

# DISTRIBUCIÓN DE NITRÓGENO DISPONIBLE EN SUELO ABONADO CON ESTIÉRCOL BOVINO EN MAÍZ FORRAJERO

## Distribution of Available Nitrogen in the Soil Profile After Applying Bovine Manure in Corn Forage

Enrique Salazar-Sosa<sup>1‡</sup>, Héctor Idilio Trejo-Escareño<sup>1</sup>, Cirilo Vázquez-Vázquez<sup>1†</sup>, José Dimas López-Martínez<sup>1</sup>, Manuel Fortis-Hernández<sup>2</sup>, Rafael Zuñiga-Tarango<sup>1</sup> y Jesús P. Amado-Álvarez<sup>3</sup>

### RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la Región Lagunera, la cual se localiza en la parte central de la porción norte de México. Se encuentra ubicada en los meridianos 102° 22' y 104° 47' O, y los paralelos 24° 22' y 26° 23' N; la altitud es de 1139 m. Los trabajos se realizaron en el campo agrícola experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia, División de Estudios de Posgrado de la Universidad Juárez del estado de Durango. El objetivo fue determinar la mejor dosis de estiércol para la producción de maíz (*Zea mays* L.) y maíz asociado con soya (*Glycine max* L.), así como medir la lixiviación de los nitratos a través del perfil del suelo. Los tratamientos de estiércol probados en el estudio fueron 0, 40, 80, 120 y 160 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol y un testigo químico de 100-150-00 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) kg ha<sup>-1</sup> aplicados durante cinco años en forma consecutiva. Los resultados indican que hubo mejor respuesta en el tratamiento de 120 seguido del de 160 Mg ha<sup>-1</sup>, con una producción superior a los 100 Mg ha<sup>-1</sup> de forraje verde. Las concentraciones de nitratos en el perfil del suelo muestran diferentes cantidades en cada tratamiento de estiércol, sin embargo, en todos se aprecia una tendencia a la baja en las profundidades de 180 y 210 cm con valores desde 330 mg kg<sup>-1</sup> en el primer estrato de 0 a 30 cm hasta menos de 100 mg kg<sup>-1</sup> a una profundidad de 150 cm. El amonio tiene su máxima

concentración en los primeros 30 cm de profundidad con 20 mg kg<sup>-1</sup> luego baja hasta 10 en el resto del perfil. La materia orgánica (MO) alcanzó hasta 6% en los primeros 30 cm de profundidad para luego decrecer a 1.5 en el siguiente estrato (30-60) y continuó bajando conforme se incrementó la profundidad. La conductividad eléctrica también siguió esta tendencia solo que los valores más altos llegan hasta 13 dS m<sup>-1</sup> en el estrato 0-15 cm de profundidad, luego bajó a dos conforme aumentó la profundidad.

**Palabras clave:** estiércol, perfil de suelo, nitratos, amonio.

### SUMMARY

This study was conducted in the Comarca Lagunera Region, located in the central part of northern Mexico. This region is located between the meridians 102° 22' and 104° 47' W, and the parallels 24° 22' and 26° 23' N at an altitude of 1139 m. Work was done in the experimental agriculture field of the College of Agriculture and Animal Production, Division of Graduate Studies of the "Universidad Juárez de Durango". The objective of this study was to determine the best dose of cattle manure for the production of maize (*Zea mays* L.) and maize associated with soybean (*Glycine max* L.) as well as to measure nitrate leaching through the soil profile. The manure treatments were 0, 40, 80, 120, and 160 Mg ha<sup>-1</sup> manure and a chemical control of 100-150-00 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>K<sub>2</sub>O) kg ha<sup>-1</sup> were applied during consecutive five years. The results indicated that the best treatments were 120 and 160 Mg ha<sup>-1</sup> manure, which yielded 100 and 95 Mg ha<sup>-1</sup> green forage maize, respectively. The nitrate concentration in the soil profile were different in each manure treatment, but in all treatments a tendency to decrease was detected in the depths of 180 and 210 cm with values varying from 330 mg kg<sup>-1</sup> in the layer of 0 to 30 cm to less than 100 mg kg<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango. 35110 Ejido Venecia, Gómez Palacio, Durango, México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (enmageel@yahoo.es)

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de Torreón. Km 7.5 Carretera Torreón-San Pedro. Apartado Postal 42, 27070 Torreón, Coah., México.

<sup>†</sup> Autor para correspondencia (cirvaz60@hotmail.com)

<sup>3</sup> INIFAP Sierra de Chihuahua. Hidalgo 1213 Col. Centro. 31500 Cd. Cuauhtémoc, Chih., México.

at a depth of 150 cm. Ammonium concentration was highest in the first 30 cm depth with  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  and decreased to  $10 \text{ mg kg ha}^{-1}$  in the rest of the profile. The organic matter content was 6% in the first 30 cm of depth and decreased up to 1.5% in following layer (30-60), decreasing as depth increased. Electrical conductivity followed a similar trend, but values were as high as  $13 \text{ dS m}^{-1}$  in the 0-15 cm layer and then decreased up to  $2 \text{ dS m}^{-1}$  as depth increased.

**Index words:** manure, ground layer, soil profile, nitrates, ammonium.

## INTRODUCCIÓN

En la agricultura la tendencia a una mayor intensificación y una productividad más alta, durante los últimos años, ha ido acompañada por un aumento significativo del empleo de fertilizantes, especialmente nitrógeno (N) inorgánico. El estiércol, los residuos de cosecha, los microorganismos y animales muertos en descomposición, entre otros, son importantes fuentes de N orgánico; aunque la mayor parte de este N es insoluble y no está disponible en ese momento para plantas y microorganismos, ya que debe realizarse un proceso de biodegradación de la MO y el N debe pasar a formas inorgánicas donde es absorbido (Salazar *et al.*, 2003b; Castellanos *et al.*, 1996). Particularmente, el estiércol tiene gran importancia como fuente de N debido a que puede aportar amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en grandes cantidades (Salazar-Sosa *et al.*, 2003a).

Como cualquier otro cultivo, el maíz requiere de una cantidad suficiente de nutrientes adecuados para satisfacer sus necesidades; misma cantidad es absorbida del suelo, la cual varía en tiempo y disponibilidad por la fertilidad natural del mismo. Los principales nutrientes que demanda este forraje se presentan con regularidad deficiente en el suelo, los cuales pueden ser aportados aplicando diferentes fertilizantes ya sea, químicos, estiércoles y residuos de cosecha. Es importante mencionar que el uso de fertilizantes químicos ha incrementado el costo de producción de los cultivos y puede contaminar el suelo y el agua principalmente con nitratos por lo que las fuentes orgánicas son una opción que debe ser investigada (Flores-López *et al.*, 2009).

Los fertilizantes nitrogenados son los más importantes en el mundo y han jugado un papel de suma importancia en el incremento de los rendimientos

de los cultivos, el informe de la FAO estima que el suministro mundial de fertilizantes (N, fósforo y potasio), se incrementará en 34 millones de toneladas, con un crecimiento anual desde 3% en 2007/08 y 2011/12, lo que permite cubrir sobradamente el aumento previsto de la demanda del 1.9% anual. El total de la producción pasará de 206.5 millones de toneladas en 2007/08 a 241 millones de toneladas en 2011/12. La demanda de los fertilizantes subirá desde los 197 millones de toneladas a 216 millones ese mismo periodo (FAO, 2008).

Respecto a la aplicación de diferentes tipos de abonos orgánicos estos generan cambios distintos sobre las propiedades del suelo, ya que tienen características propias; estas deben tenerse en cuenta dentro de las estrategias para un manejo integral de la materia orgánica del suelo. Los estiércoles incorporan una mezcla rica en nutrientes por cuanto generalmente las heces van mezcladas con la orina y son de fácil mineralización por los microorganismos (Vigil y Kissel, 1995; Giuliatti *et al.*, 2008).

Romero *et al.* (2000) mencionan que los abonos orgánicos se han usado desde tiempos remotos y han sido muy efectivos, sin embargo, hay que considerar la variación en cuanto a su composición química y el aporte de nutrimentos que proporciona al cultivo ya que depende esta depende de su procedencia, edad, manejo y humedad.

En este sentido cuando se dispone de algún desecho orgánico es necesario el buscar la manera más adecuada de aprovecharlo, dosificarlo e incorporarlo al suelo adecuadamente para satisfacer las necesidades nutricionales de los cultivos para su mejor desarrollo e incrementar su productividad, cuidando siempre de no contaminar el ambiente (Salazar-Sosa *et al.*, 2003a).

En la región lagunera el maíz forrajero ocupa un lugar importante dentro del patrón de cultivos por un alto rendimiento energético que aporta a las reacciones para ganado bovino lechero. Actualmente la producción promedio de forraje de maíz por hectárea es de 45 toneladas de forraje fresco y 15 toneladas de forraje seco. Reta *et al.* (2002) mencionan que las estrategias que en la Comarca Lagunera se han empleado para incrementar la producción han sido variadas; destacando la utilización de variedades e híbridos más eficientes en el uso del agua, arreglos topológicos, densidades de población; así como la utilización de abonos orgánicos, sin embargo, destacan es necesario seguir desarrollando investigación en estos últimos.

Salazar *et al.* (2004) recomiendan el uso de estiércol en la producción de maíz a una dosis inicial de 120 Mg ha<sup>-1</sup> y previo análisis de suelo, ésta puede reducirse a 80 Mg ha<sup>-1</sup> en años posteriores, a condición de que el estiércol se aplique un mes antes de la siembra, se haga una buena distribución del mismo, además se le de un seguimiento mediante análisis de suelo con el fin de evitar la salinización del mismo y posible exceso de nitratos, esto debido a la variación climática y a la heterogeneidad del suelo, sobre todo en cuanto a sus horizontes y a las características físicas, químicas y biológicas, lo cual viene a repercutir en un alto grado de la descomposición de la materia orgánica en cada localidad.

Encontrar la dosis más adecuada de aplicación de estiércol es importante para llevar a cabo una buena producción agrícola a largo plazo ya que no todo el estiércol aplicado al suelo en un año se aprovecha debido a la resistencia a la degradación de algunos materiales como la lignina, ya que estos resisten la actividad enzimática de algunos microorganismos como las bacterias y los actinomicetos (Salazar-Sosa *et al.*, 1998a, b).

En experimentos realizados por Salazar *et al.* (2004), al aplicar estiércol con dosis de 0, 40, 80, 120 y 160 Mg ha<sup>-1</sup>, y fertilizante químico, se obtuvieron rendimientos de 28, 62, 74, 72, 66 y 61 Mg ha<sup>-1</sup> de forraje verde respectivamente, pudiendo observar que los tratamientos con 80 y 120 Mg ha<sup>-1</sup>, se obtuvieron los mejores rendimientos de maíz forrajero.

Los residuos orgánicos tales como estiércoles y residuos de cosecha, en cuanto a la fracción de N orgánico mineralizable, varían de un 30 a un 90%. No obstante que existen grandes cantidades de N orgánico en el suelo, solamente una pequeña fracción se encuentra disponible para los microorganismos, misma que se conoce como N orgánico potencialmente mineralizable, el cual constituye menos del 10% del N orgánico total del suelo, sin embargo, el aporte por mineralización no es tenido muy en cuenta en el diagnóstico de deficiencia de N, aunque su estimación permitiría ajustar las recomendaciones de fertilización (Salazar *et al.*, 2007).

Salazar *et al.* (2002) mencionan que la mayor cantidad de nitratos se encuentre en la profundidad de 0-7.5 cm debido a que los microorganismos que participan en su transformación son aerobios. En lo que respecta a la temperatura, ésta es inversamente proporcional a la profundidad del suelo, lo que indica

que las bacterias encargadas de la transformación del N a nitratos son mesófilas y se desarrollan mejor en temperaturas que oscilan entre 25 a 35 °C, para su óptimo metabolismo.

Es importante tomar en cuenta que la fertilidad natural del suelo es afectada por la aplicación excesiva de estiércoles, debido a sus diferentes concentraciones de sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), entre otros elementos lo cual incrementa el contenido de sales en el suelo; por lo que se debe de tener cuidado en su manejo así como evitar la sobre producción de N mineral al incrementar la aplicación de materia orgánica (MO) que puede afectar la calidad del suelo (Christensen *et al.*, 1994). En este sentido, el objetivo de esta investigación fue determinar la mejor dosis de estiércol, la disponibilidad de nitrógeno y su impacto en la producción de maíz forrajero y en la asociación maíz-soya.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización Geográfica del Sitio Experimental

La Región Lagunera se localiza en la parte central de la porción norte de los Estados Unidos Mexicanos. Se ubica en los meridianos 102° 22' y 104° 47' O y los paralelos 24° 22' y 26° 23' N; la altitud es de 1139 m. Cuenta con una extensión montañosa y una superficie plana donde se localizan las áreas agrícolas, así como las urbanas. El experimento se realizó en el campo agrícola experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ), División de Estudios de Posgrado el cual se encuentra ubicado en el km 28 de la carretera Gómez Palacio-Tlahualilo, Durango, a inmediaciones del ejido Venecia, Municipio de Gómez Palacio, Durango.

### Características Ecológicas del Sitio

**Clima.** 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 como media máxima y 16.1 como media mínima. La presencia de las heladas ocurren de noviembre a marzo y raras veces en octubre y abril; mientras que la presencia de granizadas se da entre mayo y junio. La evaporación anual media aproximadamente es de 2396 mm.

**Cuadro 1. Características químicas del suelo en el año 2006.**

Profundidad	pH	CE	MO	NO <sub>3</sub>	P	K	NH <sub>4</sub>	Na
cm		dS m <sup>-1</sup>	%	-----			mg kg <sup>-1</sup>	-----
00-15	8.41	1.36	1.93	14.0	7.5	13 600	9.80	12.9
15-30	8.25	1.33	1.58	7.0	6.5	8 925	12.95	11.5
30-60	8.20	1.20	1.24	3.0	11.0	5 725	13.66	12.3
60-90	8.24	3.16	0.89	4.0	35.0	4 100	14.35	11.9
90-120	8.14	3.93	0.27	2.0	35.0	2 025	12.95	14.8

pH = potencial hidrógeno (1:2 p/v en agua); CE = conductividad eléctrica (pasta de saturación); MO = materia orgánica (determinado por el método de Walkley-Black); NO<sub>3</sub> = nitratos (KCl 2N); P = fósforo (método de Olsen); K = potasio (determinado con acetato de amonio a pH 7.0); NH<sub>4</sub> = amonio; Na = sodio.

**Características del suelo.** Las principales características del suelo analizadas en el laboratorio de la FAZ, se presentan en el Cuadro 1.

**Espacio de exploración.** Los factores en estudio se cultivaron con maíz y la asociación maíz-soya y estiércol bovino (0, 40, 80, 120 y 160 Mg ha<sup>-1</sup>) y un control 100-150-00 (N- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O; kg ha<sup>-1</sup>); las variedades utilizadas fueron San Lorenzo para maíz y Cajeme para soya; el estiércol se ha aplicado en este sitio desde 1998, fecha en la cual se inició la investigación. Sin embargo, los resultados aquí presentados corresponden al año 2006.

**Características del estiércol.** El estiércol utilizado fue estrictamente de bovino con una humedad al 10%, aplicado una sola vez al inicio del ciclo agrícola. Las características químicas se presentan en el Cuadro 2. La aplicación del estiércol se realizó un mes antes de la siembra con la finalidad de que el estiércol se mezclara con el suelo y así tener una profundidad de 20 cm de cama de siembra con el estiércol incorporado.

La distribución de los tratamientos en campo se realizó bajo un diseño de bloques al azar y un arreglo en franjas con tres repeticiones (Martínez, 1996), teniendo un total de doce tratamientos en unidades experimentales de 72 m<sup>2</sup>. Antes de la siembra se realizó un muestreo del suelo en cada sitio experimental, con una barrena de caja extrayendo un kg de suelo, a profundidades de: 0-15, 15-30, 30-60 cm y así sucesivamente hasta 1.20 m, al finalizar el ciclo se realizó un muestreo de suelo,

para determinar nitratos, amonio, CE, MO y pH, hasta una profundidad de 210 cm para determinar el movimiento de estos iones en el suelo, sobre todo por haber utilizado el sistema de riego subsuperficial. Las variables medidas en la planta fueron rendimiento de forraje verde y materia seca.

Las características químicas del suelo fueron pH, CE, MO, NO<sub>3</sub><sup>-1</sup> y NH<sub>4</sub><sup>-1</sup> y se determinaron por los siguientes métodos: pH = 1:2 p/v, en agua; MO = método de Walkley-Black (Etchevers *et al.*, 1971); CE = por pasta de saturación; N inorgánico = (NI); nitratos y amonio por el métodos de ácido fenoldisulfónico y Kjeldahl.

El análisis estadístico para las variables medidas se llevó a cabo mediante un diseño de bloques al azar con arreglo en franjas y en los casos en que hubo diferencias estadísticas significativas se utilizó una prueba de diferencias mínimas significativas para determinar cual fue el mejor tratamiento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La materia seca de forraje de maíz no mostró resultados significativos ( $P > F = 0.513$ ), lo cual indica que la asociación de maíz con soya no repercute en la cantidad de biomasa producida, aún cuando se observa un ligero incremento en su producción (Cuadro 3).

**Cuadro 2. Características del estiércol con un 10% de humedad recolectado del establo de la Facultad de Agricultura y Zootecnia. FAZ-UJED (2006).**

Muestra	Ca	Mg	Na	K	P	pH	CE	MO	Nt	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
	-----						dS m <sup>-1</sup>	-----		
	% -----							% -----		
1ª	1.75	0.30	0.42	1.15	1.31	7.79	0.68	5.35	0.56	0.084
2ª	1.78	0.34	0.38	1.25	1.64	7.62	0.63	5.47	1.12	0.112

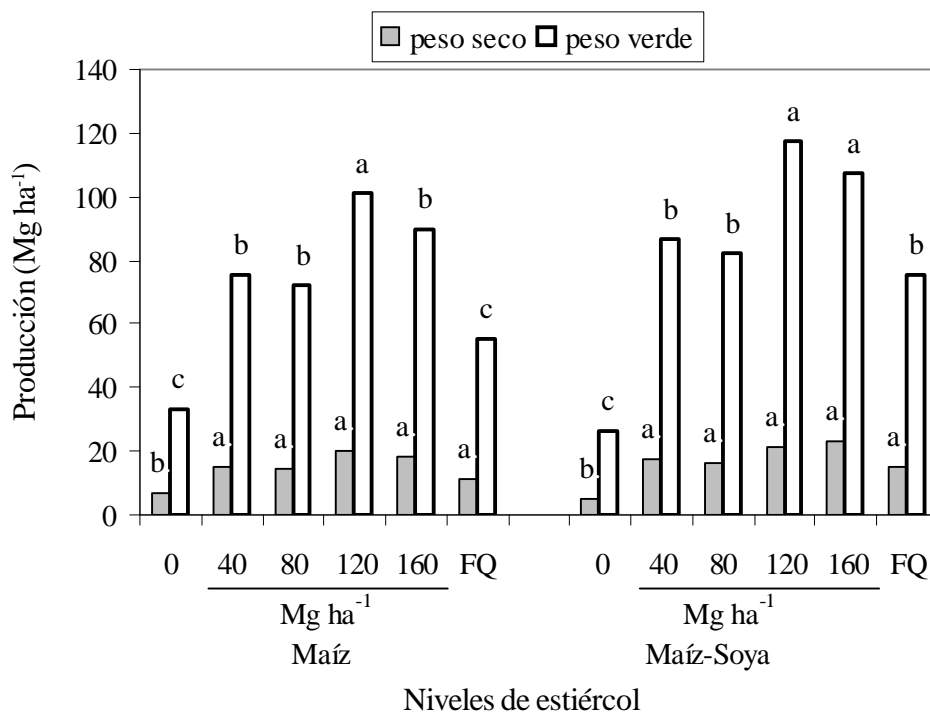
Nt = nitrógeno total determinado por el método de Kjeldahl (Moreno, 1978).

**Cuadro 3. Análisis de varianza para peso seco en maíz. CAE-FAZ-UJED.**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	P > F
Cultivo (A)	1	3.8077	3.8077	0.03	0.8783
Estiércol (B)	5	703.16603	140.6332	3.94	0.0311
A * B	5	66.50214	13.30042	0.30	0.9004
Error	10	439.48011	43.94801		
Total	35	1896.13878			
Coefficiente de variación	22.41				

Sin embargo, al realizar la comparación de medias para las aplicaciones de estiércol se observó que el mejor tratamiento fue el de 120 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol aplicado con 101.0 Mg ha<sup>-1</sup> de forraje verde y 20.2 Mg ha<sup>-1</sup> de forraje seco, para maíz y para maíz-soya los dos mejores tratamientos fueron el de 120 y 160 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol aplicado en suelo con 117.4 y 107.5 Mg ha<sup>-1</sup> de forraje verde y 23.5 y 21.5 de Mg ha<sup>-1</sup> de forraje seco, respectivamente. El tratamiento de menor rendimiento fue el testigo sin estiércol, con 33.2 Mg ha<sup>-1</sup> de forraje verde y 6.6 Mg ha<sup>-1</sup> de forraje seco para maíz solo y en asociación maíz-soya el rendimiento fue de 26.3 Mg ha<sup>-1</sup> y 5.3 Mg ha<sup>-1</sup> de forraje verde y seco respectivamente.

Asimismo, las medias de producción de forraje verde y seco para maíz y maíz-soya en diferentes tratamientos de estiércol fueron de 71.279 y 82.47 en peso verde, mientras que en peso seco las medias fueron de 14.254 y 16.495 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente (Figura 1). Salazar *et al.* (2003a, b) demostraron que el maíz requiere de nutrientes en forma adecuada para satisfacer sus necesidades nutrimentales lo cual y después de cinco años de aplicación del estiércol, en este estudio queda constatado, considerando que se tiene un tratamiento testigo, con la fórmula de fertilizante químico recomendada, que con estiércol aplicado al suelo se libera suficiente N para satisfacer las necesidades



**Figura 1. Producciones de forraje obtenidos de maíz y maíz-soya en los diferentes tratamientos de estiércol y un testigo de fertilización química (FQ), CAE-FAZ-UJED, 2006.**

del maíz e inclusive los tratamientos de estiércol superaron la producción del fertilizante químico.

### Concentración de Nitratos en el Suelo

Las concentraciones de nitratos en el perfil del suelo mostraron cantidades muy diferentes en cada tratamiento de estiércol, sin embargo, en todos se apreció una tendencia a la baja en las profundidades de 180 y 210 cm (Figura 2). Para el tratamiento testigo (0 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol) la concentración más alta de nitratos se encontró en la profundidad de 60 cm con 72.4 mg kg<sup>-1</sup>.

Sin embargo, a partir de la profundidad de 90 cm, los nitratos tienden a disminuir. Para el tratamiento de 40 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol aplicado al suelo la máxima concentración se obtuvo a una profundidad de 30 cm con 239 mg kg<sup>-1</sup>, a mayor profundidad la tendencia es a la baja, con una mínima concentración a los 180 cm con 36.5 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 2). El tratamiento de 80 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol muestra su máxima concentración a una profundidad de 30 cm con 320.9 mg kg<sup>-1</sup>, la máxima profundidad exhibe en 210 cm con 37.2 mg kg<sup>-1</sup>; mientras que la mínima concentración se encontró en 150 cm de profundidad con 17 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 2). En el tratamiento de 120 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol la máxima concentración se obtuvo a los 7.5 cm de profundidad con 325.8 mg kg<sup>-1</sup>, la mínima en 120 cm con 19.9 mg kg<sup>-1</sup>. Resultados

parecidos reportan Van Kessel *et al.* (2002) los cuales encontraron concentraciones de hasta 60 kg ha<sup>-1</sup> a 180 cm de profundidad en un suelo arcilloso-limoso. Por otra parte Figueroa (2002) en un experimento de alfalfa encontró concentraciones de hasta 140 kg ha<sup>-1</sup>.

Las concentraciones más altas de nitratos se encontraron en los estratos menos profundos, debido a que en los estratos superiores se encuentra un mayor número de microorganismos, esto debido a las condiciones favorables de aireación, humedad y temperatura necesarias en su actividad enzimática para una alta mineralización; además es en estos estratos donde se encuentra presente el estiércol. Salazar *et al.* (2003b) obtuvieron resultados similares en un trabajo de tomate.

Teasdale y Abdul Baki (1995) y Salazar *et al.* (2003a) coinciden en que la temperatura óptima para la actividad enzimática de los microorganismos se encontró en los estratos superiores 0-15 cm de profundidad. En el tratamiento de 80 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol se manifiesta un pico de más de 150 mg kg<sup>-1</sup> de nitrato a una profundidad de 180 cm; en el tratamiento de 160 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol a una profundidad de 90 cm, se observa un pico de 250 mg kg<sup>-1</sup> de nitrato, estos picos se deben posiblemente a la lixiviación del ion nitrato con las lluvias, debido a que a esta profundidad no existen las condiciones mínimas necesarias para la degradación, pero lo más probable

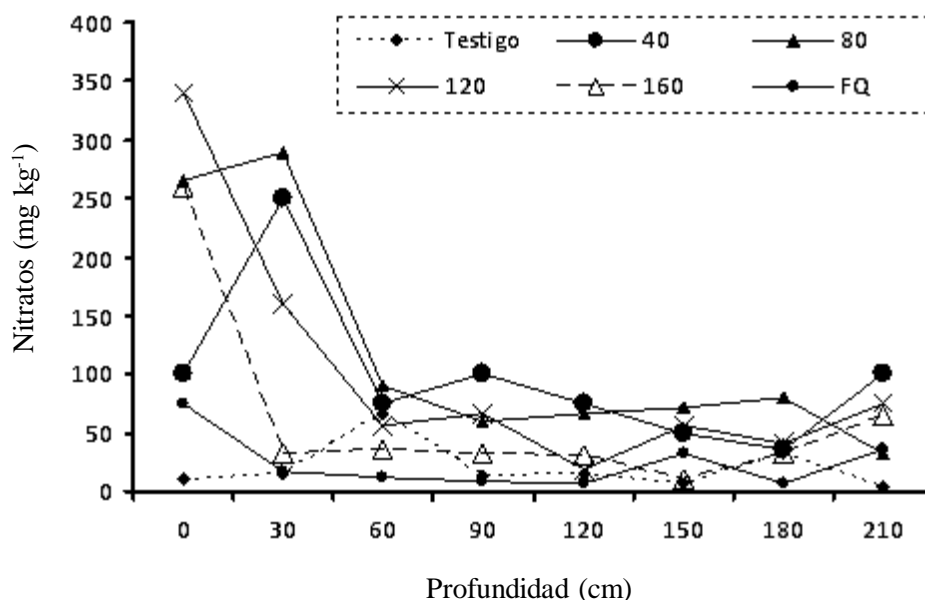


Figura 2. Distribución de los nitratos a través del perfil de un suelo abonados con diferentes tratamientos de estiércol y uno de fertilizante químico (FQ), durante cinco años consecutivos, CAE-FAZ-UJED.

es que dada la heterogeneidad de los perfiles de suelo, es que solo en este tratamiento se observó este efecto porque si el suelo fuera homogéneo sería igual en todos los tratamientos (Ludwick *et al.*, 1976). En cuanto al testigo (cero aplicaciones) se observó que presentó las más bajas concentraciones prácticamente en todas las profundidades lo que explica los bajos rendimientos del maíz en este tratamiento.

### Concentración de Amonio en el Suelo a Diferentes Profundidades

Para el tratamiento control, la máxima concentración se localizó a 7.5 cm con  $16.95 \text{ mg kg}^{-1}$  y la mínima se presentó a 90 cm con  $3.69 \text{ mg kg}^{-1}$ . Para el tratamiento de  $40 \text{ Mg ha}^{-1}$  de estiércol la máxima concentración se presentó a 7.5 cm con  $19.63 \text{ mg kg}^{-1}$  y la mínima a 90 cm de profundidad con  $3.35 \text{ mg kg}^{-1}$ . En el tratamiento de  $80 \text{ Mg ha}^{-1}$  de estiércol la concentración más alta fue a 7.5 cm con  $18.91 \text{ mg kg}^{-1}$  y la mínima concentración se encontró a 150 cm de profundidad con  $2.87 \text{ mg kg}^{-1}$ . En el tratamiento de  $120 \text{ Mg ha}^{-1}$  de estiércol la más alta concentración apareció a 60 cm con  $21.31 \text{ mg kg}^{-1}$  y la mínima a 90 cm con  $4.45 \text{ mg kg}^{-1}$ . El tratamiento de  $160 \text{ Mg ha}^{-1}$  de estiércol mostró la máxima concentración a los 7.5 cm con  $17.72 \text{ mg kg}^{-1}$  y la mínima a 120 cm de profundidad con  $2.87 \text{ mg kg}^{-1}$ . Para la fertilización

recomendada ( $100-150-00: \text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ ) en maíz la máxima concentración se registró a 7.5 cm de profundidad con  $14.46 \text{ mg kg}^{-1}$  y la mínima a 180 cm con  $3.83 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 3). En general, la concentración del amonio tiende a bajar después de los 30 cm de profundidad. Esto debido a que la mayor actividad microbiológica se presenta precisamente en ese estrato, ya que la mineralización decrece conforme aumenta la profundidad en el suelo, principalmente porque las condiciones de desarrollo bacteriológico son más limitadas.

### Concentración de Materia Orgánica en el Suelo

En todos los tratamientos de estiércol los porcentajes más altos se observaron en el estrato de 0 a 30 cm de profundidad (Figura 4). Teniendo los valores más altos en los tratamientos de 120 y 160  $\text{Mg ha}^{-1}$  de estiércol a una profundidad de 7.5 cm con 5.65 y 5.52% respectivamente, mientras que el testigo (sin estiércol) solo contiene el 2.07% a 7.5 cm y 2.21% a 15 cm de profundidad respectivamente. Esto refleja el efecto del estiércol sobre el incremento de MO en el suelo, debido principalmente a su alta concentración. Esto explica, el por qué, en los tratamientos con estiércol se observó un incremento de la MO después de 4 años de estar aplicando las mismas dosis en el mismo sitio, debido

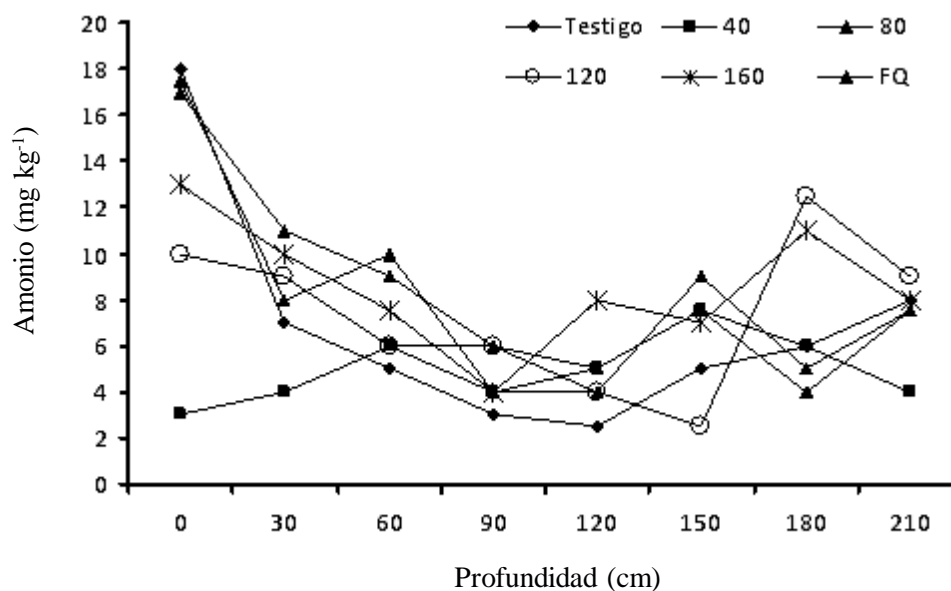


Figura 3. Distribución del amonio a través del perfil de un suelo abonado con tratamientos de estiércol y uno de fertilizante químico (FQ), durante cinco años consecutivos, CAE-FAZ-UJED, 2006.

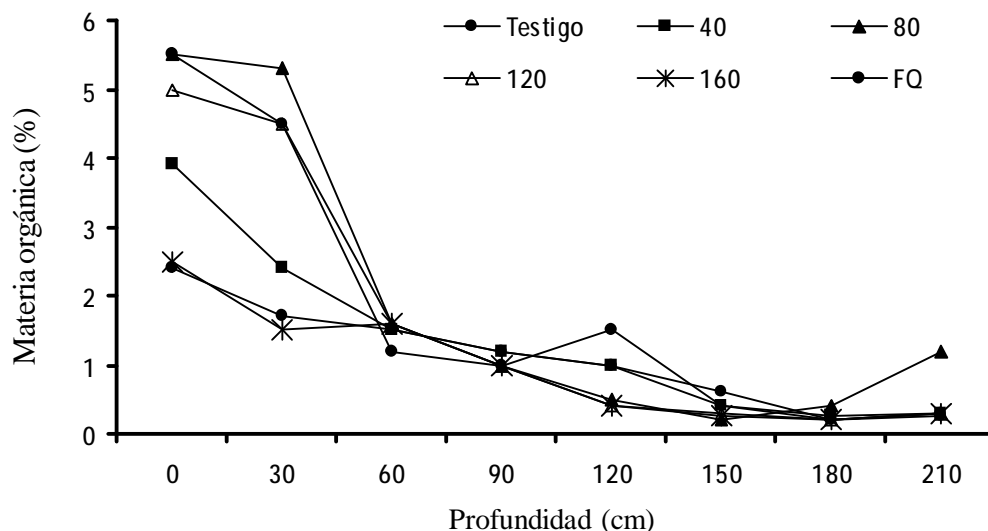


Figura 4. Distribución de la materia orgánica a través del perfil de un suelo abonado con tratamientos de estiércol y una de fertilizante químico (FQ), durante cinco años consecutivos, CAE-FAZ-UJED, 2006.

a la biodegradación del estiércol, ya que éste contiene más del 5% de MO. La aplicación apropiada de abonos orgánicos en suelos agrícolas aumenta como medio de disposición, reciclaje de nutrientes y conservación del agua (López *et al.*, 2001). La descomposición de MO depende de los microorganismos presentes y es un concepto general de una secuencia completa de procesos muy detallados en los cuales los organismos utilizan los compuestos orgánicos como fuente de alimento (Cabrera *et al.*, 2005; Lamm y Schlegel, 2000).

Los beneficios de la MO en suelos agrícolas son físicos, químicos y biológicos, ya que mejoran la estructura, evitan la compactación y la erosión, aumentan la retención de humedad, y mejora la capacidad de intercambio catiónico, como lo mencionan Castellanos *et al.* (1996). Fitzpatrick (1996) señala que la mayoría de los suelos contienen 1.6% de MO, o menos pero en suelos muy áridos; el porcentaje baja a menos de uno y en suelos donde se ha aplicado estiércol consecutivamente en dosis de más de 100 Mg ha<sup>-1</sup>

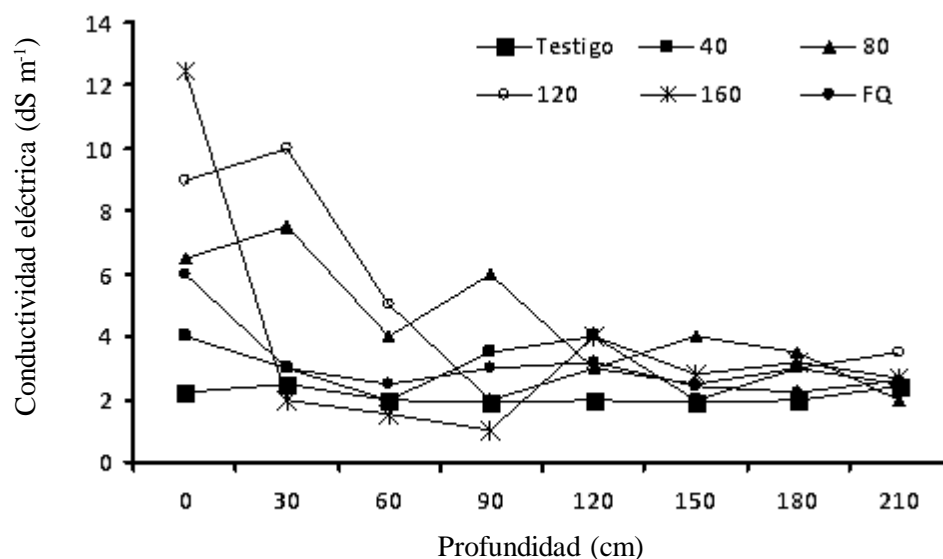


Figura 5. Distribución de la conductividad eléctrica a través del perfil de un suelo abonado con tratamientos de estiércol y uno de fertilización química (FQ), durante cinco años consecutivos, CAE-FAZ-UJED, 2006.



la concentración puede alcanzar 5% o más (Salazar *et al.*, 1998a, 2007).

### Conductividad Eléctrica

En los tratamientos de 0 y 40 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol aplicado, así como en el de fertilizante químico, se presentan las más bajas CE con valores de entre 3.65 dS m<sup>-1</sup> en el testigo y 7.16 dS m<sup>-1</sup> máximo en el tratamiento donde se aplicó estiércol con 80 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 5). Los tratamientos 80, 120 y 160 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol presentan CE en el estrato de 0-15 cm mayores a los límites permisibles que son de 4 dS m<sup>-1</sup> (Figura 5). Castellanos *et al.* (1996) encontró que el estiércol a medida que se incrementaba la cantidad aplicada al suelo, la CE aumentaba debido a que una tonelada de estiércol contiene alrededor de 50 kg de sales. Los valores para el tratamiento de 80 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol aplicado en el mismo estrato ya mencionado van de 12.8 a 13.1 dS m<sup>-1</sup>. Para el tratamiento de 120 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol los valores son de 9.62 a 13.5 dS m<sup>-1</sup>. En el tratamiento de 160 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol los valores van del 12.22 a 12.85 dS m<sup>-1</sup>. Estos valores sugieren que el uso y manejo del estiércol se realice con extremo cuidado para no contaminar el suelo con sales comerciales e inclusive después de dos años de aplicar el estiércol monitorear el suelo mínimo tres meses antes de la siembra y bajar la dosis de estiércol a aplicar e inclusive no aplicarlo sino hasta el siguiente año.

### CONCLUSIONES

- Con respecto al cultivo de maíz solo o asociado no existió diferencia estadística en producción pero, si en tratamientos de estiércol bovino.
- Los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos de 120 y 80 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol aplicado. Las concentraciones de nitratos y amonio, a través del perfil de suelo, fueron más altas en los estratos superiores (0-30 cm); mientras que a 210 cm de profundidad la tendencia es al cero, lo que confirma una más alta mineralización a las profundidades más cercanas a la superficie del suelo.
- Para los tratamientos de estiércol y en el estrato de 0-30 cm de profundidad la conductividad eléctrica superó los límites permisibles (4 dS m<sup>-1</sup>); mientras que en los estratos de 30 a 210 los valores se conservan por debajo del límite permisible.

- La materia orgánica se incrementó en los estratos de 0-7.5 y 7.5 15 cm de profundidad principalmente en los tratamientos con dosis más altas de estiércol.
- El mejor tratamiento de estiércol fue el de 120 Mg ha<sup>-1</sup> con 101.0 Mg ha<sup>-1</sup> de forraje verde y 20.2 Mg ha<sup>-1</sup> de forraje seco.

### LITERATURA CITADA

- Cabrera, M. L., D. E. Kissel, and M. F. Vigil. 2005. Nitrogen mineralization from organic residues: Research opportunities. *J. Environ. Qual.* 34: 75-79.
- Castellanos, J. Z., J. J. Márquez O., J. D. Etchevers, A. Aguilar Santelises y J. R. Salinas. 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.
- Christensen, N. B., B. Lindeman, E. Salazar-Sosa, and R. L. Gil. 1994. Nitrogen and carbon dynamics in no-till and stubble mulch tillage system. *Agron. J.* 86: 298-303.
- Etchevers B., J. D., W. G. Espinoza y E. Riquelme. 1971. Manual de fertilidad y fertilizantes. 2ª ed. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. Chillán, Chile.
- FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations). 2008. Current world fertilizer trends and outlook to 2011/2012. Electronic publishing policy and support branch. Rome, Italy.
- Figueroa V., U. 2002. Fertilización en maíz forrajero. pp. 19-33. *In: Producción y utilización del maíz forrajero en la Laguna. INIFAP-CELALA. Matamoros, Coahuila, México.*
- Fitzpatrick, E. A. 1996. Introducción a la ciencia de los suelos. Editorial Trillas. México, D. F.
- Flores-López, H. E., R. Carrillo González, N. Francisco Nicolas, C. Hidalgo Moreno, J. A. Ruiz Corral, A. A. Castañeda Villanueva y R. Velasco Nuño. 2009. Aportes de nitrógeno y fósforo de tres sistemas agrícolas de la cuenca hidrográfica "El Jihuite", en Jalisco, México. *Agrociencia* 43: 659-669.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Editorial Offset Larios, S. A. México, D. F.
- Giulietti, A. L., O. M. Ruiz, H. E. Pedranzani y O. Terenti. 2008. Efecto de cuatro lombricompostos en el crecimiento de plantas de *Digitaria eriantha*. *Rev. Int. Bot. Exp.* 77: 137-149.
- Lamm, F. R. and A. J. Schlegel. 2000. Nitrogen fertilization for corn production when using lepa center pivot sprinklers. National Irrigation Symposium proceeding of the 4<sup>th</sup> Decennial Symposium, November 14-16. Phoenix, AZ, USA.
- López M., J. D., A. Díaz E., E. Martínez R. y R. D. Valdez C. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra* 19: 293-299.
- Ludwick, A. E., J. O. Reuss, and E. J. Langin. 1976. Soil nitrates following your years corn and as surveyed in irrigated farm fields of central and eastern Colorado. *J. Environ. Qual.* 5: 82-86.
- Martínez G., A. 1996. Diseños experimentales: métodos y elementos de teoría. Ed. Trillas. México, D. F.
- Reta, S. D., J. Carrillo S., A. Gaytán M., E. Castro M. y J. A. Cueto W. 2002. Guía para cultivar maíz forrajero en surcos estrechos. INIFAP-CIRNOC-CELALA. Matamoros, Coahuila, México.

- Romero L., M. R., A. Trinidad S., R. García E. y R. Ferrara C. 2000. Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia* 34: 261-269.
- Salazar-Sosa, E., A. Beltrán-Morales, M. Fortis-Hernández, J. A. Leos-Rodríguez, J. A. Cueto-Wong y C. Vázquez-Vázquez. 2003a. Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de avena forrajera con tres sistemas de labranza. *Terra* 21: 561-567.
- Salazar Sosa, E., A. Beltrán Morales, M. Fortis Hernández, J. A. Leos Rodríguez, J. A. Cueto Wong, C. Vázquez Vázquez y J. J. Peña Cabriales. 2003b. Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. *Terra* 21: 569-575.
- Salazar Sosa, E., H. I. Trejo Escareño, C. Vázquez Vázquez y J. D. López Martínez. 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. *Rev. Int. Bot. Exp.* 76: 169-185.
- Salazar S., E., T. J. A. Montemayor y M. Fortis H. 2004. Producción sustentable de maíz forrajero con aplicación de estiércol bovino bajo riego subsuperficial. *Desarrollo Tecnológico. FAZ-UJED. Venecia, Durango, México.*
- Salazar Sosa, E., J. A. Leos Rodríguez, M. Fortis Hernández y C. Vázquez Vázquez. 2002. Nitrogen recovery and uptake by wheat and sorghum in stubble and no-tillage systems. *Agrociencia* 36: 433-440.
- Salazar-Sosa E., W. C. Lindemann, M. Cárdenas E., and N. B. Christensen. 1998a. Nitrogen mineralization and distribution through the root zone in two tillage systems under field conditions. *Terra* 16: 163-172.
- Salazar-Sosa, E., W. C. Lindemann, G. Smith, and M. Cárdenas. 1998b. Comparison of nitrogen mineralization and denitrification under laboratory conditions between two tillage systems. *Terra* 16: 173-180.
- Teasdale, J. R. and A. A. Abdul-Baki. 1995. Soil temperature and tomato growth associated with black polyethylene and hairy vetch mulches. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 120: 848-853.
- Vigil, M. F. and D. E. Kissel. 1995. Rate of nitrogen mineralized from incorporated crop residues as influenced by temperature. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1636-1644.
- Van Kessel, J. S. and J. B. Reeves. 2002. Nitrogen mineralization potential of dairy manures and its relationship to composition. *Biol. Fertil. Soils* 36: 118-123.