

Producción y calidad de forraje y semilla del zacate navajita con la aplicación de biosólidos en un pastizal semiárido de Jalisco

Forage and seed yield and quality of blue grama under biosolids application in a semiarid rangeland in Jalisco

Pedro Jurado Guerra^a, Miguel Luna Luna^b, Rodolfo Barretero Hernández^b, Mario Royo Márquez^a, Alicia Melgoza Castillo^a

RESUMEN

Los pastizales áridos y semiáridos presentan una baja producción y calidad de forraje. El objetivo fue evaluar la aplicación de biosólidos sobre el zacate navajita en un pastizal semiárido. Se evaluaron siete dosis de 15 a 90 t ha⁻¹ de biosólidos aplicados superficialmente en forma manual por única vez en parcelas de 1 m², y un tratamiento testigo (T). Las variables evaluadas fueron: altura, producción de forraje, proteína cruda (PC) y digestibilidad; y la producción y germinación de semilla. Los datos fueron analizados con un diseño completamente al azar y análisis de tendencia. Los biosólidos incrementaron la altura del navajita ($P \leq 0.01$) en los dos años. La producción de forraje por hectárea se incrementó ($P \leq 0.01$) de 572±184 en el T a 5,638±1,406 kg con 60 t en 2002 y de 476±171 en el T a 7,224±672 kg con 90 t ($P \leq 0.01$) en 2003. La PC se incrementó ($P \leq 0.01$) de 5.3±0.4 en el T a 10.5±0.3 % con 90 t en 2002 y de 5.4±0.2 en el T a 8.0±0.4 % con 90 t ($P \leq 0.01$) en 2003. La digestibilidad se incrementó ($P \leq 0.01$) de 36±3 en el T a 44±2 % con 90 t en 2002. La producción y germinación de semilla se incrementaron ($P \leq 0.01$) de 8±4 en el T a 269±50 kg con 45 t; y de 8±5 en el T a 28±6 % con 60 t. La aplicación de biosólidos en pastizales semiáridos incrementa la producción y calidad de forraje del zacate navajita.

PALABRAS CLAVE: Pastizales, Semiáridos, Biosólidos, *Bouteloua gracilis*, Rendimiento, Proteína, Digestibilidad.

ABSTRACT

Arid and semiarid rangelands show low yield and forage quality. The objective was to evaluate the effects of biosolids application on blue grama in a semiarid rangeland. Biosolids at 15 to 90 t ha⁻¹ rates were surface-applied one-time only to 1 m² plots, and a control treatment (C). Blue grama height, forage yield, crude protein (CP), and digestibility were estimated in 2002 and 2003, and seed yield and germination in 2002. Data were analyzed under a completely randomized design and trend analysis. Blue grama height increased ($P \leq 0.01$) in both years. Forage yield per hectare increased ($P \leq 0.01$) in 2002 and 2003 ($P \leq 0.01$) from 572±184 kg at C to 5,638±1,406 kg at 60 t, and from 476±171 kg at C to 7,224±672 kg at 90 t. In 2002, CP increased ($P \leq 0.01$) from 5.3±0.4 % at C to 10.5±0.3 % at 90 t and ($P \leq 0.01$) from 5.4±0.2 % at C to 8.0±0.4 % at 90 t in 2003. Forage digestibility increased ($P \leq 0.01$) in 2002 with 36±3 % at C to 44±2 % at 90 t. Seed yield and germination increased ($P \leq 0.01$) with 8±4 kg at C up to 269±50 kg at 45 t; while seed germination varied from 8±5 % at C to 28±6 % at 60 t. Application of biosolids in semiarid rangelands increases blue grama forage yield and quality.

KEYWORDS: Rangelands, Semiarid, Biosolids, *Bouteloua gracilis*, Yield, Protein, Digestibility.

INTRODUCCION

La mayoría de los pastizales de las zonas áridas y semiáridas de México presentan un alto deterioro,

INTRODUCTION

Most arid and semiarid rangelands in Mexico show a high degree of degradation, including low forage

Recibido el 6 de junio de 2005 y aceptado para su publicación el 9 de abril de 2006.

^a Campo Experimental La Campana-CIRNOC-INIFAP. Ave. Homero #3744, Chihuahua, Chih., 31100, Tel. (614) 481-07-69, Fax (614) 481-02-57, jurado.pedro@inifap.gob.mx. Correspondencia al primer autor.

^b Campo Experimental Vaquerías-CIRPAC-INIFAP.

incluyendo baja producción de forraje, baja cobertura vegetal, bajo valor nutritivo de los zacates y menor fertilidad de suelo^(1,2,3), ocasionando una menor capacidad de carga animal. En estos pastizales, el zacate navajita [*Bouteloua gracilis* (H.B.K.) Lag. ex. Steud.] es una especie de gran importancia por su amplia distribución y buen valor forrajero para ganado y fauna silvestre⁽⁴⁾. Desgraciadamente, el sobrepastoreo combinado con sequía han disminuido y fragmentado sus comunidades.

Las prácticas de mejoramiento de pastizales, tales como la aplicación de fertilizantes, han mostrado efectos positivos, incrementando la producción y el valor nutritivo del forraje de zacates nativos en pastizales medianos de Jalisco^(5,6); y la producción de semilla de navajita⁽⁷⁾. Sin embargo, su uso en zonas semiáridas no es recomendable debido a su baja rentabilidad^(5,8).

El uso de subproductos orgánicos, podría ser parte de la solución para frenar el deterioro y los problemas de baja producción y calidad del forraje en estos ecosistemas. Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) generan un subproducto conocido como "biosólidos" o "lodos orgánicos" en México, o como "sewage sludge" o "biosolids" en otros países, que puede ser utilizado como abono orgánico^(9,10). Se estima que la generación de biosólidos en México alcanzará aproximadamente las 650,000 t materia seca (MS) por año, en un futuro próximo⁽¹¹⁾. Comparativamente, en Estados Unidos se estima en 7.4 millones⁽¹²⁾ y la comunidad europea, con 15 países miembros, alcanzará 7.5 millones⁽¹³⁾.

Las alternativas para el uso y la disposición final de biosólidos son la confinación en rellenos sanitarios, la incineración, y la reutilización en agricultura y bosques^(14,15). De acuerdo a las leyes ambientales y las condiciones económicas, en la actualidad la aplicación de biosólidos a tierras agrícolas, de bosques y de pastizales es recomendable y benéfica^(12,15,16). Aproximadamente el 48 y 47 % de los biosólidos se reutilizan en la agricultura de los Estados Unidos⁽¹²⁾ y de la Comunidad Europea⁽¹⁷⁾, respectivamente.

El uso de biosólidos como fertilizante y mejorador de suelos ha sido evaluado en pastizales áridos y

yield, plant cover, nutritive value of grasses and soil fertility^(1,2,3), causing a low animal carrying capacity. In these rangelands, blue grama is an important species because of its large distribution and high forage value for cattle and wildlife⁽⁴⁾. Unfortunately, overgrazing along with drought have reduced and fragmented blue grama communities.

Range improvement practices, such as fertilizer application, have shown beneficial effects by increasing forage yield and quality of native grasses in open grasslands of Jalisco^(5,6), and blue grama seed yield⁽⁷⁾. However, its application in semiarid regions is not recommended because of low profitability^(5,8).

Application of organic byproducts might be part of the solution to halt rangeland degradation and the low forage yield and quality problems in these ecosystems. The public water treatment works generate a byproduct known as "biosólidos" or "lodos orgánicos" in Mexico or "sewage sludge" or "biosolids" in other countries that can be used as organic amendment^(9,10). It is estimated that biosolids generation in Mexico will be about 650,000 dry matter (DM) t annually in the short future⁽¹¹⁾. Comparatively, United States generates about 7.4 millions⁽¹²⁾ and the Europe Union, with 15 countries, generates about 7.5 millions⁽¹³⁾.

Alternatives for use and final disposition are sanitary landfills, incineration, and land application^(14,15). In agreement to environmental regulations and economic conditions, land application of biosolids to crops, forest and rangelands is currently recommended and beneficial^(12,15,16). Approximately, 48 and 47 % of the biosolids are land-applied in United States⁽¹²⁾ and the European Union⁽¹⁷⁾, respectively.

Use of biosolids as fertilizer and soil amendment has been evaluated on arid and semiarid rangelands in United States. Surface-applied biosolids at moderate rates (15 to 45 t ha⁻¹) have shown beneficial effects on some soil properties and growth of several grasses⁽¹⁸⁻²⁰⁾. In Mexico, there is lack of knowledge about the use of biosolids for rangeland rehabilitation. Therefore, the objective of this study is to evaluate forage yield and nutritive value as well as seed yield and germination of blue grama to biosolids application in a degraded rangeland of the semiarid region of Jalisco.

semiáridos en Estados Unidos. Los biosólidos aplicados superficialmente en dosis moderadas (15 a 45 t ha⁻¹) han mostrado efectos benéficos sobre algunas propiedades del suelo y el crecimiento de diversos zacates^(18,20). En México, existe un gran desconocimiento sobre el uso de biosólidos para la rehabilitación de pastizales. En este contexto, este trabajo tiene como objetivo evaluar la producción y el valor nutritivo del forraje y la producción y germinación de semilla del zacate navajita con biosólidos en un pastizal degradado de la región semiárida de Jalisco.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo durante 2002 y 2003 en el C.E. Vaquerías en el km. 8 de la carretera Ojuelos-Lagos de Moreno, en Ojuelos, Jalisco con 21°46'45" N y 101°36'40" O, a una altitud de 2,150 m. El clima es semitropical árido templado⁽²¹⁾ o seco templado, con verano cálido e invierno fresco tipo BS₁kw, entre las isotermas de 16 a 18 °C con presencia de heladas y época seca de 9 a 10 meses y entre las isoyetas de 400 a 500 mm de precipitación anual, y con un periodo de lluvias de junio a septiembre⁽²²⁾. La topografía es de plana hasta una pendiente menor al 3 %, con suelo Xerosol háplico, de origen aluvial, textura media (franco-arenosa) y con una fase dúrica (tepetate) a una profundidad entre 50 a 100 cm⁽²³⁾.

El tipo de vegetación es un pastizal mediano abierto de *Bouteloua-Lycurus* con invasión de huizache [*Acacia schaffnieri* (Wats.) Herm.] y nopales (*Opuntia* spp)⁽²⁴⁾. Este sitio, en condición "Buena" y en años de precipitación pluvial normal, produce 446 kg de forraje utilizable ha⁻¹ año⁻¹ de materia seca con base en vegetación nativa del pastizal, que corresponde a una capacidad de carga animal de 0.13 UA ha⁻¹ año⁻¹.

Se establecieron 35 parcelas experimentales de campo de 1 m² en un pastizal mediano abierto de zacate navajita. Las parcelas se seleccionaron con base en su producción homogénea de forraje de zacate navajita, determinada por medio de cortes de forraje a una altura de 5 cm del suelo. Se colocó un cuadro de madera de 10 cm de altura en cada parcela para delimitarlas y evitar la dispersión

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted through 2002 and 2003 in the "Vaquerías" Experimental Station at km 8 on the highway Ojuelos-Lagos de Moreno, in Ojuelos, Jalisco, at 21° 46' 45.4" N and 101° 36' 40.8" W, at 2,150 m altitude. Climate is arid, temperate subtropical⁽²¹⁾ or dry temperate with warm summer and cool winter, BS₁kw type, between the 16 to 18 °C isothermal lines, a 9 to 10-month drought-period, between the 400 to 500 mm annual precipitation lines, and a rainy season from June to September⁽²²⁾. Topography is leveled to a 3 %, soils are Haplic Xerosol, alluvial origin, medium texture with a duric phase (tepetate) at 50 to 100 cm⁽²³⁾.

Vegetation type is a shortgrass rangeland with *Bouteloua-Lycurus*, huizache [*Acacia schaffnieri* (Wats.) Herm.] and pricklypear (*Opuntia* spp)⁽²⁴⁾. This site, on a "Good" range condition and under normal rain, yields about 446 kg DM of usable forage ha⁻¹ year⁻¹⁽²⁴⁾, which corresponds to an animal carrying capacity of 0.13 AU ha⁻¹ yr⁻¹.

Thirty five one square meter field plots were established on a shortgrass rangeland with blue grama as a dominant grass. Plots were selected based on homogeneous blue grama forage standing crop, determined by clipping at 5 cm height. A wood frame, 10 cm height, was used for each plot to delimitate it and prevent biosolids spreading out of the plot. Biosolids used come from domestic residual waters, aerobic and dehydrated from the public water treatment plant in Aguascalientes. One day before application, five biosolids samples were taken at approximately 25 g, and their water content was determined at 105 °C for 24 h. Four biosolids samples about 1 kg, wet basis were collected and frozen immediately for chemical analysis.

Seven biosolids rates at 0 (control), 15, 30, 45, 60, 75 or 90 t DM ha⁻¹ were evaluated with five replications. Biosolids were applied topically and uniformly distributed around plots, at the beginning of the rainy season, on June 14, 2002. Field plots were exposed to natural rainfall conditions and excluded to grazing and lagomorphs by wire fence and mesh. Precipitation was measured for two years through a weather station close to the study area.

de los biosólidos. Los biosólidos utilizados fueron de tipo doméstico, aeróbicos y deshidratados de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Aguascalientes. Un día antes de la aplicación de biosólidos se tomaron cinco muestras de aproximadamente 25 g y se determinó su contenido de humedad a 105 °C durante 24 h. Cuatro muestras de biosólidos de aproximadamente 1 kg en base húmeda fueron colectadas y congeladas inmediatamente para su análisis químico.

Se evaluaron siete dosis de aplicación de biosólidos: 0 (testigo), 15, 30, 45, 60, 75 o 90 t MS ha⁻¹, con cinco repeticiones. Los biosólidos fueron aplicados superficialmente y distribuidos uniformemente en las parcelas al inicio del periodo de lluvias, el 14 de junio del 2002. Las parcelas de campo estuvieron expuestas a condiciones naturales de precipitación y fueron excluidas al pastoreo por ganado y lagomorfos por medio de cerco y malla. La precipitación pluvial fue monitoreada durante dos años por medio de una estación meteorológica cercana al área de estudio.

Se determinó la altura del pasto aproximadamente cada dos semanas por medio de la medición de cuatro plantas seleccionadas al azar y marcadas en forma permanente en cada parcela durante 2002. En el segundo año de estudio, sólo se midió la altura final en noviembre 2003. La producción anual del forraje del zacate navajita se estimó por medio de cortes de forraje aproximadamente a 5 cm del suelo en toda la parcela al final de las épocas de crecimiento (noviembre 2002 y 2003).

La producción de semilla se determinó por medio de cortes de las inflorescencias del zacate navajita a principios de noviembre 2002. Las muestras fueron secadas y se desgranó la semilla de cada inflorescencia a mano. Enseguida, la semilla se limpió manualmente y se pesó para determinar la producción de semilla en greña. Las muestras de semilla se almacenaron durante 25 meses en laboratorio en condiciones secas a temperatura ambiente. Para conocer la calidad de la semilla se realizaron dos tipos de análisis: pureza y germinación. La pureza se realizó con la eliminación de tallos, lemas y paleas, dejando solo las cariopsis de interés. Las pruebas de germinación se realizaron en germinadora con

Grass height was estimated approximately every two weeks, by measuring four permanent plants selected randomly in each plot during 2002. The second year, grass height was only measured at the end of the growth period in November 2003. Annual forage yield was estimated by clipping at 5 cm height at the end of plant growth periods (November 2002 and 2003). Seed yield was determined by clipping the seedheads of blue grama at the beginning of November 2002. Seed samples were dried and seeds were obtained by hand from the seedheads. Then, seed was cleaned manually and weighed to determine bulk seed yield. Seed samples were stored for 25 mo in a laboratory under dry environment and ambient temperature. To determine seed quality, two analyses were performed: purity and germination. Purity was done by elimination of stems, lemmas and paleas and leaving only the caryopsis. Seed germination tests were performed in a germination machine under controlled temperature at 28±2 °C, saturated conditions, using 30 seeds per plate with three replications, during 21 d⁽²⁵⁾. Dry forage samples were ground with a Wiley mill at one mm particle size, then in situ dry matter digestibility (ISDMD)⁽²⁶⁾ and forage crude protein (CP) through Kjeldahl method⁽²⁷⁾ were estimated for two years.

Treatments were arranged in the field plots under a completely randomized design with repeated measurements⁽²⁸⁾. Data collected for all variables were analyzed with analysis of variance, Shapiro-Wilk test⁽²⁹⁾ for normality of experimental errors, and Levene's test⁽³⁰⁾ for variance homogeneity assessing were used. Besides, Significant Least Difference was used for mean comparison of blue grama height data at probability 0.05. Trend analyses were also performed by orthogonal polynomials to determine the relation of forage yield, CP, ISDMD, seed yield and germination to biosolids rates⁽²⁸⁾.

RESULTS AND DISCUSSION

Chemical composition of biosolids is shown in Table 1. According to the official regulation NOM-004-SEMARNAT-2002⁽³¹⁾, these biosolids are "Excellent" type, based on heavy metal content and can be used for forest, soil amendment, and

temperatura controlada a 28 ± 2 °C, en condiciones de saturación, utilizando 30 semillas por caja con tres repeticiones, durante 21 días⁽²⁵⁾. Las muestras de forraje secas se molieron en un molino Wiley a 1 mm de tamaño de partícula, y se determinó la digestibilidad *in situ* de la materia seca (DISMS)⁽²⁶⁾ y contenido de PC en el forraje por el método Kjeldahl⁽²⁷⁾ durante los dos años de estudio.

Los tratamientos fueron distribuidos en las parcelas experimentales con un diseño completamente al azar con mediciones repetidas⁽²⁸⁾. Los datos obtenidos para todas las variables evaluadas fueron analizados con varianza; se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk⁽²⁹⁾ para el análisis de normalidad de los errores experimentales, y la prueba de Levene⁽³⁰⁾ para el análisis de homogeneidad de varianzas. Además, se utilizó la prueba de la diferencia mínima significativa para la comparación de medias de altura de navajita a una probabilidad de 0.05. Se realizaron análisis de tendencia por medio de polinomios ortogonales para determinar la relación de las variables producción de forraje, PC, DISMS, producción y germinación de semilla con la dosis de biosólidos⁽²⁸⁾.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química de los biosólidos se presenta en el Cuadro 1. De acuerdo a la norma oficial NOM-004-SEMARNAT-2002⁽³¹⁾, estos biosólidos son de tipo “Excelente” con base en el contenido de metales, y pueden ser aprovechados en usos forestales, mejoramiento de suelos y usos

agriculture. Biosolids water (85.4 %), C, N, and P contents were lightly above those reported in other studies^(19,32), while soil pH and electric conductivity (EC) were lower.

Precipitation during grass growth seasons (June-September) in the study area was 338 mm in 2002 and 389 mm in 2003 (Figure 1). These values, above the normal annual mean (319 mm) for the same period, had a direct effect on the forage production results in this study.

Statistic analysis showed a significant rate x year interaction ($P \leq 0.05$) for all evaluated variables, attributed to different rainfall conditions between years of study, then results are shown separately by year. Initial plant height was homogeneous among field plots with a mean of 6.4 ± 0.6 cm on

Cuadro 1. Composición química de biosólidos aeróbicos de la Planta de tratamiento de aguas de Aguascalientes. 2002

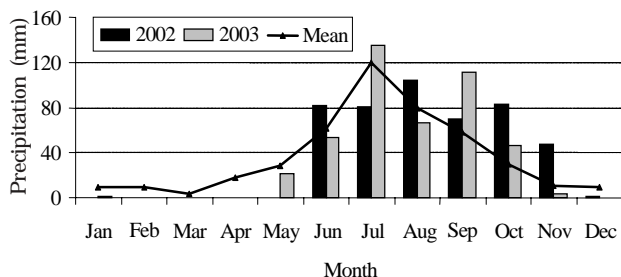
Table1. Chemical composition of aerobic biosolids from the Wastewater Treatment Plant in Aguascalientes. 2002

| | Mean | Range |
|------------------------------------|------|-----------|
| pH (water 1:5) | 6.6 | 6.6-6.8 |
| EC (water 1:5), dS m ⁻¹ | 1.52 | 1.29-1.68 |
| Organic matter, % | 35.2 | 33.2-38 |
| Nitrogen, % | 4.1 | 4.0-4.4 |
| Phosphorus, % | 3.4 | 3.1-3.8 |
| Potassium, % | 0.12 | 0.10-0.14 |
| Calcium,% | 2.7 | 2.5-3.0 |
| Magnesium,% | 0.27 | 0.24-0.3 |
| Sulfur,% | 1.0 | 0.9-1.1 |
| Iron, mg kg ⁻¹ | 8564 | 7570-9325 |
| Copper, mg kg ⁻¹ | 272 | 173-330 |
| Manganese, mg kg ⁻¹ | 153 | 136-150 |
| Zinc, mg kg ⁻¹ | 972 | 746-1147 |
| Boron, mg kg ⁻¹ | 2.2 | 0-6.2 |
| Aluminum, % | 1.4 | 1.3-1.5 |
| Lead, mg kg ⁻¹ | 38 | 25-51 |
| Arsenic, mg kg ⁻¹ | 11 | 1-20 |
| Cromium, mg kg ⁻¹ | 60 | 37-81 |
| Cadmium, mg kg ⁻¹ | 6 | 3-8 |

EC= Electrical conductivity.

Figura 1. Precipitación mensual en Ojuelos, Jalisco. Años 2002, 2003 y media de 12 años

Figure 1. Monthly precipitation of Ojuelos, Jalisco. 2002, 2003 and mean of 12 years



agrícolas. Los contenidos de humedad (85.4 %), C, N y P fueron ligeramente arriba de lo reportado en otros estudios^(19,32); por el contrario, el pH y la conductividad eléctrica (CE) fueron menores.

Las precipitaciones pluviales durante las épocas de crecimiento (junio-septiembre) de los pastos en el área de estudio fueron de 338 mm en 2002 y de 389 mm en 2003 (Figura 1). Estos valores, que están por arriba de la precipitación media normal (319 mm) para el mismo período, tuvieron un efecto directo en los resultados de producción de forraje en este estudio.

El análisis estadístico mostró que la interacción dosis x año, fue significativa ($P \leq 0.05$) para todas las variables evaluadas, atribuible a las diferentes condiciones de precipitación entre los dos años de estudio, por lo que los resultados se presentan por separado para cada año. La altura inicial de las plantas fue homogénea entre las parcelas, con un promedio de 6.4 ± 0.6 cm el 30 de mayo de 2002. Con la aplicación de biosólidos se incrementó la altura del zacate ($P \leq 0.01$) en todas las fechas de muestreo, excepto el 28 de junio (Cuadro 2); la respuesta se observó a las dos semanas de aplicación, con un incremento significativo ($P \leq 0.01$) de 8.4 cm de altura en la dosis de 75 t comparado

May 30 2002. Grass height was increased by biosolids rate ($P \leq 0.01$) at all sample dates, except on June 28 (Table 2), the effect was observed two weeks after biosolids application with a significant increase ($P \leq 0.01$) of 8.4 cm height in 75 t biosolids rate compared to the control. At the end of the growing season, all biosolids rates increased ($P \leq 0.01$) blue grama height, up to a maximum of 60 % at the 60 t rate. At the end of the second growing season, all biosolids rates increased ($P \leq 0.01$) blue grama height, up to a maximum of 68 % (Table 2).

A similar effect of biosolids on plant height has also been observed on tobosagrass [*Hilaria mutica* (Buckl.) Bent.] with anaerobic biosolids topically applied at 7 to 34 t ha⁻¹ rates in Texas⁽³³⁾. In another study, it is shown that topical application of biosolids at 7 to 90 t rates increases tobosagrass and alkali sacaton [*Sporobolus airoides* (Torr.) Torr.] height in Chihuahuan desert rangelands of Texas⁽¹⁹⁾. In the previous study, the effect was observed after three weeks of biosolids application in summer.

Initial forage standing crop accumulated of field plots was homogeneous ($P \geq 0.31$) with a mean of 843 ± 187 t DM ha⁻¹. Forage yield at the end of the growing season in 2002 increased following a quadratic trend ($P \leq 0.01$) under biosolids application

Cuadro 2. Altura promedio (cm) de zacate navajita en un pastizal semiárido con biosólidos en Ojuelos, Jalisco. 2002 y 2003

Table 2. Mean height (cm) of blue grama grass in a semiarid rangeland with biosolids in Ojuelos, Jalisco. 2002 & 2003

| Date | Biosolid rates (t MS ha ⁻¹) | | | | | | |
|------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 |
| ----- 2002 ----- | | | | | | | |
| 28 Jun | 12.8 c | 16.8 bc | 17.6 ab | 20.1 ab | 20.6 ab | 21.2 a | 20.9 a |
| 19 Jul | 16.7 c | 28.5 b | 32.6 ab | 32.8 ab | 36.2 a | 35.9 a | 37.9 a |
| 24 Jul | 19.7 d | 34.3 c | 39.9 ab | 36.9 bc | 41.9 ab | 41.0 ab | 42.4 a |
| 7 Aug | 23.0 c | 41.8 b | 45.4 ab | 44.0 ab | 43.9 ab | 48.8 a | 48.1 ab |
| 20 Aug | 25.9 c | 40.3 b | 44.0 ab | 43.8 ab | 45.5 ab | 46.5 ab | 47.8 a |
| 18 Sep | 27.6 c | 42.2 b | 52.0 a | 51.9 a | 53.2 a | 50.4 ab | 54.6 a |
| 8 Nov | 41.7 c | 58.8 ab | 64.4 ab | 63.0 ab | 66.9 a | 58.2 b | 64.1 ab |
| ----- 2003 ----- | | | | | | | |
| 15 Nov | 51.8 d | 71.5 c | 76 bc | 79 abc | 86.8 a | 83.1 ab | 87.2 a |

abcd Numbers with different letters among biosolids rates within dates indicate difference ($P \leq 0.05$).

con el testigo. Al final de la época de crecimiento todas las dosis de biosólidos incrementaron ($P \leq 0.01$) la altura del zacate navajita, con un máximo de 60 % en 60 t. Al final de la época de crecimiento del segundo año de estudio, todas las dosis de biosólidos incrementaron ($P \leq 0.01$) la altura hasta un máximo de 68 %.

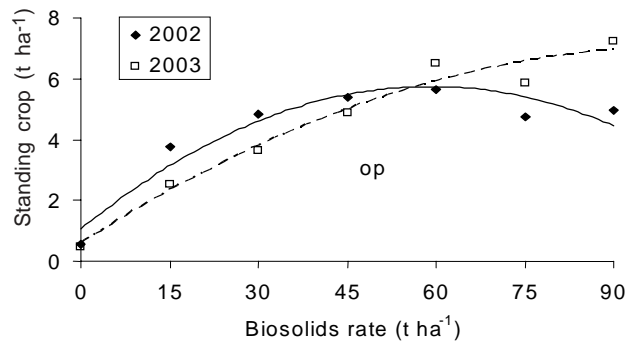
Un efecto similar de los biosólidos sobre la altura de pastos también se ha observado en el zacate toboso [*Hilaria mutica* (Buckl.) Bent.] con el uso de biosólidos anaeróbicos aplicados superficialmente en dosis de 7 a 34 t ha⁻¹ en Texas⁽³³⁾. En otro estudio se reportan incrementos en la altura de zacates toboso y zacatón alcalino [*Sporobolus airoides* (Torr.) Torr.] con la aplicación superficial de biosólidos anaeróbicos en dosis de 7 hasta 90 t ha⁻¹ en pastizales del desierto Chihuahuense en Texas⁽¹⁹⁾. En el estudio anterior, la respuesta favorable se observó a las primeras tres semanas después de la aplicación en el verano.

La producción de forraje inicial acumulada de las parcelas experimentales fue homogénea ($P \geq 0.31$) con un promedio de 843 ± 187 t MS ha⁻¹. La producción de forraje al final de la época de crecimiento en el año 2002 se incrementó en forma cuadrática ($P \leq 0.01$) con la aplicación de biosólidos (Figura 2); dicha producción fue de 572 ± 184 kg MS ha⁻¹ en el testigo, alcanzando un máximo de 5,638 ± 1406 kg MS ha⁻¹ con 60 t ha⁻¹, con un incremento de casi diez veces. En el segundo año de estudio, la producción de forraje también se incrementó, siguiendo una tendencia cuadrática ($P \leq 0.01$) con 476 ± 171 kg ha⁻¹ hasta un máximo de 7,224 ± 672 kg ha⁻¹ en la dosis de 90 t de biosólidos. El incremento en producción de forraje fue de casi 15 veces con la aplicación de la máxima dosis de biosólidos.

Los incrementos en producción de forraje son superiores a los obtenidos por otros autores: en Nuevo México se encontraron incrementos de forraje del zacate navajita de 0.9 veces durante el año de aplicación de biosólidos en pastizales degradados⁽¹⁸⁾; en otro estudio en pastizales áridos de Texas se observaron incrementos hasta de 1.2 veces en producción de forraje del zacate toboso y 0.7 veces en zacatón alcalino con dosis de 18 hasta

Figura 2. Producción de forraje de zacate navajita con biosólidos. 2002 y 2003

Figure 2. Blue grama forage standing crop with different biosolids rates. 2002 & 2003



(Figure 2); with 572 ± 184 kg DM ha⁻¹ at the control up to a maximum of 5,638 ± 1406 kg DM ha⁻¹ at 60 t ha⁻¹, with an increase of almost ten times. In the second year, forage yield also increased following a quadratic trend ($P \leq 0.01$) with 476 ± 171 kg ha⁻¹ up to a maximum of 7,224 ± 672 kg ha⁻¹ at 90 t biosolids rate. The increase in forage yield was almost 15 times at the highest biosolids application rate.

Increases in forage yield are above those observed by other authors: In New Mexico, increases of blue grama forage yield at 0.9 times were observed the same year of biosolids application in degraded rangelands⁽¹⁸⁾; in another study, in arid rangelands of Texas increases of 1.2 times were observed in tobosagrass forage yield and of 0.7 times in alkali sacaton at 18 to 90 t ha⁻¹ anaerobic biosolids, surface-applied one time only⁽¹⁹⁾.

Linear increases up to 0.8 times have also been observed in tobosagrass yield in the first year at 14 to 68 t ha⁻¹ anaerobic biosolids with twice-a-year surface-applied biosolids⁽³²⁾. The higher forage yields observed in comparison to other studies are attributed to the double effect of higher rainfall in this study and the benefits of biosolids including high water infiltration and conservation, and delivering macro-nutrients such as N and P.

Blue grama CP significantly increased following a quadratic trend ($P \leq 0.01$) during the first year

90 t ha⁻¹ de biosólidos tipo anaeróbico y aplicados superficialmente una sola vez al año⁽¹⁹⁾.

También se han observado incrementos lineales de hasta 0.8 veces en la producción de forraje del zacate toboso durante el primer año con dosis de biosólidos de 14 a 68 t ha⁻¹ de biosólidos anaeróbicos aplicados superficialmente en aplicaciones divididas⁽³²⁾. Las mayores producciones de forraje encontrados en comparación con dichos estudios se atribuyen al efecto combinado de mayores precipitaciones recibidas en este estudio y a los beneficios de los biosólidos, que incluyen mayor captación y conservación de humedad, y aporte de macro-nutrientes como el N y P.

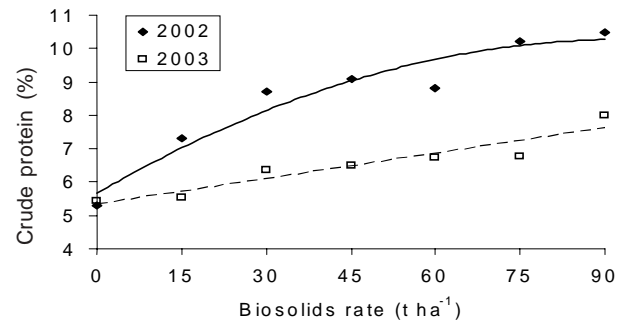
La PC del zacate navajita se incrementó significativamente, siguiendo una tendencia cuadrática ($P \leq 0.01$) durante el primer año (Figura 3). El tratamiento de 90 t presentó el mayor contenido de PC con 10.5 ± 0.3 %, vs el testigo con 5.3 ± 0.4 %. Durante 2003, la PC se incrementó linealmente ($P \leq 0.01$) fluctuando de 5.4 ± 0.2 % en el testigo a 8.0 ± 0.4 % en la dosis de 90 t.

También se han observado incrementos cuadráticos de PC en zacate toboso con biosólidos aplicados dos veces por año en dosis de 7 a 34 t ha⁻¹⁽³²⁾. La PC de varios zacates nativos como el navajita, navajita velluda (*Bouteloua hirsuta* Lag.), lobo (*Lycurus phleoides* H.B.K.) y tres barbas (*Aristida spp*) se incrementó hasta un 38 % con el tratamiento de quema y 120 kg N ha⁻¹ en un estudio de un pastizal mediano abierto cercano al área de estudio⁽⁶⁾.

La DISMS del zacate navajita se incrementó linealmente ($P \leq 0.01$) con la aplicación de biosólidos durante 2002 (Figura 4). La DISMS más alta de 44 ± 2 % se presentó en la dosis de 90 t, disminuyendo hasta 36 ± 3 % en el testigo. En el segundo año de estudio, la DISMS fue similar entre todos los tratamientos, con un promedio de 37 ± 3 %. No se encontraron resultados sobre los efectos de biosólidos en la digestibilidad de zacates nativos en la literatura consultada. Sin embargo, estudios de fertilización han encontrado que la adición de fertilizantes incrementa la digestibilidad del forraje de zacates nativos. Por ejemplo, la digestibilidad de zacates nativos aumentó ligeramente con el uso de

Figura 3. Contenido de proteína cruda del zacate navajita con diferentes dosis de biosólidos. 2002 y 2003

Figure 3. Blue grama crude protein content with different biosolids rates. 2002 & 2003

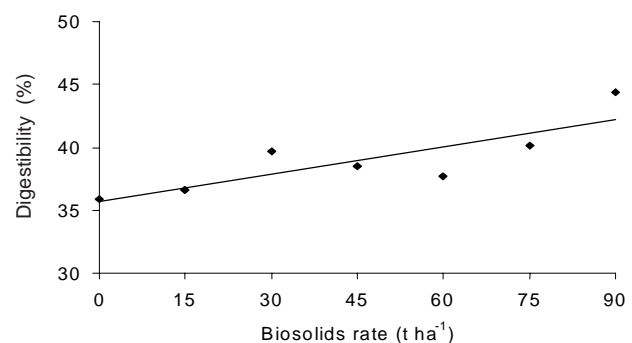


(Figure 3). The 90 t biosolids rate showed the highest CP content with 10.5 ± 0.3 % vs the control with 5.3 ± 0.4 %. During 2003, the CP linearly increased ($P \leq 0.01$) varying from 5.4 ± 0.2 % at the control rate to 8.0 ± 0.4 % at the 90 t.

Quadratic increases have also been observed in tobosagras CP, with biosolids twice-a-year-applied at 7 to 34 t ha⁻¹⁽³²⁾. Crude protein of several native grasses such as blue grama, hairy grama, wolftail grass (*Lycurus phleoides* H.B.K.) and three awns (*Aristida spp*) increased up to 38 % under fire plus application of 120 kg N ha⁻¹ in a shortgrass rangeland close to the study area⁽⁶⁾.

Figura 4. Digestibilidad "in situ" de la materia seca del zacate navajita con diferentes dosis de biosólidos. 2002

Figure 4. Blue grama "in situ" dry matter digestibility with different biosolids rates. 2002



quema y fertilización en dosis de 60 kg N ha⁻¹ en un pastizal mediano abierto⁽⁶⁾.

La producción y germinación de semilla de navajita se incrementaron en forma cuadrática ($P \leq 0.01$), con la aplicación de biosólidos. La producción de semilla fue muy baja en el testigo y en las dosis altas de biosólidos (75 y 90 t) (Figura 5). La más alta producción de semilla (269 ± 5 kg ha⁻¹) se obtuvo en la dosis de 45 t, disminuyendo hasta 8 ± 4 kg ha⁻¹ en el testigo. Un estudio realizado en Oklahoma reporta incrementos de producción de semilla de navajita con aplicación de 56 kg N ha⁻¹⁽⁷⁾, mientras que en Colorado, otro trabajo reporta una producción de semilla limpia de 5.6 kg ha⁻¹ en condiciones naturales⁽³⁴⁾.

En el caso de la germinación de semilla, el valor más bajo se obtuvo en el testigo con 8 ± 5 %, hasta un máximo de 28 ± 6 en la dosis de 60 t (Figura 6). Se ha reportado que en pastizales de Kansas y Nebraska la semilla colectada de zacate navajita mostró porcentajes de germinación de hasta 31 %⁽³⁵⁾. En cuanto a la calidad de semilla, se ha observado que los nitratos y nitritos son efectivos en disminuir la latencia y promover la germinación en semillas sensibles a la luz. Sin embargo, sus efectos están influenciados por varios factores como son el potasio, sodio y nitratos de amonio, bajo temperaturas alternas⁽²⁵⁾. El incremento en cantidad y calidad

The ISDMD linearly increased ($P \leq 0.01$) with biosolids application in 2002 (Figure 4). The highest ISDMS 44 ± 2 % was observed at 90 t, decreasing down to 36 ± 3 % in the control. In the second year, ISDMD was similar among all treatments, with a mean of 37 ± 3 %. No studies were found on the effects of biosolids on digestibility of native grasses in the literature. However, fertilization studies have shown that fertilizers increase forage digestibility of native grasses. For example, native grasses digestibility lightly increased with fire and fertilization at 60 kg N ha⁻¹ in a shortgrass rangeland⁽⁶⁾.

Seed yield and germination increased in a quadratic model under biosolids application ($P \leq 0.01$). Seed yield was low in the control rate and high biosolids rates (75 and 90 t) (Figure 5). The highest seed yield (269 ± 5 kg ha⁻¹) was observed at the 45 t rate, decreasing to 8 ± 4 kg ha⁻¹ in the control rate. A study in Oklahoma showed increases of blue grama seed yield with application of 56 kg N ha⁻¹⁽⁷⁾, while in Colorado, another study showed clean seed yield of 5.6 kg ha⁻¹ in natural conditions⁽³⁴⁾.

About seed germination, the lowest result was observed at the control rate, with 8 ± 5 %, up to a maximum of 28 ± 6 at the 60 t (Figure 6). It has been reported that blue grama seed collected at Kansas and Nebraska rangelands showed germination percentages up to 31 %⁽³⁵⁾. In regard

Figura 5. Producción de semilla del zacate navajita con diferentes dosis de biosólidos. 2002

Figure 5. Blue grama seed yield with different biosolids rates. 2002

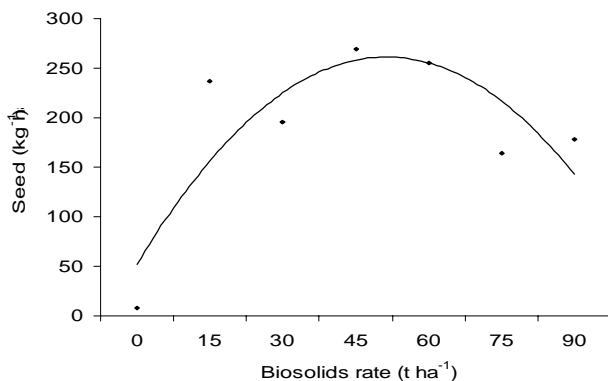
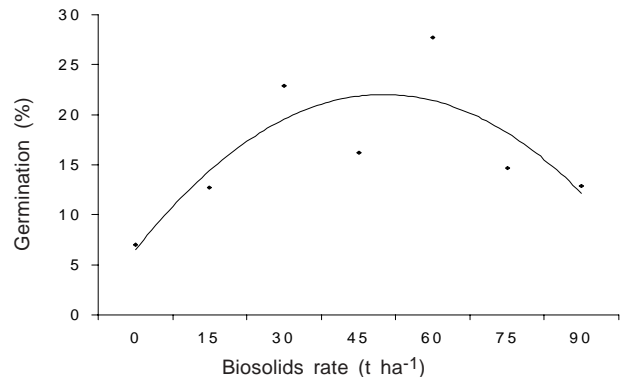


Figura 6. Germinación de semilla del zacate navajita con diferentes dosis de biosólidos. 2002

Figure 6. Blue grama seed germination with different biosolids rates. 2002



de semilla con biosólidos en dosis intermedias, permitiría un aumento en la capacidad de recuperación de los agostaderos en condiciones de precipitación normal o mayor, ya que esta especie se reproduce principalmente por semilla⁽²⁾.

Los resultados favorables sobre el forraje y semilla del zacate navajita observados en este estudio se pueden atribuir a la precipitación pluvial por arriba del promedio en los años de estudio y al mejoramiento de las condiciones de crecimiento de las plantas con los biosólidos. Dichas condiciones incluyen una mayor disponibilidad de humedad en el suelo^(36,37,38), aumento de la fertilidad del suelo^(18,39) e incremento de la actividad fotosintética con la aplicación de biosólidos⁽⁴⁰⁾. Los resultados de este trabajo muestran un efecto residual de los biosólidos sobre la productividad y calidad de forraje del zacate navajita en el segundo año de estudio en condiciones semiáridas.

A pesar de lo anterior, existen límites de la respuesta biológica del zacate navajita a las dosis de biosólidos, observándose que las dosis altas no necesariamente significan mayor producción y calidad del forraje. En términos prácticos, las dosis intermedias de biosólidos producen mayor cantidad de forraje, presentando una mayor eficiencia en el uso de agua.

La producción de forraje obtenida en el testigo (572 kg MS ha año⁻¹) en el primer año, indica una capacidad de carga animal de 0.07 UA ha⁻¹ año⁻¹ con un 40 % de utilización del forraje disponible y un consumo de forraje de 3,285 kg UA⁻¹ año⁻¹⁽⁴¹⁾. Comparativamente, con la mayor producción de forraje (5,638 kg MS ha⁻¹ año⁻¹) obtenida en el tratamiento de 60 t ha⁻¹ de biosólidos, se tendría una capacidad de carga de 0.68 UA ha⁻¹ año⁻¹. Con los valores del segundo año se obtendría una mayor capacidad de carga animal en la dosis de 90 ha⁻¹ debido a la mayor producción de forraje con los biosólidos. Este aumento en la capacidad de carga animal sería de gran impacto para la ganadería extensiva en zonas áridas y semiáridas que actualmente presenta una baja producción de carne y una baja rentabilidad^(42,43,44).

En relación a la calidad del forraje de navajita, el testigo en el estado de madurez (noviembre en los dos años de estudio), no cumple los requerimientos

to seed quality, it has been observed that nitrates and nitrites are effective on breaking dormancy and promoting seed germination on light-sensible seeds. However, their effects are influenced by several factors such as potassium, sodium, and ammonium nitrates under alternating temperatures⁽²⁵⁾. The increase in seed quantity and quality under moderate biosolids rates would allow an increase in the recovery capacity of rangelands under normal or above normal precipitation conditions, since this species reproduces primarily by seed⁽²⁾.

Favorable results in blue grama forage and seed observed in this study, could be attributed to the above normal rainfall conditions during the two years of the study, and to the improving of plant growth factors with biosolids. Those growth factors include higher soil water availability^(36,37,38), soil fertility^(18,39), and increasing photosynthetic rates with biosolids application⁽⁴⁰⁾. Results of this study, show a residual effect of biosolids on blue grama forage yield and quality over the second year of the study in a semiarid environment.

However, there are limits about the biological response of blue grama to biosolids rate, showing that high rates do not necessarily mean high forage yield and quality. In practical terms, moderate biosolids rates show higher forage quantity, showing high water use efficiency for forage yield.

Blue grama forage yield at the control rate (572 kg DM ha⁻¹ yr⁻¹) in the first year, indicates an animal carrying capacity of 0.07 AU ha⁻¹ year⁻¹ with a 40 % forage utilization and forage intake at 3,285 kg AU⁻¹ yr⁻¹⁽⁴¹⁾. Comparatively, the highest forage yield (5,638 kg DM ha⁻¹ yr⁻¹) observed at the 60 t ha⁻¹, would give an animal carry capacity of 0.68 AU ha⁻¹ yr⁻¹. Data for the second year would mean a higher animal carrying capacity at the 90 t ha⁻¹ because of higher forage yield with biosolids. This increase in the carrying capacity would be a great impact for extensively managed ranches in arid and semiarid regions since they currently show low cattle production and low profitability^(42,43,44).

About blue grama forage quality, the control rate at maturity stage (November in both years of study) does not meet nutritional requirements not even for

ni siquiera para vacas en gestación que son de 6 a 8 % PC y 40 a 45 % de digestibilidad⁽⁴¹⁾. Por el contrario, los tratamientos de 15 o más t ha⁻¹ sí cubren los requerimientos de PC, lo que representaría un ahorro en la suplementación proteica del ganado, ya que en esta época empiezan las deficiencias de nutrientes en los zacates, y en consecuencia las deficiencias nutricionales para los animales en pastoreo.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

La aplicación superficial de biosólidos incrementó la producción de forraje y la proteína cruda del zacate navajita durante los dos años de estudio, con efectos residuales en el segundo año. La digestibilidad del zacate navajita se incrementa con la aplicación de biosólidos sólo durante el primer año. La producción y germinación de la semilla se incrementa en las dosis intermedias con la aplicación de biosólidos durante el primer año. Con base en dichos resultados, los biosólidos podrían ser una alternativa para la rehabilitación de pastizales medianos en zonas semiáridas, sobre todo en dosis de 15 a 60 t MS ha⁻¹. Con la aplicación de biosólidos es posible incrementar la capacidad de carga animal y proporcionar al ganado un forraje de mayor calidad en la época de madurez del forraje en pastizales semiáridos, contribuyendo a lograr una mayor producción de carne para incrementar la rentabilidad de los ranchos ganaderos.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT, por el apoyo financiero recibido para la realización del proyecto de investigación I37450-B. Al personal de la Planta Municipal de Tratamiento de Aguas Residuales de la Cd. De Aguascalientes, Ags., por los biosólidos proporcionados. A Ramón Bravo Villanueva e Isidro García, profesores de la Dirección General de Telesecundarias de la Secretaría de Educación Pública por su ayuda en el trabajo de campo.

LITERATURA CITADA

1. Aguado SGA, Fierro LC, Negrete LF. Respuesta de la vegetación a la exclusión del ganado en tres pastizales de los

dry cows at 6 to 8 % CP and 40 to 45 % forage digestibility⁽⁴¹⁾. Conversely, treatments at 15 or more t ha⁻¹ do meet the CP requirements, which represent savings on CP supplementation for cattle, since nutrient deficiencies of grasses begin at this phenological stage and consequently nutritional deficiencies for grazing animals.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

Topical application of biosolids increased blue grama forage yield and CP for two years of study with residual effects over the second year. Blue grama digestibility increases with biosolids application only the first year. Seed yield and germination increases only at moderate biosolids rates the first year. Based on the results, biosolids application might be an alternative for rehabilitation of shortgrass rangelands in semiarid regions, especially at 15 to 60 t DM ha⁻¹. Applying biosolids makes possible an increase in animal carrying capacity, offering a better forage quality at the maturity stage of grasses in semiarid rangelands, contributing to achieve higher cattle production to increase cattle ranch profitability.

ACKNOWLEDGEMENTS

To CONACYT, for the financial support to the research project I37450-B. To the staff at the Water Treatment Plant of Aguascalientes, Ags., for the biosolids supplied. To Mr. Ramón Bravo Villanueva and Mr. Isidro García, teachers at the High School General Office of the Secretary for Education for their help in the field work.

End of english version

-
- Llanos de Ojuelos. Revista Manejo de Pastizales Sociedad Mexicana de Manejo de Pastizales 1988;1(1):11-15.
 2. Jurado GP, Negrete RLF, Chávez RMG. Efecto del fuego sobre el control de escobilla (*Haplopappus venetus*) y la productividad de un pastizal en Jalisco. Revista Manejo de Pastizales Sociedad Mexicana de Manejo de Pastizales 1990;3:33-36.
 3. Jurado GP, Giner CRA. Contenido y fluctuación de nutrientes de algunas gramíneas nativas de los pastizales del Altiplano Central.

- Revista Manejo de Pastizales Sociedad Mexicana de Manejo de Pastizales 1988;1:7-10.
4. Stubbendieck J, Hatch SL, Butterfield CH. North american range plants, 4th ed. Lincoln, Nebraska, USA. University of Nebraska Press; 1993.
 5. Arredondo JT. Efecto de la fertilización de nitrógeno y fósforo en un pastizal mediano abierto en el norte de Jalisco. *Téc Pecu Méx* 1984;47:49-59.
 6. Jurado GP, Negrete RLF. Respuesta de un pastizal mediano abierto a la aplicación combinada de quema y fertilización. *Revista Manejo de Pastizales Sociedad Mexicana de Manejo de Pastizales* 1990;4(1):27-31.
 7. Kneebone WR. Blue grama seed production studies. *J Range Manage* 1957;10:17-21.
 8. Vallentine JF. Range development and improvements, 3rd. ed. San Diego, California, USA: Academic Press Inc.; 1989.
 9. 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.
 10. Figueroa VU, Flores OMA, Palomo RM. Uso de biosólidos en suelos agrícolas. Folleto técnico No. 3. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC-Campo Exp. Valle de Juárez. 2002.
 11. 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.
 12. U.S. Environmental Protection Agency. Biosolids generation, use, and disposal in the United States. Office of Solid Waste. EPA-530-R-99-009. 1999.
 13. 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.
 14. Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD, Havlin JL. Soil fertility and fertilizers. 5th 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. Publ. B-1637. College, Station, TX. The Texas A&M Univ. System; 1992:1-13.
 17. Van Den Berg JJ. Effects of sewage sludge disposal. *J Land Degradation Rehab* 1993;4:407-413.
 18. 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.
 19. Benton MW, Wester DB. Biosolids effects on tobosagrass and alkali sacaton in a Chihuahuan desert grassland. *J Environ Qual* 1998;27:199-208.
 20. Jurado GP, Luna LM, Barretero HR. Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos en pastizales áridos y semiáridos: Revisión bibliográfica. *Téc Pecu Méx* 2004;42(3):379-395.
 21. Medina GG, Ruiz CJA, Martínez PRA. Los climas de México. Una estratificación ambiental basada en el componente climático. Libro Técnico Num. 1. Centro de Investigación Regional Pacifico Centro. INIFAP-SAGAR. Guadalajara, Jalisco. México. 1998.
 22. CETENAL. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. Carta de Climas 14-Q-III Querétaro. UNAM-Instituto de Geografía-Secretaría de la Presidencia. México. 1970.
 23. CETENAL. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. Carta Geológica y Edafológica F14-C12. Ojuelos. UNAM-Instituto de Geografía-Secretaría de la Presidencia. México. 1976.
 24. COTECOCA. Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero. Coeficientes de agostadero de la Republica Mexicana. Estado de Jalisco. Tomo II. SARH-Subsecretaría de Ganadería. México. 1979.
 25. Baskin CC, Baskin JM. Seeds: Ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination. San Diego, California, USA: Academic Press Inc.; 1998.
 26. Tejada de Hdez. I. Control de calidad y análisis de alimentos para animales. Sistema de Educación Continua en Producción Animal. México, DF; 1992.
 27. AOAC. Official Methods of Analysis. 15th ed. Arlington, VA. USA: Association of Official Analytical Chemists. 1990.
 28. Kirk RE. Experimental design: Procedures for the behavioral sciences. 2nd. Ed. Belmont, California, USA: Brooks/Cole Publishing Co; 1982.
 29. Shapiro SS, Wilk MB. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 1965;52:591-611.
 30. Levene H. Robust tests for equality of variance. In: Olkin I editor. Contributions to probability and statistics. Palo Alto, California, USA: Stanford Univ Press; 1960.
 31. SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). Normas Oficiales Vigentes. 2003 [en línea]. <http://www.semarnat.gob.mx>. Consultado 17 ene, 2005.
 32. Jurado P, Wester BD. Effects of biosolids on tobosagrass growth in the Chihuahuan desert. *J Range Manage* 2001;54:89-95.
 33. Jurado-Guerra P. Effects of different seasons of biosolids application on tobosagrass growth [master thesis]. Lubbock, Texas, USA. Texas Tech Univer; 1996.
 34. McGuinnies WJ. Chemically thinning blue grama range for increased forage and seed production. *J Range Manage* 1984;37:412-415.
 35. Forest Service. Management Considerations. Species: *Bouteloua gracilis* [on line]. <http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/graminoid/bougra/all.html>. Accessed Mar 10, 2006.
 36. Rostagno CM, Sosebee RE. Surface application of biosolids in the Chihuahuan desert: Effects on soil physical properties. *Arid Land Research Manage* 2001;15:233-244.
 37. Hahm MJ, Wester BD. Effects of surface-applied biosolids on grass seedling emergence in the Chihuahuan Desert. *J Arid Environ* 2004;58:19-42.
 38. Moffet CA, Zartman RE, Wester DB, Sosebee RE. Surface biosolids application: Effects on infiltración, erosion, and soil organic carbon in Chihuahuan Desert grasslands and shrublands. *J Environ Qual* 2005;34:299-311.
 39. Jurado-Guerra P, Wester DB, Fish EB. Soil nitrate nitrogen dynamics after biosolids application in a tobosagrass desert grassland. *J Environ Qual* 2006;35:641-650.
 40. Mata-Gonzalez R, Sosebee RE, Wan C. Physiological impacts of biosolids application in desert grasses. *Environ Exper Botany* 2002;48:139-148.
 41. Holechek JL, Pieper RD, Herbel CH. Range management. Principles and practices. Englewood Cliffs, New Jersey, USA. Regents/Prentice Hall; 1989.
 42. Vázquez GR, Reyes LJG, Flores MAB, Barreras VA. Análisis de costos de producción de ganado bovino en ranchos del estado de Chihuahua. Publicación especial No. 3. INIFAP-SAGAR/UGRCH. 1997.
 43. Reyes LJG. Situación de la ganadería en el estado de Chihuahua (1990-1998). Publicación especial No. 5. INIFAP-SAGAR. 1998.
 44. Báez GAD, Reyes LG, Melgoza CA, Royo MM, Carrillo RR. Características productivas del sistema vaca-cría en el estado de Chihuahua. *Tec Pecu Mex* 1999;37:11-24.