<sup>(33)</sup>, se reportaron resultados favorables (Cuadro 2). Similarmente, en el sur de New Mexico<sup>(34)</sup>, se estimó que aproximadamente el 32 % de los biosólidos aplicados persistieron en el suelo en fragmentos mayores de 2 mm, después de 18 años de aplicación. Lo anterior debido al origen recalcitrante de los biosólidos, combinado con las condiciones ambientales del suelo en zonas áridas.

En pastizales de Colorado se evaluó la aplicación superficial de biosólidos, en dosis de hasta 41 t MS ha<sup>-1</sup>, sobre las concentraciones de N y algunos metales en el agua de escurrimiento (Cuadros 2 y 3). Los resultados mostraron que dichos elementos se estimaron por abajo de los límites tóxicos para ganado<sup>(20)</sup>.

Estudios en condiciones controladas, han evaluado los efectos de la aplicación superficial de biosólidos en dosis de 7 hasta 90 t MS ha<sup>-1</sup>, sobre la cantidad y calidad del agua lixiviada en suelos de pastizales semiáridos<sup>(35)</sup>. Se utilizaron lisímetros (columnas) con suelo intacto, y durante el primer año de estudio se obtuvieron incrementos en el contenido de sulfatos, ortofosfatos y nitratos en el lixiviado, especialmente en la dosis más alta. Las concentraciones de los siguientes elementos analizados en el lixiviado de las columnas no fueron afectados por la aplicación de biosólidos: Ag, As, Be, Cd, Cu, Cr, Fe, Mo, Ni, P, Pb, At y Ti.

En condiciones similares<sup>(36)</sup>, se ha evaluado la incorporación de biosólidos en suelos de pastizales semiáridos de Texas. El estudio incluyó dosis de 7 a 90 t MS ha<sup>-1</sup> aplicadas por una sola vez e incorporadas en los primeros 10 cm de suelo en lisímetros. Los biosólidos incorporados al suelo franco-arcilloso disminuyeron considerablemente la infiltración de agua. Los efectos sobre la

Studies were carried out<sup>(35)</sup> under controlled conditions for assessment of surface application at rates from 7.0 to 90.0 DM metric tons ha<sup>-1</sup> on soil water quality and quantity on a semiarid rangeland soils. Lysimeters (columns) with undisturbed soil were used. In the first year increases in sulphates, orthophosphates and nitrates content in lixiviated water were recorded, especially for the higher biosolids application rate. Contents of the following elements were not affected by application of biosolids: Ag, As, Be, Cd, Cu, Cr, Fe, Mo, Ni, P, Pb, Pt and Ti.

Under similar conditions, application of biosolids to semiarid grassland soils was assessed<sup>(36)</sup>. The study included once only applications of biosolids at rates from 7.0 to 90.0 DM metric tons ha<sup>-1</sup> and incorporated to the first 10 cm of soil in lysimeters. Water infiltration was considerably reduced in this clay loam. Effects on lixiviated water composition can be appreciated in Tables 2 and 3.

In semiarid grasslands in Sierra Blanca, Texas<sup>(23)</sup>, the effects of a once only surface biosolids application at rates from 7.0 to 90.0 DM metric tons ha<sup>-1</sup> on the hydrology of two soil types were evaluated. The experiments were carried out on recently treated areas and also on areas treated 18, 12 and 6 mo before, with biosolids and rainfall simulation. Phosphorous concentration in runoff water was above the established limit (0.03 mg L<sup>-1</sup>) for sweet water eutrophication (Tables 2 and 3).

## EFFECTS OF BIOSOLIDS ON VEGETATION, LIVESTOCK AND AIR QUALITY

The first studies on effects of biosolids applied at rates of 1 DM ton ha<sup>-1</sup> on blue grama grasslands in New Mexico<sup>(18)</sup> did not detect positive results in the first two years; however, later studies carried out with higher application rates have found beneficial effects on blue grama, galleta, tobosagrass, alkali sacaton (*Sporobolus aireoides*)<sup>(11,12,19,26,27,37,38)</sup> and on winter grasses such as *Agropyron smithii*, *A. spicatum* and *Oryzopsis hymenoides* in west Colorado<sup>(39)</sup> (Table 4).

composición del lixiviado se pueden observar en los Cuadros 2 y 3.

En pastizales semiáridos de Sierra Blanca, Texas<sup>(23)</sup>, se evaluaron los efectos de la aplicación superficial y única de biosólidos, en dosis de 7 a 90 t MS ha<sup>-1</sup>, sobre la hidrología de dos tipos de suelo; las evaluaciones se realizaron en áreas recién tratadas y en áreas tratadas 18, 12, ó 6 meses atrás con biosólidos y simulación de lluvia. Las concentraciones de P en el agua de escurrimiento sobrepasaron los límites (0.03 mg L<sup>-1</sup>) establecidos para la eutroficación de agua dulce.

**EFFECTOS DE BIOSÓLIDOS SOBRE LA VEGETACIÓN, GANADO Y CALIDAD DEL AIRE**

Los primeros estudios sobre el efecto de los biosólidos aplicados en dosis de 1 t MS ha<sup>-1</sup>, en la producción de forraje del zacate navajita en zonas semiáridas de New Mexico<sup>(18)</sup>, no detectaron efectos positivos durante dos años de estudio; sin embargo, investigaciones posteriores, con dosis más altas, han encontrado efectos benéficos en la producción de forraje con zacates de verano como navajita<sup>(19,26,27,37,38)</sup>, galleta<sup>(26)</sup>, toboso<sup>(11,12,13,37)</sup>, zacatón alcalino (*Sporobolus airoides*)<sup>(11)</sup>, y con

Through surface application of biosolids, total forage production increased quadratically in the first year in New Mexico grasslands<sup>(26)</sup>. An interesting fact in this study is that broom snakeweed biomass production, an invading plant, decreased to zero in the treated plots at the fourth year. Unfortunately, density, diversity and richness of plant species decreased as biosolids rates increased.

Other studies<sup>(19)</sup>, mention beneficial effects on vegetation due to biosolids application to semiarid grasslands dominated by blue grama and hairy grama in New Mexico (Table 4). In this study a greater decay of blue grama plants on the soil surface and on the subsurface was observed after the second year in the treated areas; however, decay of fourwing saltbush (*Atriplex canescens*) plants was similar in both treated and untreated areas, in the two years this study was carried out.

In a semiarid *Artemisia* spp., *Agropyron smithii*, *A. spicatum* and *Oryzopsis hymenoides* shrubland in west Colorado<sup>(39)</sup>, the effects of domestic biosolids surface application in summer at rates from 5.0 to 40.0 DM metric tons ha<sup>-1</sup> were evaluated. The 25.0 DM metric tons ha<sup>-1</sup> application rate improved the Cu/Mo ratio in both *Agropyron*

Cuadro 4. Efecto de los biosólidos sobre la vegetación en diferentes estudios

Table 4. Effects of biosolids on vegetation in several studies

#Quote	Hg	FPr	Ro	CP	P	K	Cu	Zn	Cd	Pb	PhR	SCo	NFlo	Ddr
(18)		=												
(26)		+												
(27)		+		+	+	+								-
(19)		+	-	+			+	=	+	+				
(39)		+		+			+							
(28)		=		+	+									
(11)	+	+												
(38)		+												
(12)		+		=+										
(13)		+		+										
(37)	+	-	+							+	-			
(21)	+										+	+		-

Hg=height, FPr=forage production, Ro=roots, CP=crude protein, PhR=photosynthesis rate, SCo=stomatal conductance, NFlo=number of flowers, Ddr=density, diversity and richness.

zacates de invierno como el agropiro del oeste (*Agropyron smithii*), agropiro azul (*Agropyron spicatum*) y arrocillo (*Oryzopsis hymenoides*), en el oeste de Colorado<sup>(39)</sup> (Cuadro 4).

Con la aplicación superficial de biosólidos, la producción total de forraje se incrementó en forma cuadrática durante el primer año de estudio en pastizales de New Mexico<sup>(26)</sup>. Un dato interesante de este trabajo es que la producción de biomasa de la escobilla, una planta invasora, disminuyó hasta cero en las parcelas tratadas al cuarto año. Desafortunadamente la densidad, la diversidad y la riqueza de especies de plantas disminuyeron en la medida que se incrementó la dosis de biosólidos.

Otras investigaciones<sup>(19)</sup> mencionan efectos benéficos de la aplicación de biosólidos sobre la vegetación en un pastizal semiárido, dominado por navajita-navajita velluda de New Mexico (Cuadro 4). En este estudio también se observó una descomposición más alta de plantas de zacate navajita sobre el suelo y abajo del suelo, hasta el segundo año de aplicación en áreas tratadas; sin embargo, la descomposición de plantas de chamizo (*Atriplex canescens*) fue similar en áreas tratadas y sin tratar, durante los dos años de estudio.

En un matorral semiárido de artemisia (*Artemisia* spp.)-agropiro del oeste-agropiro azul-arrocillo en el oeste de Colorado<sup>(39)</sup>, se evaluaron los efectos de la aplicación superficial de biosólidos domésticos durante el verano en dosis de 5 hasta 40 t MS ha<sup>-1</sup> y se observó que la dosis de 25 t mejoró la relación Cu/Mo en el forraje de los dos pastos agropiros al cuarto año de la aplicación. Otros resultados benéficos se pueden observar en el Cuadro 4.

La aplicación superficial de biosólidos en el otoño sobre el zacate toboso en pastizales desérticos del oeste de Texas<sup>(28)</sup> incrementó el contenido de N en las hojas y P en los tallos; sin embargo, las concentraciones de NO<sub>3</sub>-N, P, K, Na, B, Cu, Zn, Cd y Mo en las hojas y el contenido total de N, Mg, Fe, Cu, Cd y Mo en los tallos fueron similares en áreas tratadas y no tratadas.

En la misma área<sup>(11)</sup>, se evaluó la aplicación

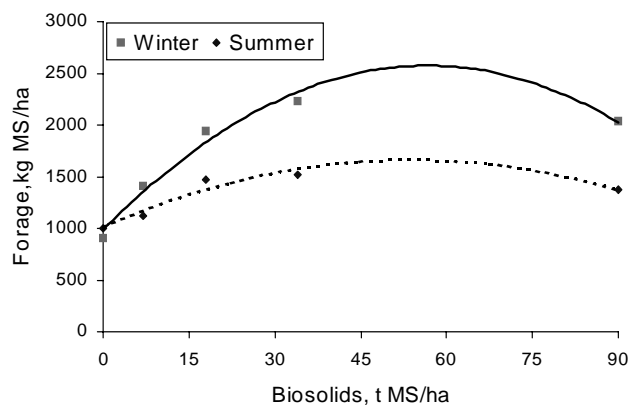
grasses at the fourth year since application. Other beneficial effects can be seen in Table 4.

Surface application of biosolids in the fall to tobosagrass in desert grasslands in west Texas<sup>(28)</sup> increased N content in leaves and of P in stems; however, NO<sub>3</sub>-N, P, K, Na, B, Cu, Zn, Cd and Mo concentrations in leaves and N, Mg, Fe, Cu, Cd y Mo levels in stems of tobosagrass were similar in both treated and untreated areas.

In the same area<sup>(11)</sup>, surface application of biosolids at rates ranging from 7.0 to 90.0 DM metric tons ha<sup>-1</sup> in winter and summer were evaluated in tobosagrass and alkaline sacaton field plots. A greater effect on plant height during the growing season was found for the winter treatments (110 mm) than for summer's (50 mm) when compared to control. Both species also showed a greater response to winter treatments in forage yield when compared to summer treatments in the first year, which was favoured with higher than normal rainfall (368 mm) (Figure 3). Residual effects on forage production were found through the duration of this study for both species.

Figura 3. Efecto de biosólidos aplicados en invierno o verano sobre el rendimiento de forraje de zacate toboso en pastizales semiáridos

Figure 3. Effect of biosolids applied in winter or summer on tobosagrass forage yield in semiarid grasslands



(Adapted from Benton & Wester, 1998<sup>(11)</sup>).

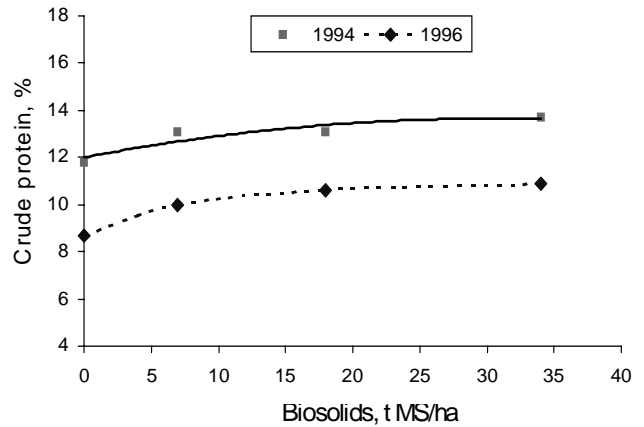
superficial de biosólidos en dosis de 7 a 90 t MS ha<sup>-1</sup> aplicadas en invierno o verano, en parcelas de campo de zacates toboso o zacatón alcalino. Se encontró un mayor efecto sobre la altura de los dos pastos en las parcelas tratadas en el invierno, con un incremento de 110 mm durante toda la temporada de crecimiento, que en las parcelas tratadas en verano, con un incremento total de 50 mm, comparadas con el testigo. Las dos especies mostraron una mayor respuesta a las aplicaciones en invierno en el rendimiento de forraje, en comparación con aplicaciones de verano durante el primer año, con precipitación arriba de lo normal (368 mm anuales) (Figura 3). Se observaron también efectos residuales sobre la producción de forraje a través de todo el estudio en las dos especies.

Por otro lado, la producción de forraje del zacate toboso se incrementó linealmente durante los cuatro años de estudio, observándose mayores incrementos con la aplicación superficial de biosólidos dos veces al año, en invierno-y-verano comparada con la aplicación en primavera-y-verano, en tres de los cuatro años de estudio<sup>(13)</sup>. La concentración de N del zacate toboso presentó efectos lineales y cuadráticos con el uso de biosólidos y, similarmente a la producción de forraje, la mejor respuesta se observó con las aplicaciones de invierno-verano (Figura 4). También se observaron efectos residuales sobre la producción y calidad del zacate toboso durante el segundo, tercer y cuarto año de estudio.

Los biosólidos han sido comparados con fertilizantes y otros materiales en pastizales semiáridos de Texas<sup>(38)</sup>. Las aplicaciones en invierno mostraron mayores rendimientos de forraje de navajita, que las aplicaciones de urea y fosfato de amonio aplicados en la misma época. Además, durante el tercer año se observaron efectos residuales sobre el rendimiento de forraje del zacate navajita. La aplicación superficial de biosólidos en dosis de 18 ó 34 t MS ha<sup>-1</sup> y un material sintético fueron evaluados para simular el efecto de acolchado, en zacate toboso y navajita en pastizales semiáridos de Texas<sup>(12)</sup>; dosis de 34 t incrementaron la producción de forraje y concentración de N en el navajita (Cuadro 4).

Figura 4. Efecto de biosólidos sobre la proteína cruda del zacate toboso en pastizales semiáridos

Figure 4. Effect of biosolids on tobosagrass crude protein content in semiarid grasslands



(Adapted from Jurado & Wester, 2001<sup>(13)</sup>).

On the other hand, tobosagrass forage production showed linear increases for the four years this study lasted, being greater for twice-a-year surface applications in winter-and-summer as against spring-and-summer for three of the four years<sup>(13)</sup>. Nitrogen contents in tobosagrass showed linear and quadratic effects with biosolids, and similarly to forage production, the best response was obtained in winter-and-summer treatments (Figure 4). Residual effects on tobosagrass' forage quality and quantity in the second, third and fourth years were observed also.

Biosolids have been compared to fertilizers and other materials in semiarid grasslands in Texas<sup>(38)</sup>. Winter applications of biosolids have produced greater forage yields in blue grama than treatments with urea and ammonia phosphate in the same season. Besides, residual effects could be seen in the third year on forage yield. Surface application of biosolids at rates of 18.0 and 34.0 DM metric tons ha<sup>-1</sup> and a synthetic material to simulate mulching were evaluated in tobosagrass and blue grama in semiarid grasslands in Texas<sup>(12)</sup>; where applications at 34.0 DM metric tons ha<sup>-1</sup> increased forage yield and N content in blue grama (Table 4).

El método de aplicación de biosólidos es importante, pero existe poca información; sin embargo, diversos autores coinciden en que la incorporación de biosólidos al suelo en ecosistemas naturales no es recomendable puesto que se ha observado un efecto detrimental sobre la vegetación<sup>(40)</sup>.

Se han reportado los efectos de los biosólidos sobre la fisiología de plantas. En Sierra Blanca, Texas<sup>(37)</sup>, los biosólidos aplicados superficialmente presentaron efectos benéficos y aparentemente perjudiciales en condiciones de invernadero (Cuadro 4). La actividad fotosintética del zacate toboso se incrementó con dosis hasta 90 t MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Figura 5). La fotosíntesis en la gobernadora disminuyó en la sequía y aumentó en la época de lluvias<sup>(21)</sup>, mientras que la conductancia estomatal sólo se incrementó durante la temporada de lluvias.

En relación a los efectos de los biosólidos sobre el comportamiento de ganado bovino de carne en pastizales semiáridos existe escasa información. En Sierra Blanca, Texas<sup>(41)</sup>, en pastizales de navajita con 20 t MS ha<sup>-1</sup> se observaron incrementos de peso desde 0.63 kg animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> en áreas sin tratar, hasta 0.83 kg en áreas tratadas, en el segundo año. Además, los animales pastorearon más tiempo en las áreas tratadas (58% del tiempo) que en las áreas sin tratar. En la misma área, las estimaciones por medio de isótopos mostraron que sólo el 22 % del N del forraje proviene de los biosólidos y que 84 % del forraje consumido por el ganado proviene de áreas tratadas<sup>(42)</sup>. Además, los animales pastoreados en áreas tratadas, mostraron niveles por debajo de los límites permitidos de minerales como el Al, Cd, Cu, Mg, Mn, Pb y Zn en riñón, hígado, corazón y músculo<sup>(43)</sup>.

Se han documentado otros efectos de la aplicación de biosólidos en pastizales. En un estudio se detectó un bajo riesgo de transmisión aérea de bacterias patógenas en el ambiente con aplicaciones comerciales de 7 t MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en pastizales del oeste de Texas durante cuatro años<sup>(44)</sup>. La calidad del aire se ha evaluado por medio de la medición de partículas sólidas presentes en el aire a tres alturas (30, 60 y 90 cm sobre el nivel del suelo) durante tres años, en un rancho de 7,200 ha, al

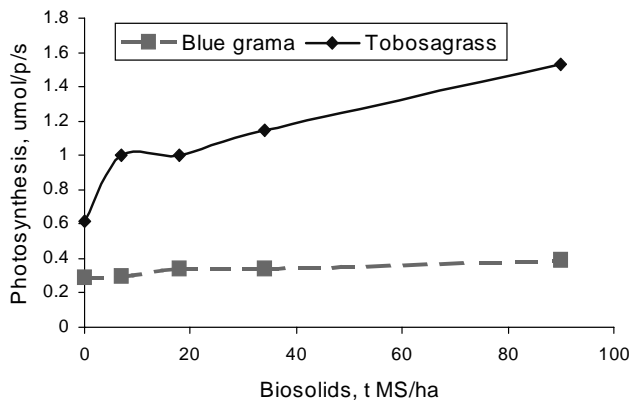
Biosolids application methods are important, but information on this issue is limited. However, several authors agree in that biosolids incorporation to the soil in natural ecosystems is not advisable because of adverse effects on vegetation<sup>(40)</sup>.

Effects of biosolids on plant physiology have been reported. In Sierra Blanca, Texas<sup>(37)</sup>, surface application of biosolids showed both beneficial and apparently negative effects in greenhouse conditions (Table 4). Photosynthesis in tobosagrass increased after applications of up to 90.0 DM metric tons ha<sup>-1</sup> (Figure 5). In creosote bush (*Larrea tridentata*) photosynthesis decreased in the dry and increased in the rainy season<sup>(21)</sup>, while stomatal conductance increased only in the rainy season.

Relative to effects of biosolids on beef cattle behaviour grazing semiarid grasslands in Texas, very limited information is available. In Sierra Blanca, Texas<sup>(41)</sup>, in blue grama grasslands to which 20 DM metric tons ha<sup>-1</sup> of biosolids were applied, liveweight gains from 0.63 kg/animal/d in untreated areas to 0.83 kg/animal/d in treated areas were found in the second year. Besides, animals grazed the treated areas for longer periods (58 %). In this same area, estimates carried out through

Figura 5. Efecto de biosólidos sobre la actividad fotosintética de dos zacates en pastizales semiáridos

Figure 5. Effect of biosolids on photosynthesis in two grasses in semiarid grasslands



(Adapted from Mata-González *et al*, 2002<sup>(37)</sup>).

aplicar 7 t MS ha<sup>-1</sup> de biosólidos en Sierra Blanca, Texas<sup>(45)</sup>. Se encontraron mayores cantidades de partículas cerca de las áreas de trabajo y en caminos de acceso; sin embargo, la erosión eólica (cantidad de partículas de suelo perdidas) disminuyó en las áreas aplicadas, comparadas con las áreas no aplicadas fuera del rancho.

### **LIMITACIONES Y PRÁCTICAS DE MANEJO RECOMENDADAS**

La NOM-004-SEMARNAT-2002 establece los límites en la concentración de algunos elementos en los biosólidos que se aprovechan en terrenos con fines agrícolas, incluyendo pastizales. En general, los biosólidos para usos forestales, mejoramiento de suelos y usos agrícolas deberán cumplir con las concentraciones indicadas para los biosólidos de tipo “Buenos” y de clase C. Por lo tanto, el aprovechamiento de biosólidos se establece en función del tipo y clase y su contenido de humedad hasta el 85 %.

Además, la USEPA (United States Environmental Protection Agency) recomienda realizar las siguientes prácticas de manejo para el uso de biosólidos en agricultura, incluyendo pastizales: 1) no aplicar biosólidos en lugares que contengan una planta amenazada o en peligro de extinción; 2) restricción en sitios inundados, congelados o cubiertos de nieve para evitar contaminación de agua; 3) no aplicar biosólidos a una distancia de 10 m o menos de cualquier fuente de agua; 4) no exceder la dosis agronómica de Nitrógeno; 5) etiquetar envases y contenedores de biosólidos<sup>(46)</sup>.

### **DISCUSIÓN**

El cumplimiento de las nuevas leyes y normas ambientales sobre tratamiento de aguas residuales; permitirá un aumento en la generación de biosólidos a nivel nacional e internacional. Esto nos obliga a la búsqueda de mejores alternativas para el aprovechamiento de los biosólidos en términos económicos, sociales y ambientales. El contenido de MO y nutrientes como el N y P hacen de los biosólidos un subproducto con alto potencial para

isotopes showed that only 22 % of N in forage comes from biosolids and that 84 % of the forage intake came from treated areas<sup>(42)</sup>. Besides, animals grazing treated areas, showed some mineral contents (Al, Cd, Cu, Mg, Mn, Pb, Zn) below the recommended limits in kidney, liver, heart and muscles<sup>(43)</sup>.

Other effects of biosolids application to grasslands have been recorded. In one study, a low risk of transmission of airborne pathogenic bacteria to the environment was detected during commercial application of 7.0 DM tons ha<sup>-1</sup> in west Texas grasslands after four years<sup>(44)</sup>. Air quality was evaluated through accumulation of airborne solid particles at three heights (0.30, 0.60 and 0.90 m above ground level) for the period of three years, in a 7,200 ha ranch in Sierra Blanca when of 7.0 DM tons ha<sup>-1</sup> of biosolids were applied<sup>(45)</sup>. More particles were found in the vicinity of working areas and in the access roads; however, wind erosion (amount of lost soil particles) diminished in the treated areas, when compared to untreated areas outside the ranch.

### **RECOMMENDED MANAGEMENT PRACTICES AND LIMITATIONS**

NOM-004-SEMARNAT-2002 sets limits to contents of several elements found in biosolids used in agriculture, including grasslands. In general, biosolids for use in forestry, soil improvement and agriculture should comply with standards set for “good” and Class C biosolids. Therefore, biosolids utilisation is set in function of type and class and moisture content up to 85 %.

Besides, USEPA (United States Environmental Protection Agency)<sup>(46)</sup> recommends carrying out the following management practices when using biosolids in agriculture, including grasslands: 1) Do not apply biosolids in locations that contain endangered plant species; 2) Do not apply biosolids in flooded, frozen or snow covered locations, to avoid water pollution; 3) Do not apply biosolids less than 10 m from a water source; 4) Do not

ser utilizado en pastizales; sin embargo, su alta variabilidad en la composición química es una limitante cuando se trata de establecer un programa de aprovechamiento o uso benéfico, ya que el alto costo de análisis representa un problema para el usuario. Dicho costo podría ser compartido por las PTAR, ya que ellas realizan muestreos rutinarios para determinar su composición química.

La aplicación superficial de biosólidos en dosis moderadas en pastizales áridos y semiáridos en la época de invierno y primavera ha mostrado los mejores resultados. Los principales beneficios incluyen una mayor disponibilidad de humedad y algunos nutrientes en el suelo, incremento de la producción y calidad de forraje de pastos y una mayor producción de ganado bovino. Se han obtenido algunos resultados negativos sobre las propiedades del suelo, sin embargo estos se han presentado solamente en dosis altas (90 t MS ha<sup>-1</sup>), que no se recomiendan comercialmente.

A pesar de las limitantes del uso de biosólidos como fertilizante, su uso en pastizales podría ser una alternativa para mejorar las condiciones de avanzada erosión y baja fertilidad del suelo de la mayoría de las zonas áridas y semiáridas del país. Estas regiones presentan características adecuadas para la aplicación de biosólidos como: mantos freáticos profundos, presencia de caliche en el perfil de suelo, suelos neutros y alcalinos, escasa precipitación pluvial, lo cual representa poco riesgo de contaminación de suelo y aguas superficiales y subterráneas.

En base a la información presentada en esta revisión y de acuerdo con las políticas ambientales de nuestro país, se considera factible el aprovechamiento de biosólidos como abono orgánico en cantidades moderadas de 5 a 45 t MS ha<sup>-1</sup>, en pastizales áridos y semiáridos, considerando los límites permisibles. Sin embargo, es urgente el desarrollo de proyectos de investigación en México sobre los efectos de los biosólidos en pastizales y otros ecosistemas, los cuales deberán ser multidisciplinarios para dar respuesta a los aspectos sociales, económicos, ecológicos y ambientales involucrados en dicho proceso.

exceed the agronomic N rate; 5) Label biosolids containers.

## DISCUSSION

Compliance with laws and regulations on waste water treatment should increase the generation of biosolids at the country and international levels. This fact should make us to search for new and better alternatives for their use in economic, environmental and social terms. Organic matter and mineral — especially N and P — content in biosolids make this by-product with a high potential for use in grasslands, however, its high variability in chemical composition constitutes a limitation when setting up a program for its utilisation, because of the high cost of its content analysis. This cost could be shared by the PTARs, because they should be performing routine samplings to determine the chemical composition of sewage sludges.

Surface applications of biosolids at moderate rates in desert and semiarid grasslands in winter and spring have shown the best results. The main benefits include better moisture availability and of some nutrients in soils, increases in quantity and quality of forage and of beef cattle production. Some negative results on certain soil properties have been observed; however these were present only when high rates (90 DM metric tons ha<sup>-1</sup>) were applied, which are not recommended for commercial use.

Even with these limitations for biosolids to be used as fertilizers, their utilisation in grasslands could be a valid alternative to increase advanced conditions of soil erosion and low fertility seen in most of the arid and semiarid areas of Mexico. These areas have adequate characteristics for application of biosolids, such as: deep water tables, presence of “caliche” (Calcium carbonate) in the soil profile, neutral and alkaline soils, low rainfall which allows for minimal risk of soil and surface and groundwater pollution.

Based on information provided in this paper and in accordance with Mexico’s environmental policies,

## LITERATURA CITADA

1. U.S. Environmental Protection Agency. Environmental regulations and technology: Use and disposal of municipal wastewater sludge. Washington, D.C. EPA625/10-84-003;1989:1-76.
2. Figueroa VU, Flores OMA, Palomo RM. Uso de biosólidos en suelos agrícolas. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC-Campo Exp. Valle de Juárez. Folleto técnico No. 3. 2002.
3. SEMARNAT. Normas Oficiales Vigentes [en línea]. www.semarnat.gob.mx. Consultado octubre, 2003.
4. Uribe MHR, Orozco HG, Chávez SN, Espino VMS. Fertilización del maíz forrajero con biosólidos. Campo Exp. Delicias. CIRNOC-INIFAP. 2003. Folleto técnico No. 13.
5. Martínez JC, Hinojosa JT, Romero LH, Olivares ES, Montes FC, Bolívar SS. Residual effect of biosolids in cauliflower (*Brassica oleracea* var. Botrytis) regarding yield, essential and heavy metal concentration in heads and soil. In: Specialised conference on sludge management: regulation, treatment, utilisation and disposal. IWA-FEMISCA-CINAM-II/UNAM-UAM. Acapulco, México. 2001:403-409.
6. Colín CA, López CR, Olea CO, Barrera DC, Valdez FC. Products generated from the thermal treatment of sewage sludge treatment. In: Specialised conference on sludge regulation, treatment, utilisation and disposal. International Water Association (IWA)-UNAM-UAM. Acapulco, México. 2001:164-171.
7. Saldaña I. La carencia de agua potable. *Rev Ind Ambiental* 2000;1(4):11-14.
8. Barrios JA, Rodríguez A, González A, Jiménez A, Maya C. Quality of sludge generated in wastewater treatment plants in México: meeting the proposed regulation. In: Specialised conference on sludge regulation, treatment, utilisation and disposal. International Water Association (IWA)-UNAM-UAM. Acapulco, México. 2001:54-61.
9. U.S. Environmental Protection Agency. Biosolids generation, use, and disposal in the United States. Office of Solid Waste. EPA-530-R-99-009. 1999.
10. Gómez PJM, Ruiz de Apodaca A, Rebollo C, Azcárate J. European policy on biodegradable waste: A management perspective. In: Specialised conference on sludge regulation, treatment, utilisation and disposal. International Water Association (IWA)-UNAM-UAM. Acapulco, México. 2001:21-29.
11. Benton MW, Wester DB. Biosolids effects on tobosagrass and alkali sacaton in a Chihuahuan desert grassland. *J Environ Qual* 1998;27:199-208.
12. Jurado-Guerra P. Effects of biosolids and an inorganic mulch on soil-plant relationships in two Chihuahuan desert grasslands [Ph. D. Dissertation]. Lubbock, Texas, USA. Texas Tech University; 2000.
13. Jurado P, Wester BD. Effects of biosolids on tobosagrass growth in the Chihuahuan desert. *J Range Manage* 2001;54:89-95.
14. Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD, Havlin JL. Soil fertility and fertilizers. 5<sup>th</sup> ed. Upper Saddle River, New Jersey, USA: Prentice Hall; 1993.
15. Outwater AB. Reuse of sludge and minor wastewater residuals. Boca Raton, Florida, USA: Lewis Publishers; 1994.
16. Gass WB, Sweeten JM. Benefits of applying sewage sludge on agricultural land. Texas Agric Ext Serv. College, Station, TX. The Texas A&M Univ. System; Publ. B-1637;1992:1-13.
17. Van Den Berg JJ. Effects of sewage sludge disposal. *J Land biosolids utilisation is considered possible as an organic fertilizer at moderate rates (5.0 to 45.0 DM metric tons ha<sup>-1</sup>) in arid and semiarid grasslands, taking into account the limits set by regulations and standards. However, it is of urgency to carry out multidisciplinary research projects in Mexico on the effects of biosolids on grasslands and other ecosystems, in order to respond to the social, economic, ecologic and environmental aspects included in these processes.*

*End of english version*

- 
- 
- Degradat Rehabilit 1993;4:407-413.
  18. Whitford WG, Aldon EF, Freckman DW, Steinberger Y, Parker LW. Effects of organic amendments on soil biota on a degraded rangeland. *J Range Manage* 1989;42:56-60.
  19. Aguilar R, Loftin SR, Ward TJ, Stevens KA, Gosz JR. Sewage sludge application in semiarid grasslands: Effects on vegetation and water quality. Technical completion report. New Mexico Water Resources Research Institute, USDA Forest Service, Univ. of New Mexico, New Mexico State Univ 1994;1-75.
  20. Harris-Pierce RL, Redente EF, Barbarick KA. Sewage-sludge application effects on runoff water quality in a semiarid rangeland. *J Environ Qual* 1995;24:112-115.
  21. Yan S, Wan C, Sosebee RE, Wester DB, Fish EB, Zartman RE. Responses of photosynthesis and water relations to rainfall in the desert shrub creosote bush (*Larrea tridentata*) as influenced by municipal biosolids. *J Arid Environ* 2000;46:397-412.
  22. Moffet CA. Quantity and quality of runoff from two biosolids-amended Chihuahuan desert grassland soils [M.Sc. Dissertation]. Lubbock, Texas, USA. Texas Tech University; 1997.
  23. Rostagno CM, Sosebee RE. Biosolids application in the Chihuahuan desert: Effects on runoff water quality. *J Environ Qual* 2001;30:160-170.
  24. Rostagno CM, Sosebee RE. Surface application of biosolids in the Chihuahuan desert: Effects on soil physical properties. *Arid Land Res Manage* 2001;15:233-244.
  25. Burkardt JW, Miller WW, Azad M. Biosolids application to rangelands. *J Water Environ Tech* 1993;5:68-71.
  26. Fresquez PR, Francis RE, Dennis GL. Soil and vegetation responses to sewage sludge on a degraded semiarid broom snakeweed/blue grama community. *J Range Manage* 1990;43:325-331.
  27. Harris-Pierce RL, Redente EF, Barbarick KA. The effect of sewage sludge application on native rangeland soils and vegetation: Fort Collins-Meadow Springs Ranch. CO. Agric Exp Sta Colo State Univ Tech Report TR93-6. 1993.
  28. Wester DB, Benton MW, Gatewood RG, Jurado P, Moffet C, Sosebee R. Tobosagrass growth responses and soil nitrogen dynamics in response to autumn-applied biosolids [abstract] Phoenix, Arizona, USA. 48<sup>th</sup> Ann Meet, SRM;1995:67.
  29. Mata-Gonzalez R. Influence of biosolids application on growth,



## APROVECHAMIENTO DE BIOSÓLIDOS COMO ABONOS ORGÁNICOS

- nitrogen uptake, and photosynthesis of two desert grasses [Ph. D. Dissertation]. Lubbock, Texas, USA. Texas Tech University; 1999.
30. Harmel RD, Zartman ER, Mouron C, Wester BD, Sosebee ER. Modeling ammonia volatilization from biosolids applied to semiarid rangeland. *Soil Sci Soc Am J* 1997;61:1794-1798.
  31. Dennis GL, Fresquez PR. The soil microbial community in a sewage-sludge-amended semi-arid grassland. *Biol Fertil Soils* 1989;7:310-317.
  32. Strait KR, Zartman ER, Sosebee ER, Wester BD. Evaluating temperature constraints for municipal biosolids application to a desert grassland soil. *Texas J Agric Nat Res* 1999;12:80-87.
  33. White CS, Loftin SR, Aguilar R. Application of biosolids to degraded semiarid rangeland: Nine-year responses. *J Environ Qual* 1997;26:1663-1671.
  34. Walton M, Herrick JE, Gibbens RP, Remmenga MD. Persistence of municipal biosolids in a Chihuahuan Desert rangeland 18 years after application. *Arid Land Research Manage* 2001;15:223-232.
  35. Brenton C. Evaluation of soil water quality following the application of biosolids on a semiarid rangeland in Texas [M.Sc. Dissertation]. Lubbock, Texas, USA. Texas Tech University; 1995.
  36. Shanks C. Application of municipal biosolids to a semiarid grassland soil: effects on soil water quality [M.Sc. Dissertation]. Lubbock, Texas, USA. Texas Tech University; 1998.
  37. Mata-Gonzalez R, Sosebee RE, Wan C. Shoot and root biomass of desert grasses as affected by biosolids application. *J Arid Environ* 2002;50:477-488.
  38. Cooley EP. Biosolids and chemical fertilizer application on the Chihuahuan Desert grasslands [M.Sc. Dissertation]. Lubbock, Texas, USA. Texas Tech University; 1998.
  39. Pierce BL, Redente EF, Barbarick KA, Brobst RB, Hegeman P. Plant biomass and elemental changes in shrubland forages following biosolids application. *J Environ Qual* 1998;27:789-794.
  40. Gillen RL. Land application and agroecosystem wildlife impacts. In: *Land application of biosolids: A review of research concerning benefits, environmental impacts, and regulations of applying treated sewage sludge*. Okla Agric Exp Sta Center Agric Environ. Publ. B-808. 1995:31-33.
  41. Villalobos GC, Avila CJM. Cattle grazing and biosolids in west Texas. In: *16<sup>th</sup> Annual residuals and biosolids management conference*. Water Environment Federation 2002:17.
  42. Moffet AC, Villalobos GC, Avila CJM, Macko SA, Karlson HR. Stable isotope analysis for tracing biosolids-derived N: An example from cattle grazing biosolids-amended range. In: *16<sup>th</sup> Annual residuals and biosolids management conference*. Water Environment Federation 2002:15.
  43. Avila CJM, Villalobos GC, Sosebee RE, Britton CM, Fish EB, Wester DB, Zartman RE. Efecto de biosólidos en pastizales del oeste de Texas en el contenido de minerales en tejidos de novillos en pastoreo [resumen]. XXXIX Reunión nacional de investigación pecuaria. México, D.F. 2003:374.
  44. Pillai SD, Widmer KW, Dowd SE, Ricke SC. Occurrence of airborne bacteria and pathogen indicators during land application of sewage sludge. *Appl Environ Microbiol* 1996;62:296-299.
  45. Villalobos GC, Wester DB, Fish EB, Zartman RE, Sosebee RE, Harris BL. Effect of surface application of municipal biosolids on blowing dust and soil particulate matter movement. In: *Basic and applied research on the beneficial use of biosolids on the Sierra Blanca ranch*. Depts Range Wildlife Manage and Plant Soil Sci, Texas Tech University, Lubbock, TX. 1997.
  46. U.S. Environmental Protection Agency. Part 503-Standards for the use or disposal of sewage sludge. Office of Solid Waste. 1996.

