

Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz*

Impact of cow manure in soil and corn forage production

Héctor Idilio Trejo-Escareño^{1§}, Enrique Salazar-Sosa^{1†}, José Dimas López-Martínez¹ y Cirilo Vázquez-Vázquez¹

¹Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia, División de Estudios de Postgrado. Alejandría 470, Torreón Residencial, C. P. 27250, Torreón, Coahuila, México. A. P. 142. C. P. 35000. Gómez Palacio, Durango, México, México. Tel (871) 2627246, (618) 1342486, (872) 1092467. (jose_dimaslopez@hotmail.com), (cirvaz60@hotmail.com). [§]Autor responsable: idilio72@yahoo.com.mx. [†]Autor de correspondencia: fazujed@yahoo.com.mx.

Resumen

La demanda de forrajes en la Comarca Lagunera ha obligado a que el maíz sea permanente en el padrón de cultivos, para sostener la producción de forraje es necesario manejar adecuadamente el suelo. El objetivo de este estudio fue determinar el impacto de la aplicación de estiércol bovino en el pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), nitratos (NO₃) y amonio (NH₄) de un suelo arcilloso y su efecto en la producción de forraje de maíz. El trabajo se realizó en la Facultad de Agricultura y Zootecnia-UJED, en 1998 a 2007. Los tratamientos de estudio fueron 40, 80, 120 y 160 Mg ha⁻¹ de estiércol bovino lechero, testigo absoluto y tratamiento químico 100-150 (kg ha⁻¹; N-P), bajo un diseño bloques al azar, tres repeticiones. La variable medida en planta fue forraje verde. Los tratamientos de 160 y 120 Mg ha⁻¹ de estiércol incrementaron 189 y 180% la MO del suelo, (4 y 3.8%). Para nitratos, los mejores tratamientos fueron 120 y 160 Mg ha⁻¹ de estiércol, con valores finales de 22.25 y 21.33 mg kg⁻¹. La CE se incrementó arriba de 4 dSm⁻¹ en cinco años en los tratamientos de estiércol; no aplicando estiércol en el sexto año bajaron estos valores hasta niveles normales para el desarrollo y producción de maíz con rendimientos arriba de la media regional (45 Mg ha⁻¹) en los tratamientos de estiércol. La aplicación del estiércol con monitoreo regular del suelo es una buena alternativa para el productor lechero, manteniendo buenos rendimientos de forraje y calidad del suelo.

Abstract

The demand for forage in the region known as Comarca Lagunera, has forced the growth of corn to become permanent in the crop pattern. Adequate soil management is necessary to sustain the production of forage crops. The objective of this study was to determine how the use of cow manure affected the pH, electric conductivity (EC), organic matter (OM), nitrates (NO₃), and ammonium (NH₄) of clayey soil, as well as its effect on the production of corn forage. The site of the research was the Faculty of Agriculture and Zootechnics-UJED, from 1998 through 2007. The treatments used for the study where dairy cow manure 40, 80, 120 and 160 MG ha⁻¹, absolute control plot, and chemical treatment 100-150 (kg ha⁻¹; N-P), using a random block design with three repeat doses. The measured variable in the plant was green forage crop. Treatment with manure, at 160 and 120 Mg ha⁻¹, increased OM contents in the soil (4 and 3.8%). Regarding nitrates, the best treatments were 120 and 160 Mg ha⁻¹ manure, with baseline values being 22.25 and 21.33 mg kg⁻¹. EC increased above 4 dSm⁻¹ within five years of manure treatment. Not applying manure during the sixth year caused the values to reduce to normal values for the development and production of corn, with yields above the regional mean (45 Mg ha⁻¹) in relation to manure treatments. Applying manure with continuous soil monitoring is a good choice for the dairy producer to maintain positive forage yield, and soil quality.

* Recibido: junio de 2012
Aceptado: enero de 2013

Palabras clave: conductividad eléctrica, forraje verde, materia orgánica, nitratos.

Introducción

El suelo no sólo es el sostén de las plantas, sino que es la fuente de nutrición de las mismas ya que es ahí donde se llevan a cabo las transformaciones de los elementos nutritivos a través de la biodegradación y mineralización de la materia orgánica. El nitrógeno (N) es uno de los elementos más importantes en la nutrición de las plantas, no sólo por su función dentro de ellas y la cantidad demandada, sino por su costo económico, ya que a pesar de su abundancia en la naturaleza las plantas lo absorben y aprovechan mayormente en forma de nitratos y amonio (Salisbury and Ross, 1994; Gallegos-Vázquez *et al.*, 2000).

Sin embargo, Henry y Boyd, (1988), Ortega y Mardonez (2005) señalan que la descomposición es inhibida en medios fuertemente ácidos. Tisdale *et al.* (1999) indican que la nitrificación depende, entre otros factores, del pH, disponibilidad del N-NH₄, humedad, temperatura, relación C:N, oxígeno y adecuada población microbiana en el suelo, la materia orgánica (MO) juega un papel protagónico en la mineralización y otros procesos biológicos. Ortega y Mardonez (2005), mencionan que la mineralización es llevada a cabo mejor bajo condiciones de conductividad eléctrica (CE) no mayor a 4 dS m⁻¹.

El mejorar y conservar las condiciones físicas, químicas y biológicas de un suelo constituye la base de su productividad agrícola, la cual depende en gran parte de la presencia o no de MO. La descomposición de la MO del suelo consiste en un proceso de digestión enzimática por parte de los microorganismos y de ésta MO se desprenden los nutrientes fácilmente asimilables por los cultivos (Martínez *et al.*, 2008).

Existen en la Comarca Lagunera cerca de 500 000 cabezas de ganado vacuno de las cuales 280 000 están en línea de ordeña con una producción de leche cerca a los seis millones de litros diarios (SAGARPA, 2011). En esta región se producen cerca de 1 200 000 de Mg de estiércol bovino anualmente (Salazar *et al.*, 2007) lo cual permite plantear la posibilidad de su utilización en la agricultura, de ahí la importancia de utilizar este deshecho de la ganadería en la producción agrícola sería para; reducir la utilización de productos químicos y así abatir costos de producción e índices de contaminación.

Key words: electric conductivity, green forage, organic matter, nitrates.

Introduction

Soil is not only the support of plant life, but also their source of nutrients, because it's there where the nutritious elements transform by means of biodegradation and mineralization of organic matter. Nitrogen (N) is one of the main elements for the nutrition of plants, not only because of how it works within them, and the amounts needed by plants, but also due to its economic cost. Although it is naturally abundant, plants absorb and use it mostly in the form of nitrates and ammonium (Salisbury and Ross, 1994; Gallegos-Vázquez *et al.*, 2000).

Nevertheless, Henry and Boyd (1988), as well as Ortega and Mardonez (2005) point out the decomposition is inhibited in strongly acidic media. Tisdale *et al.* (1999) state that nitrification depends, among others, on pH, N-NH₄ availability, moisture, temperature, C:N ratio, oxygen, and an appropriate microbial population of the soil. Organic matter (OM) has an important role in mineralization and other biological processes. Ortega and Mardonez (2005) mention that mineralization is better carried out under electric conductivity (EC) within 4 dSm⁻¹.

Improving and sustaining the physical, chemical and biological conditions of soil is the base of its agricultural productivity, which depends greatly on the presence or absence of OM. The decomposition of soil OM is an enzymatic digestion process undertaken by microorganisms. The readily available nutrients crops absorb come from this OM (Martínez *et al.*, 2008).

There are nearly 500 000 head of cattle cows, of which 280 000 are used for milking, with a milk production of nearly six million liters per day (SAGARPA, 2011). About 1 200 000 Mg of cow manure are produced in this region every year (Salazar *et al.*, 2007), which allows the consideration of its use in agriculture, considering the importance of using this byproduct of livestock industry for professional agricultural use, in order to reduce the use of chemical products, and beating production cost, as well as pollution.

Considering all this, an improvement would also be seen in soil, which is essential for the nutrition of plant life, thus we must know its physical characteristics, is nutritious

En base a lo anterior se aumenta también la calidad del suelo, y este es indispensable para la nutrición vegetal, por lo que se deben de conocer sus características físicas, su contenido de nutrientes, su conductividad eléctrica y su capacidad de intercambio catiónico, ya que estos factores están relacionados con la capacidad del suelo para proveer a las plantas las condiciones necesarias para obtener los nutrientes que requieren para crecer y producir (Martínez *et al.*, 2008). Estudios realizados por Castellanos (1986) indican que el contenido de MO promedio de los suelos es 1.2%, lo cual se considera bajo, por lo que hace necesario incrementar este contenido mediante la adición de abonos orgánicos.

Tisdale y Nelson (1991), Guerrero (2000) y Fuentes (2000) reportan que los abonos orgánicos no solo mejoran las condiciones de acidez de los sustratos, sino que aportan una cantidad importante de nutrimentos y una reducción en los costos de producción de los lecheros. El objetivo de este estudio fue conocer el impacto de la aplicación de estiércol bovino en el pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), nitratos (NO_3) y amonio (NH_4) de un suelo arcilloso y su efecto en la producción de forraje de maíz en 10 años de estudio.

Material y métodos

El estudio se realizó de 1998 a 2007 en el campo agrícola experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia localizado en el ejido Venecia, Municipio de Gómez Palacio, Durango, con una altitud de 1 139 m. Según la clasificación de Köppen modificado por García (1981) el clima es seco desértico o estepario cálido con lluvias en el verano e inviernos frescos. La precipitación pluvial es de 258 mm y la temperatura media anual es de 22.1 °C, con rangos de 38.5 °C como media máxima y 16.1 °C como media mínima.

La evaporación anual media aproximadamente es de 2 396 mm. La presencia de las heladas ocurren de noviembre a marzo y raras veces en octubre y abril; mientras que la presencia de granizo ocurre entre mayo y junio. Los suelos nativos son de aluvión, tipo aridosol, con un contenido pobre de materia orgánica (0.9%). El tipo de suelo en el que se trabajó es arcilloso; las características del estiércol que se utilizó fueron: pH de 7.6, CE de 0.63 dS m^{-1} , MO de 5.47%, N total de 1.12%, amonio (NH_4) de 0.1135%, P de 0.3535%, calcio (Ca) de 3.38%, magnesio (Mg) de 0.71%, K de 3.27%, sodio (Na) de 0.97 ppm, molibdeno (Mo) de

contenidos, su conductividad eléctrica, y su capacidad de intercambio catiónico, porque estos hechos están relacionados con la capacidad que el suelo tiene para proporcionar a las plantas las condiciones necesarias para que crezcan y produzcan (Martínez *et al.*, 2008). Estudios de Castellanos (1986) indican que el contenido promedio de MO en el suelo es 1.2%, lo que se considera bajo, por lo que es necesario aumentar el contenido mediante la adición de fertilizantes orgánicos.

Tisdale y Nelson (1991), Guerrero (2000), y Fuentes (2000) reportan que los fertilizantes orgánicos no solo mejoran las condiciones de acidez de los sustratos, sino que aportan una cantidad importante de nutrientes y reducen los costos de producción para los productores de leche. El objetivo de este estudio fue conocer el impacto del estiércol de vaca en el pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), nitratos (NO_3), y amonio (NH_4) de un suelo arcilloso, así como su efecto en la producción de forraje de maíz durante un periodo de 10 años.

Material y métodos

El estudio se realizó de 1998 a 2007 en los campos agrícolas experimentales propiedad de la Facultad de Agricultura y Zootecnia, ubicada en Venecia, Municipio de Gómez Palacio, estado de Durango, con una altitud de 1 139 m. Según la clasificación de Köppen modificado por García (1981), el clima es desierto seco o estepa cálida con lluvias en el verano e inviernos frescos. La precipitación pluvial es de 258 mm, y la temperatura media anual es de 22.1 °C, con rangos de 38.5 °C como media máxima y 16.1 °C como media mínima.

La evaporación anual media es de aproximadamente 2 396 mm. Las heladas ocurren entre noviembre y marzo, y raras veces en octubre y abril; mientras que el granizo ocurre entre mayo y junio. Los suelos nativos son de aluvión, tipo aridosol, con un contenido bajo de materia orgánica (0.9%). El tipo de suelo en el que se trabajó es arcilloso; las características del estiércol que se utilizó fueron: pH de 7.6, CE de 0.63 dS m^{-1} , MO de 5.47%, N total de 1.12%, amonio (NH_4) de 0.1135%, P de 0.3535%, calcio (Ca) de 3.38%, magnesio (Mg) de 0.71%, K de 3.27%, sodio (Na) de 0.97 ppm, molibdeno (Mo) de 560 ppm, hierro (Fe) de 12 300 ppm, zinc (Zn) de 45 ppm, cobre (Cu) de 410 ppm, boro (Bo) de 198 ppm; el estiércol contenía 8% de humedad cuando se aplicó.

El tratamiento consistió en la aplicación de estiércol de vaca (40, 80, 120 y 160 Mg ha^{-1}), fertilizante químico 100-150 (N-P: kg ha^{-1}), y un control absoluto sin fertilizante ni estiércol.

560 ppm, hierro (Fe) de 12 300 ppm, zinc (Zn) de 198 ppm, cobre (Cu) de 45 ppm, y boro (Bo) de 410 ppm, el estiércol tenía 8% de humedad al momento de aplicarlo.

Los tratamientos fueron dosis de estiércol bovino (40, 80, 120 y 160 Mg ha⁻¹), fertilizante químico 100-150 (N-P: kg ha⁻¹) y un testigo absoluto sin fertilizante ni estiércol. Estos tratamientos se eligieron para poder explorar la mayoría de las dosis utilizadas en la región, desde cero hasta 160 Mg ha⁻¹ de estiércol bovino que aplican los productores, dosis bajas los de establos pequeños y dosis altas los de establos grandes con hatos de más de 1 000 vacas en producción.

La distribución de los tratamientos en campo se realizó bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones (Martínez, 1996). Los datos se analizaron con el programa estadístico SAS (SAS Institute, 1996) a una probabilidad estadística de 0.05. Para el análisis estadístico del experimento se utilizó análisis de varianza y la prueba de separación de medias DMS.

El estiércol por tratamiento se aplicó en los meses de febrero y marzo de los años 1998 a 2003 y 2005 a 2007 con un descanso en 2004 porque la CE del suelo se incrementó hasta 8 dSm⁻¹.

Los parámetros evaluados fueron pH (en extracto de saturación) con potenciómetro, CE (en extracto de saturación) con conductímetro, MO con el método de Walkley y Black (Page *et al.*, 1982), nitratos (NO₃) con colorímetro, método Kjendahl (Page *et al.*, 1982) y amonio (NH₄) método de destilación (Page *et al.*, 1982). El suelo se muestreo con barrena de caja a una profundidad de 20 cm, al final de cada ciclo de cultivo. El cultivo fue maíz forrajero variedad San Lorenzo.

Resultados y discusión

Materia Orgánica

El suelo del sitio experimental donde se trabajó durante los años de estudio, tenía inicialmente un contenido de MO de 1.1% el cual prevaleció en el tratamiento de cero aplicación (testigo), no así, en el resto de los tratamientos, en donde ya en el final del primer año de estudio se aprecia un incremento de MO, con valores de 2.1% en los tratamientos de 40, 80, 120 y 160 Mg ha⁻¹ de estiércol. Éstos mismos tratamientos mostraron un incremento evidente en el suelo en el año 2003, con valores de 3.9 hasta 4.9%.

The treatments were chosen to explore most of the used doses within the region, from zero up to 160 Mg ha⁻¹ cow manure applied by the producers, the small doses applied by small stables, and higher doses used by larger stables, with herds of over 1 000 cow for production.

The treatments were distributed on the field under a random blocks design with three repeat doses (Martínez, 1996). The data was analyzed using SAS (SAS Institute, 1996) statistics software, with a statistical probability of 0.05. Variance analysis and MSD mean separation test were used for the statistical analysis of the experiment.

The treatment manure was applied between February and March, from 1998 through 2003, and from 2005 through 2007, with a resting period during 2004, due to the soil EC increased to 8 dSm⁻¹.

The parameters evaluated included pH (in saturation extract) with potentiometer, EC (in saturation extract) with conductivity meter, OM by Walkley and Black's method (Page *et al.*, 1982), nitrates (NO₃) by colorimeter, Kjendahl's method (Page *et al.*, 1982), and ammonium (NH₄) by distillation method (Page *et al.*, 1982). The soil was sampled using a soil sampling drill up to 20 cm deep, by the end of each growth cycle. The product grown was forage corn, San Lorenzo variety.

Results and discussion

Organic matter

The soil in the experimental site used during the study years had a baseline OM content of 1.1%, which prevailed during the zero dose treatment (control). This was different with the rest of the treatments, in which by the end of the first study year, an OM increase was evident with values of 2.1 for the 40, 80, 120 and 160 Mg ha⁻¹ manure treatments. Said treatments showed an evident increase in the soil in 2003, with values ranging from 3.9 to 4.9%.

Due to the EC raising up to 7.8 dS m⁻¹ by the end of 2003, during 2004 no manure was applied. Nevertheless, in 2005 a decrease to 1.3% OM was observed, because of the lack of manure during 2004. From 2005 on the application of manure was resumed, and by 2007 OM levels in the 40, 80, 120 and 160 Mg ha⁻¹ manure treated soil reached 2.39, 2.98, 3.4, and 2.08%, respectively.

En 2004 no se aplicó estiércol, debido a que al final del año anterior la CE estaba en 7.8 dS m^{-1} ; pero fue en 2005 donde se reflejó la disminución 1.3% en la MO debido a que en 2004 no se aplicó estiércol; a partir de 2005 se volvió a aplicar estiércol y en el 2007 los niveles de MO en los suelos de los tratamientos de 40, 80, 120 y 160 Mg ha^{-1} de estiércol estaban en 2.39, 2.98, 3.4 y 3.08%, respectivamente.

En 1998 y 1999 los tratamientos de estiércol no muestran diferencia estadística en MO, pero fueron diferentes con el control (cero aplicación) y con el tratamiento químico; los años siguientes se encontró diferencia estadística en los tratamientos excepto en las dos más altas dosis (120 y 160 Mg ha^{-1} de estiércol) que no mostraron diferencia estadística, de acuerdo a la prueba de medias DMS. Los valores medios por tratamiento se muestran en la (Figura 1).

Los valores más altos de MO se presentaron en los tratamientos de 120 y 160 Mg ha^{-1} de estiércol en los años 2001, 2002 y 2004 con valores porcentuales de 5.1 y 5.7 respectivamente. Similares resultados encontraron Salazar *et al.* (2003). Los resultados indican incrementos de 2.5 puntos porcentuales de MO en cinco años de aplicación, lo cual es alto comparado con lo reportado por Hirzel *et al.* (2004) quien obtuvo incrementos de 0.5 puntos en dos años usando cama de pollos de engorda (viruta + pollinaza), con 1.2% de N. La adición al suelo de estiércol bovino incrementa la MO 1% en dos años de aplicación (Salazar-Sosa *et al.*, 2004).

La adición de estiércol mejoró las características químicas del suelo, como lo reporta García-Cruz *et al.* (2008) y Ochoa *et al.* (2008), quienes concluyeron que la aplicación directa de residuos sólidos orgánicos es una opción para la recuperación de suelos de baja fertilidad. Salazar *et al.* (2003 y 2007) encontraron que la aplicación continua, de cuatro a seis años, al suelo de estiércol en dosis que varían de 40 a 160 Mg ha^{-1} incrementa la MO hasta alcanzar 5%.

En este experimento cabe destacar que en los mismos años y tratamientos también se incrementó la CE en los suelos hasta 8 dSm^{-1} , lo cual es perjudicial para el desarrollo de los cultivos, por lo que se debe tener un manejo cuidadoso del estiércol monitoreando el suelo al menos cada año.

Nitratos

Se dio mayor seguimiento a los nitratos ya que es el mayor producto nitrogenado de la mineralización en primavera-verano que la planta aprovecha y debido a su característica

For 1998 and 1999, manure treatments show no statistical difference in OM, but they were different to control (zero dose), and to the chemical treatment. The following years a statistical difference was observed in the treatments, except for the two higher doses (120 and 160 Mg ha^{-1} manure), which didn't show a statistical difference, according to the MSD mean test. The mean values per treatment are shown in (Figure 1).

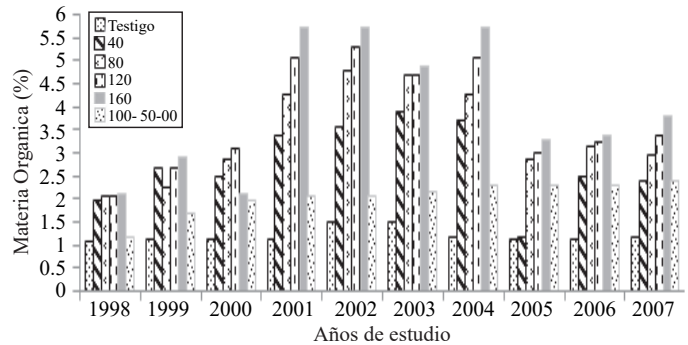


Figura 1. Cambios en materia orgánica en el estrato 0-20 cm de profundidad del suelo abonado con estiércol, CAE-FAZ-UJED, 1998-2007.

Figure 1. Changes in organic matter at 0-20 cm depth stratum in manure fertilized soil, CAE-FAZ-UJED, 1998-2007.

The highest OM values were observed with the 120 and 160 Mg ha^{-1} manure treatments, during 2001, 2002 and 2004, showing percentage values of 5.1 and 5.7, respectively. Salazar *et al.* (2003) found similar results. These results are indicative of a 2.5 percentage point increase in OM after five years of dosing, which is high compared to what Hirzel *et al.* (2004) reported. They obtained a 0.5 point increase in two years, using poultry manure and shavings, with 1.2% N. Adding cow manure to the soil increases OM by 1% in two years of constant dosing (Salazar-Sosa *et al.*, 2004).

Adding manure improved the chemical characteristics of the soil, as reported by García-Cruz *et al.* (2008), and Ochoa *et al.* (2008), who concluded that applying solid organic residue directly is an alternative to recovering low fertility soil. Salazar *et al.* (2003 and 2007) found that continuously applying manure doses ranging from 40 to 160 Mg ha^{-1} to the soil, during four to six years, increases OM contents up to a goal of 5%.

It's noteworthy that, during the same years of the experiments, and with the same treatments, soil EC also increased up to 8 dSm^{-1} , which is bad for the growth of crops, reason why it's necessary to manage manure carefully, monitoring the soil at least once every year.

de ser lixiviable, lo cual representa, no sólo pérdidas de nitrógeno sino además una potencial contaminación de los acuíferos, principalmente en zonas cercanas al río Nazas en donde el manto freático no es tan profundo (10 a 15 m) (Medina-Morales y Cano-Ríos, 2001).

Los nitratos en cada año fueron estadísticamente diferentes en los tratamientos siendo más alto el tratamiento de 160 Mg ha⁻¹ de estiércol en los años 1998, 1999, 2002 y 2005, con medias de 17.1, 38.75, 100 y 34 mg kg⁻¹, respectivamente. En 2001 y 2006 el valor más alto lo obtuvo el tratamiento de 80 Mg ha⁻¹ con valores de 42.5 y 22 mg kg⁻¹. En los años 2000 y 2003 los tratamientos de 80, 120 y 160 Mg ha⁻¹ de estiércol fueron estadísticamente superiores a los demás tratamientos pero iguales entre sí, con medias de 32 y 96 mg kg⁻¹ en cada año, en 2004 los tratamientos que fueron iguales entre sí, pero diferentes de los demás fueron los de 80 y 120 Mg ha⁻¹ de estiércol, con valores medios de 53 y 54 mg kg⁻¹ y en 2007 algo similar ocurrió pero con los tratamientos de 120 y 160 Mg ha⁻¹ de estiércol con 21.33 y 22.25 mg kg⁻¹, Figura 2. Ortega y Mardonez, (2005) encontraron una media de 19.3 mg kg⁻¹ en una evaluación de mineralización *in situ* de nitrógeno con dosis desde 40 hasta 240 kg de nitrógeno de origen urea.

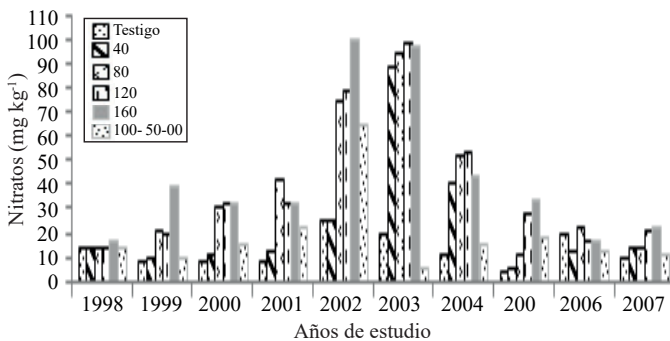


Figura 2. Cambios de nitratos en el estrato 0-20 cm de profundidad del suelo abonado con estiércol, CAE-FAZ-UJED, 1998-2007.

Figure 2. Changes in nitrates at 0-20 depth stratum in manure fertilized soil, CAE-FAZ-UJED, 1998-2007.

Los valores medios de nitratos en los suelos con los tratamientos de estiércol después de diez años de aplicación de estiércol fueron de 23.4, 37.8, 39.8 y 43.3 mg kg⁻¹, en los suelos con los tratamientos de 40, 80, 120 y 160 Mg ha⁻¹ de estiércol, destacando que los años intermedios (2002 y 2003) los valores llegaron hasta 95 mg kg⁻¹, lo cual refleja la bondad del estiércol. Hirzel *et al.*, (2004) utilizaron cama de pollo de engorda (pollinaza + viruta) con 2% de nitrógeno y obtuvo 49 mg kg⁻¹ en dos años de estudio.

Nitrates

Nitrates were more closely monitored, because they are the biggest nitrogen product from spring-summer mineralization, used by plants, and because it's leachable, which means not only a loss of nitrogen, but also the potential contamination of water bodies, mainly in the zones near the Nazas river, where the water table is not as deep (10 to 15 m) (Medina-Morales and Cano-Ríos, 2001).

Every year, nitrates were statistically different among treatments, with the highest value found in the 160 Mg ha⁻¹ manure treatment, during 1998, 1999, 2002 and 2005, with mean values of 17.1, 38.75, 100 and 34 mg kg⁻¹, respectively. In 2001 and 2006, the highest value was observed in the 80 Mg ha⁻¹ treatment, with values of 42.5 and 22 mg kg⁻¹. For 2000 and 2003, the 80, 120 and 160 Mg ha⁻¹ manure treatments were statistically superior to the rest of the treatments, but equal, with mean values of 32 and 96 mg kg⁻¹ each year. In 2004, the treatments that showed equal values, but were different from the rest, were the 80 and 120 Mg ha⁻¹ manure treatments, with mean values of 53 and 54 mg kg⁻¹. Something similar was observed in 2007, for the 120 and 160 Mg ha⁻¹ manure treatments, showing 21.33 and 22.25 mg kg⁻¹, Figure 2. Ortega and Mardonez (2005) found a mean value of 19.3 mg kg⁻¹ in a mineralization evaluation of nitrogen, carried out *in situ*, with doses ranging from 40 up to 240 kg urea nitrogen.

Mean values for nitrates in manure treated soils, after ten years of manure application, were 23.4, 37.8, 39.8 and 43.3 mg kg⁻¹, in soils treated with 40, 80, 120 and 160 Mg ha⁻¹ manure, highlighting the fact that during the intermediate years (2002 and 2003), the values increased up to 95 mg kg⁻¹, which proves how favorable manure is. Hirzel *et al.* (2004) used poultry manure mixed with shavings, with 2% nitrogen, and obtained 49 mg kg⁻¹ in two years of study.

The first years manure was applied, mineralization won't occur as frequently, given the C:N ratio of manure oscillates between 30 and 39, and its impact on N availability also depends on the type of soil and the management it is subjected to (type of irrigation, farming, etc.), which causes nitrogen to stay immobile (Tisdale *et al.*, 1999; Uratani *et al.*, 2004).

Total mineralization only happens more efficiently in manures with a C:N ratio within 20 (Hernández-Mendoza *et al.*, 2007), nitrate is an electron receptor during

Los primeros años de aplicación de estiércol la mineralización no ocurre con tanta eficiencia ya que la relación C:N del estiércol fluctúa alrededor de 30 a 38 y su impacto en disponibilidad de N depende además de esta relación del tipo de suelo y manejo del mismo (tipo de riego, labranza etc.), lo que propicia una inmovilización del nitrógeno (Tisdale *et al.*, 1999; Uratani *et al.*, 2004).

La mineralización total sólo se da con más eficiencia en abonos con relación C:N no mayor a 20 (Hernández-Mendoza *et al.*, 2007), el nitrato es un receptor de electrones en la desnitrificación, según lo reporta Saleh-Lakha *et al.* (2009) y aun así los abonos de origen animal sólo se mineralizan en menos de 70%, el primer año, según Probert *et al.*, (2005), 62% es mineralizado bajo condiciones de laboratorio (Uri *et al.*, 2003) por otra parte Castellanos (1982 a), menciona que 50% del estiércol es mineralizado en el primer año, por lo anterior los primeros años de aplicación el tratamiento con poco estiércol (40 Mg ha⁻¹).

Amonio

El amonio solo se midió en 1998, 1999, 2001 y 2002 para conocer el aporte de nitrógeno amoniacal proveniente de la mineralización del estiércol. En los años 1998 y 1999 la concentración de amonio no rebasó 13.7 mg kg⁻¹, la mayor concentración se presentó en 2002 en todos los tratamientos a excepción del tratamiento de 160 Mg ha⁻¹ de estiércol, que presentó un valor de 25 mg kg⁻¹, en 2003 (Figura 3), la uniformidad de las concentraciones de amonio pueden explicarse con lo concluido por Frank *et al.* (1992) quienes reportaron que bajo condiciones de temperatura ambiente cálida, las bacterias nitrificantes son más eficientes que las bacterias heterotróficas de amonio, mientras que en condiciones frías el comportamiento es inverso. El promedio de temperatura en los ciclos agrícolas (15 abril- 30 julio) de estudio fue de 23.6 °C (CNA, 2007).

Conductividad eléctrica y pH

La Figura 4 muestra la conductividad eléctrica por tratamiento de estiércol de 1998 a 2007, en ella se observa que para el primer año (1998) los resultados son lo comúnmente encontrados en los suelos de la región; es decir, conductividades eléctricas no mayores a 2 dS m⁻¹; sin embargo, desde 1999 se incrementó la concentración, mostrando su máximo valor en 2003 con 8 dS m⁻¹, sobre todo en el tratamiento de 160 Mg ha⁻¹ de estiércol aplicado, lo

denitrificación, as reported by Sale-Lakha *et al.* (2009), and still animal-origin fertilizers are only mineralized under 70% during the first year, according to Probert *et al.* (2005); 62% is mineralized under laboratory conditions (Uri *et al.*, 2003). On the other hand, Castellanos (1982 a) mentions that 50% of manure is mineralized during the first year, because of which during the first years of treatment a small dose of manure is used (40 Mg ha⁻¹).

Ammonium

Ammonium was only measured in 1998, 1999, 2001 and 2002, in order to know the ammonia nitrogen obtained from manure mineralization. In 1998 and 1999, ammonium concentrations were within 13.7 mg kg⁻¹, and the highest concentration was observed in 2002 for all treatments, except the 160 Mg ha⁻¹ manure treatment, which showed a value of 25 mg kg⁻¹. In 2003 (Figure 3) the uniformity in ammonium concentrations can be explained by the conclusions reached by Frank *et al.* (1992), who reported that, under warm ambient temperature conditions, nitrifying bacteria are more efficient than ammonium heterotrophic bacteria, whereas under cold temperatures the opposite behavior is observed. The average temperature during the agricultural cycles (April 15 - July 30) of the study was 23.6 °C (CNA, 2007).

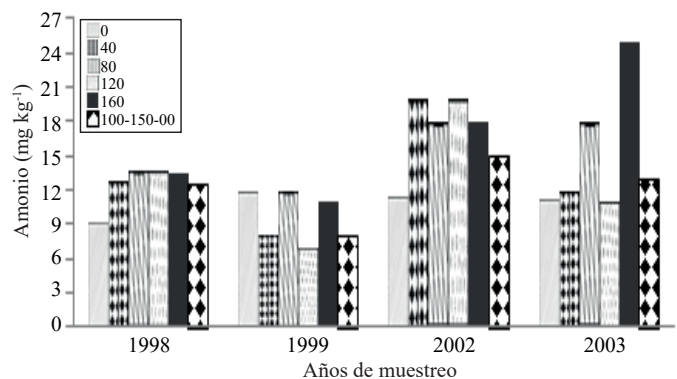


Figura 3. Contenido de amonio en el estrato 0-20 cm de profundidad del suelo abonado con estiércol, CAE-FAZ-UJED, 1998, 1999, 2002 y 2003.

Figure 3. Ammonium contents at 0-20 cm depth stratum in manure fertilized soil, CAE-FAZ-UJED, 1998, 1999, 2002 and 2003.

Electric conductivity and pH

Figure 4 shows the electric conductivity per manure treatment, from 1998 through 2007. In it we observe that, for the first year (1998) the results are those usually found in the regional soils, meaning electric conductivity values

anterior es debido a la mineralización del estiércol, el cual libera altas cantidades de aniones y cationes y dan como resultado un incremento de la salinidad del suelo.

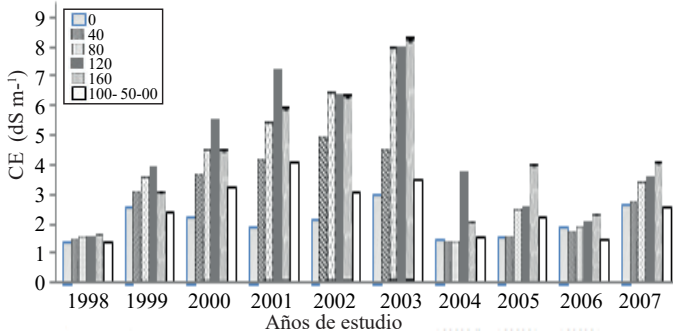


Figura 4. Conductividad eléctrica en el estrato 0-20 cm de profundidad del suelo abonado con estiércol, CAE-FAZ-UJED, 1998-2007.

Figure 4. Electric conductivity at 0-20cm depth stratum in manure fertilized soil, CAE-FAZ-UJED, 1998-2007.

Castellanos (1986) encontró que por cada tonelada de estiércol aplicado al suelo, éste recibe de 15 a 50 kg de sales, dependiendo de la calidad del estiércol debido a la variación de la dieta que recibe el animal en sus deferentes etapas; es decir, vacas en desarrollo y secas tienen una dieta de muy baja calidad, comparada con las de producción y esto hace variar la concentración de sales en el estiércol.

De 2004 en adelante la conductividad eléctrica bajó debido a que no se aplicó estiércol este año y se aplicaron riegos pesados para lavar sales solubles. Jiménez *et al.* (2004) concluyeron que en suelos ácidos la CE se incrementa 0.3 d Sm⁻¹ año⁻¹ en los tratamientos estercolados. Álvarez-Sánchez *et al.* (2006) concluyeron que en los suelos con tratamientos de abonos orgánicos la CE se incrementa desde 0.5 hasta 1.6 d Sm⁻¹ por año.

Esto ocurre debido a las dietas tan ricas en nutrientes y minerales que consume el ganado bovino lechero la cual se basa para vacas secas y en desarrollo, en ensilados de maíz y sorgo; pero en vacas en producción a la dieta se le agrega alfalfa, triticale, concentrados, aditivos, minerales y algo de melaza para mantener una producción de leche alta, de más de 29 litros día⁻¹.

Los valores de pH fluctuaron entre 6.5 y 8.5 a través del tiempo (Figura 5). Álvarez-Sánchez *et al.* (2006) encontraron que en los suelos con tratamientos de abonos orgánicos el pH se incrementó. Jiménez *et al.* (2004) concluyeron que

not higher than 2 dS m⁻¹. Nevertheless, since 1999 the concentration increased, reaching its maximum value in 2003, at 8 dS m⁻¹, mostly for the 160 Mg ha⁻¹ manure treatment applied. This is a consequence of the mineralization of manure, which releases high quantities of anions and cations, which result in an increase in the salinity of soil.

Castellanos (1986) found that, for each ton of manure applied to the soil, it receives between 15 and 50 kg of salts, depending on the amount of manure, because of the variations in the diet fed to the animal along its different stages. This means developing and dry cows are fed on a very low quality diet, in comparison to production cows, which causes variations in the concentration of salts in manure.

From 2004 on, electric conductivity reduced due to the interruption of the dosage during that year, as well as the application of heavy irrigation to washout soluble salts. Jiménez *et al.* (2004) concluded that EC increases by 0.3 d Sm⁻¹ year⁻¹ in manure-based treatments applied to acid soils. Álvarez-Sánchez *et al.* (2006) concluded that soils treated with organic fertilizers, EC increases from 0.5 up to 1.6 d Sm⁻¹ each year.

This happens because of the highly nutrient and mineral contents of the diets fed to milking cows, which for developing and dry cows are based on corn and sorghum ensilage. On production cows, on the other hand, the diet is enriched with alfalfa, triticale, concentrates, additives, minerals, and some molasses to maintain milk production high, over 29 liters per day⁻¹.

pH values oscillated between 6.5 and 8.5 in time (Figure 5). Álvarez Sánchez *et al.* (2006) found that in soils treated with organic fertilizers, pH increased. Jiménez *et al.* (2004) concluded that pH increases in treatments including manure. In this study that is the trend, but the soil didn't show any statistical difference among treatments each year, although differences between years were observed.

During the first year of treatment (1998), pH values ranged from 8 for control, to 8.3 for the highest manure treatment; nevertheless, the two subsequent years the trend was a reduction to values of 7.7 and 7.1, for manure treatments in 1999 and 2000, respectively. In 2001, the pH value increased again to values of 8.2 and 8.35; the next two years the values decreased, and in 2004 the pH increased again. As observed in (Figure 5), the values remained high during the following years.

el pH se incrementa en los tratamientos estercolados, en este trabajo la tendencia es así, pero el suelo no mostró diferencia estadística entre tratamientos cada año pero si hubo diferencias entre años.

El primer año de aplicación (1998) los valores de pH fueron de 8 en el testigo a 8.3 en el tratamiento más alto de estiércol, sin embargo los dos años siguientes la tendencia fue a la baja con valores de 7.7 y 7.1 para los tratamientos de estiércol en 1999 y 2000 respectivamente, en 2001 el pH volvió a subir con valores de 8.2 a 8.35, los siguientes dos años los valores bajaron y 2004 el pH subió nuevamente, en los años posteriores los valores se mantuvieron altos como se observa en la (Figura 5).

Producción de forraje

El Cuadro 1 muestra las producciones obtenidas del año 2000 al 2007, en los años 2000 y 2001 los tratamientos de 80, 120 y 160 Mg ha⁻¹ de estiércol fueron iguales al tratamiento de fertilizante químico, lo cual indica que compiten con él desde los primeros años, sobresalen los tratamientos de 160 y 120 Mg ha⁻¹ en los años 2000 y 2001 respectivamente con 85.7 y 89.8 Mg ha⁻¹ de forraje verde cada año.

Cuadro 1. Producción de forraje de maíz con tratamientos de estiércol un control (cero aplicación) y un testigo químico (100-150-00), CAE-FAZ-UJED, 2000-2007.

Table 1. Corn forage production with manure treatments, control (zero dosage), and chemical control (100-150-00), CAE-FAZ-UJED, 2000-2007.

Tratamientos	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
	----- Peso verde (Mg ha ⁻¹) -----							
0 Mg ha ⁻¹	29.31 b	40.1 c	29.74 b	28.29 c	24.79 c	25.83 c	27.77 c	27.28 c
40 Mg ha ⁻¹	50.42 b	50.1 b	80.75 a	56.74 a	86.28 a	62.64 b	56.38 a	67.56 a
80 Mg ha ⁻¹	71.54 a	89.2 a	77.04 a	63.34 a	85.09 a	72.81 a	56.38 a	70.93 a
120 Mg ha ⁻¹	84.61 a	89.8 a	84.27 a	67.22 a	75.84 a	71.60 a	42.22 b	73.51 a
160 Mg ha ⁻¹	85.73 a	57.3 a	81.09 a	53.75 a	77.11 a	66.74 a	52.75 a	69.89 a
100-150-00	54.78 a	87.4 a	65.34 b	49.10 b	61.11 b	54.59 b	54.17 a	52.86 b
DMS	32.55	36.96	24.52	15.38	11.05	14.44	12.93	13.55

Para los años 2002 y 2003 los tratamientos de estiércol fueron superiores al testigo sin estiércol y al tratamiento químico, en ambos años el tratamiento que sobresalió fue el de 120 Mg ha⁻¹ estiércol con 84.3 y 67.2 Mg ha⁻¹ de forraje verde.

De 2004 a 2006 las más altas producciones se presentaron en el tratamiento de 80 Mg ha⁻¹ de estiércol con 85m 72.8 y 56.4 Mg ha⁻¹ de forraje verde, respectivamente; en 2004

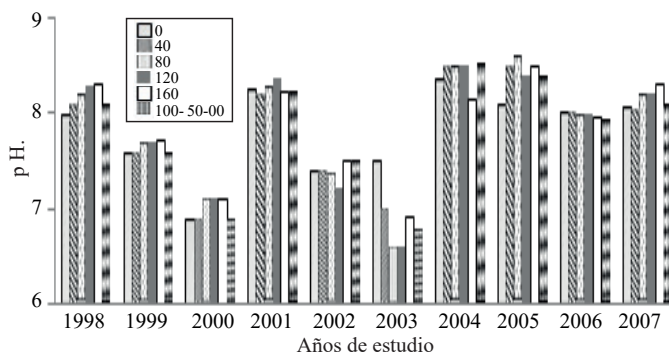


Figura 5. Comportamiento del pH en el estrato 0-20 cm de profundidad del suelo abonado con estiércol, CAE-FAZ-UJED, 1998-2007.

Figure 5. pH behavior at 0-20 cm depth stratum in manure fertilized soil, CAE-FAZ-UJED, 1998-2007.

Forage production

Table 1 shows the production obtained from 2000 through 2007. In 2000 and 2001, treatments using 80, 120 and 160 Mg ha⁻¹ manure were the same as the chemical fertilizer treatment, which shows they compete from the first few years. During 2000 and 2001, respectively, the 160 and 120 Mg ha⁻¹ treatments stand out with 85.7 and 89.8 Mg ha⁻¹ of green forage each year.

In 2002 and 2003, manure treatments were superior to manure-free control and chemical treatment. During both years, the outstanding treatment was 120 Mg ha⁻¹ manure, with 84.3 and 67.2 Mg ha⁻¹ green forage.

Between 2004 and 2006, the highest productions were produced by the 80 Mg ha⁻¹ manure treatment, with 85m 72.8 and 56.4 Mg ha⁻¹ green forage, respectively. In

los tratamientos de estiércol son iguales entre si y superiores al testigo y al tratamiento químico, en 2005 los tratamientos de 80, 120 y 160 Mg ha⁻¹ de estiércol se comportaron estadísticamente iguales entre si pero superiores al resto de los tratamientos. En 2006 las producciones fueron bajas, el tratamiento de 120 Mg ha⁻¹ fue estadísticamente inferior al resto de los tratamientos de estiércol y el tratamiento químico.

En 2007 los tratamientos de estiércol fueron iguales entre si y superiores a los demás, siendo el de 180 Mg ha⁻¹ de estiércol el tratamiento de mayor producción con 73.5 Mg ha⁻¹ de forraje verde. De acuerdo al comportamiento en el periodo de estudio la Figura 6 muestra que el mejor tratamiento fue el de 120 seguido del tratamiento de 80 Mg ha⁻¹ de estiércol. Esto coincide con los resultados encontrados por Salazar *et al.* (2007).

Conclusiones

A través de los años la MO se incrementó en todos los tratamientos de estiércol y en promedio de los diez años los tratamientos de 160 y 120 Mg ha⁻¹ de estiércol aplicado incrementaron 189 y 180% la MO en el suelo, terminaron con 4 y 3.8% de MO. Similar a la concentración de MO en el suelo, los nitratos también se incrementaron en todos los tratamientos donde se aplicó estiércol, siendo los mejores tratamientos los de 120 y 160 Mg ha⁻¹ de estiércol, con valores finales de 22.25 y 21.33 mg kg⁻¹.

La conductividad eléctrica después del segundo año de aplicación (1999) se incrementó considerablemente (arriba de 4 dS m⁻¹) debido a la alta concentración de sales en el estiércol, siendo los tratamientos de 80, 120 y 160 Mg ha⁻¹ de estiércol los más altos con valores de 8 dS m⁻¹ o más en el sexto año de estudio (2003), y a través de descanso, es decir, suspensión de la aplicación en el 2004 se logró disminuir éstos, a niveles inferiores a 4 ds m⁻¹, lo cual indica que el monitoreo del suelo es necesario cuando se aplica estiércol, para mantener un nivel de sales que no afecte al cultivo.

El pH del suelo presentó bajas y altas alternadas en los valores terminando con los valores que inició, de 8.0 a 8.3, siendo más altos los valores de los tratamientos de 120 y 160 Mg ha⁻¹ de estiércol aplicado respectivamente.

Es importante resaltar que con 80 Mg ha⁻¹ o más, desde el año 2000 hasta 2007, los tratamientos de estiércol fueron superiores en rendimiento al testigo e iguales o superiores

2004, manure treatments were equal to each other, but superior to the control and the chemical treatment; in 2005, the treatments with 80, 120 and 160 Mg ha⁻¹ manure showed a statistically equal behavior, superior to the rest of the treatments. In 2006 the production was low, and the treatment with 120 Mg ha⁻¹ manure was statistically inferior to the rest of the treatments with manure and the chemical one.

In 2007 all manure treatments were equal to each other, and superior to the others, with the 180 Mg ha⁻¹ manure treatment showing the highest production with 73.5 Mg ha⁻¹ green forage. According to the behavior observed during the study period, Figure 6 shows that the best treatment was the 120 one, followed by the 80 Mg ha⁻¹ manure treatment. This is consistent to the results found by Salazar *et al.* (2007).

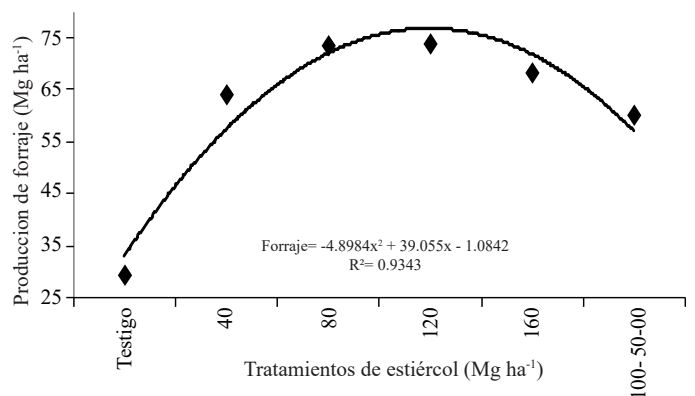


Figura 6. Tendencia de producción de forraje de maíz en diferentes tratamientos de estiércol, un tratamiento químico y un testigo, CAE-FAZ-UJED, 2000-2007.

Figure 6. Corn forage production trend in different manure treatments, one chemical treatment and one control, CAE-FAZ-UJED, 2000-2007.

Conclusions

Through the years, OM increased with all manure treatments, and during the ten years of treatment with 160 and 120 Mg ha⁻¹ manure applied, they increased an average of 189 and 180% OM in the soil, ending with 4 and 3.8% OM. Similarly to OM concentrations in the soil, nitrates also increased with all the manure-related treatments, from which the best treatments were 120 and 160 Mg ha⁻¹ manure, with final values of 22.25 and 21.33 mg kg⁻¹.

al tratamiento químico (años 2003, 2004, 2005 y 2009); esto demuestra la bondad del estiércol convirtiéndose en una excelente alternativa para satisfacer la demanda nutrimental del cultivo.

Literatura citada

- Álvarez-Sánchez, E.; Vázquez-Alarcón, A.; Castellanos, J. Z. y Cueto-Wong, J. 2006. Efectividad biológica de abonos orgánicos en el crecimiento de trigo. *Terra Latinoamericana*. 24:261-268.
- Castellano, J. Z. 1986. Evaluación del estiércol de bovino y gallinaza como fuente de fósforo en el cultivo de alfalfa. *Agric. Tec. Méx.* 12:247-258.
- Castellanos, J. Z. 1982 (a). La importancia de las condiciones físicas del suelo y su mejoramiento mediante la aplicación de estiércoles. *Seminarios Técnicos Vol. 7*.
- Castellanos, J. Z. 1982 (b). La utilización de los estiércoles en la Comarca Lagunera. *Ingenieros Agrónomos del Tecnológico de Monterrey (IATEM)*. Torreón, Coahuila, México. 11-19 pp.
- Castellanos, J. Z.; Marquez-Ortiz, J. J.; Etchevers-Barra, J. D.; Aguilar-Santelises, A. and Salinas, J. R. 1996. Long-term effect of dairy manure on forage yields and soil properties in an arid irrigated region of Northern Mexico. *Terra*. 14:151-158.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2007. Base de datos de temperaturas de la Comarca Lagunera. *Gerencia Regional Cuencas Centrales del Norte*. 122 p.
- Frank, J. M V; Hendrik, D. and Hendrikus, J. L. 1992. Competition for ammonium between nitrifying and heterotrophic bacteria in continuously percolated soil columns. *Appl. Environ. Microbiol.* 58(10):3303-3311.
- Fuentes, J. L. 2000. El suelo y los fertilizantes. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 352 p.
- Gallegos-Vázquez, C.; Olivares Sáenz, E.; Vázquez-Alvarado, R.; Zavala-García, F. 2000. Absorción de nitratos y amonio por plantas de nopal en hidroponía. *Terra Latinoamericana*. 18(2):133-139.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Editorial Offset Larios, S. A. México, D. F. 217 p.
- García-Cruz, A.; Flores-Román, D.; García-Calderón, R. E. y Ferrera-Cerrato, R. 2008. Efecto de enmiendas orgánicas, higuera y micorriza sobre las características de un tepetate. *Terra Latinoamericana*. 26:309-315.
- Guerrero, A. 2000. El suelo, los abonos y la fertilización. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 206 p.
- Hernández-Mendoza, T. M.; Salcedo-Pérez, E.; Arévalo-Galarza, G.; y Galvis Spinola, 2007. Evaluación de la lignina como indicador de la capacidad de aporte de nitrógeno de residuos orgánicos. *Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. *Rev. Chapingo*. 13(1):5-13.
- Henry, D. F.; and Boyd, G. E. 1988. Soil and fertilizer nitrogen. *In: Wiley, J. and Sons, L.* (eds). *Soil fertility*. New York, USA. 62-75 p.
- Hirzel J.; Rodríguez N. y Zagal E. 2004. Efecto de diferentes dosis de fertilización inorgánica con N, P, K y fuente orgánica (estiércol de broiler) sobre la producción de maíz y la fertilidad del suelo. *Agric. Téc. (Chile)* 64(4): 365-374. doi: 10.4067/S0365-28072004000400005. (consultado marzo, 2010).
- Electric conductivity increased considerably (over 4 dS m⁻¹) after the second year of treatment (1999), due to the high concentration of salts in the manure. The highest values were obtained with the treatments using 80, 120 and 160 Mg ha⁻¹ manure, with values of 8 dS m⁻¹ or higher, in the sixth year of the study (2003), and with a washout period, meaning the suspension of treatment in 2004, those values decreased under 4 dS m⁻¹, which shows that monitoring the soil is necessary when using manure, in order to maintain a salt level low enough to not affect the crops.
- Soil pH value showed alternating highs and lows, and ended with the same values it started, from 8.0 to 8.3. The highest values were observed with the 120 and 160 Mg ha⁻¹ manure treatments applied, respectively.
- It's noteworthy that using 80 Mg ha⁻¹ or more, from 2000 through 2007, manure treatments showed a superior performance in comparison with the control, and an equal or superior performance in comparison to the chemical treatment (2003, 2004, 2005 and 2009); this proves how favorable manure is, and makes it an excellent alternative to satisfy the nutritional demands of the crops.

End of the English version



- Jiménez, L.; Larreal, M. y Noguera, N. 2004. Efectos del estiércol bovino sobre algunas propiedades químicas de un Ultisol degradado en el área de la Machiques Colón, estado Zulia. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 21:311-321.
- Martínez, G. A. 1996. Diseños experimentales: métodos y elementos de teoría. Ed. Trillas. México, D. F.
- Martínez, H. E.; Fuentes, E. J. P. y Acevedo, H. E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *J. Soil Sc. Plant Nutr.* 8(1):68-96
- Matus, F. J. y Maire C. R. 2000. Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agric. Téc.* 60:112-126.
- Medina-Morales M. C. y Cano-Ríos P. 2001. Contaminación por nitratos en agua, suelo y cultivos en la Comarca Lagunera. *Rev. Chapingo. Serie Zonas Áridas*. 2(1):9-14.
- Ochoa, E. S.; Ortíz, S. C. A.; Gutiérrez, C. M. C.; Quintero, L. y Silva, G. J. T. 2008. Aplicación directa de residuos sólidos orgánicos municipales a suelos volcánicos. *Terra Latinoamericana*. 27: 53-62.
- Ojeda, O. D. 1994. Promedios generales en contenidos de nutrientes aprovechables y otros datos calculados para los suelos analizados en la república mexicana durante 1988-1993. *Guanos y Fertilizantes de México*, S. A. Subgerencia técnica agronómica. Sección 3. Edafología. 2 p.
- Ortega, B. R. y Mardonez, O. R. 2005. Variabilidad Espacial de la Mineralización de Nitrógeno en un Suelo Volcánico de la Provincia de Ñuble, VIII Región, Chile. *Agric. Téc.* 65:221-231.

- Page, A. L.; Miller R. H. and Keeney, D. R. 1982. Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties. 2nd (Ed.). Agronomy No. 9, Part 2. American Society of Agronomy. Inc. and Soil Science Society of America Inc. Madison, WI, USA. 1159 p.
- Probert, M. E.; Delver, R. J.; Kimani, S. K. and Dimes, J. P. 2005. Modeling nitrogen mineralization from manure: representing quality aspects by varying C/N ration of sub-pools. *Soil Biol. Biochem.* 37:279-287.
- Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2011. Delegación en la Región Lagunera. Subdelegación de Ganadería. Suplemento de Economía, Comarca Lagunera. Publicación anual. 25-30 pp.
- Salazar, S. E.; Beltrán M. A.; Fortis H. M.; Leos R. J. A.; Cueto W. J. A.; Vázquez V. V. y Peña C. J. J. 2003. Mineralización de nitrógeno y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. *TERRA.* 21:569-575.
- Salazar-Sosa, E.; Vázquez-Vázquez, C.; Leos-Rodríguez, J. A.; Fortis-Hernández, M.; Montemayor-Trejo, J. A.; Fgueroa-Viramontes, R. y López-Martínez J. D. 2004. Mineralización del estiércol bovino y su impacto en la calidad del suelo y la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo riego sub-superficial. *Rev. Int. Bot. Exp.* 73:259-273
- Salazar, S. E.; Trejo, E. H. I.; Vázquez, V. C. y López, M. J. D. 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. *Rev. Int. Bot. Exp.* 76:169-185.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 2001. SAS user's guide. Statistics. Version 8. SAS Institute Inc., 1996. SAS for Windows. Release 6-12 version 4.0.1111. SAS Compus Drive, North Carolina. U. S. A.
- Saleh-Lakha, S.; Shannon, K. E.; Henderson, S. L.; Zebarth, B. J.; Burton, D. L.; Goyer, C. and Trevors, J. T. 2009. Effect of Nitrate and Acetylene on *nirS*, *cnorB*, and *nosZ* Expression and Denitrification Activity in *Pseudomonas mandelii*. *Appl. Environ. Microbiol.* 75:5082-5087.
- Salisbury, F. B. y Ross, C. W. 1994. Fisiología vegetal. Grupo editorial Iberoamérica. México, D. F. 759 p.
- Tisdale, S. L. y Nelson, W. L. 1991. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Editorial Limusa. México. D. F. 760 p.
- Tisdale, S. L.; Beaton, J. D.; Havlin, J. L.; and Nelson W. L. 1999. Nitrogen transformations in soil. *In*: Tisdale, S. L.; Beaton, J. D.; Havlin, J. L. and Nelson, W. L. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. 6th (Ed.). Prentice-Hall, New Jersey, USA. 108-135 p.
- Uratani, A.; Daimon, H.; Ohe, M.; Harada, J. and Nakayama, Y. 2004. Ecophysiological traits of field-grown *Crotalaria incana* and *pallida* as green manure. *Plant Produc. Sci.* 7:449-455.
- Uri, V.; Löhmus, K. and Tullus, H. 2003, Annual net nitrogen mineralization in a grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. *Forest Ecol. Manag.* 184:167-176.