

EFECTO DE LA APLICACIÓN CONTINUA DE ESTIÉRCOL BOVINO SOBRE EL CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE MAÍZ Y CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO

Marta Barrios¹ y Dayana Pérez²

RESUMEN

Para evaluar el efecto de la aplicación continua de estiércol bovino (EB) sobre el crecimiento y producción del maíz DK-357, y algunas propiedades químicas del suelo, se realizó un experimento en una zona del distrito Zamora, estado Aragua, Venezuela, durante cuatro años sucesivos (2012-2016). El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con cuatro repeticiones. El área de parcela fue de 5 x 6 m², con cinco hileras de 6 m de largo y 1 m de separación, y distancia entre plantas de 0,25 m. Las dosis utilizadas de EB fueron 60, 120 y 180 Mg·ha⁻¹. Se empleó además, un testigo químico TQ (120 kg·ha⁻¹ de N como urea) y un testigo absoluto (sin EB ni TQ). En toda el área experimental se aplicaron, antes de la siembra, 60 kg·ha⁻¹ de P₂O₅ y 60 kg·ha⁻¹ de K₂O. Se aplicaron las mismas dosis en cada ciclo de cultivo cada año y en las mismas parcelas sembradas con el cultivo. Se realizaron tres muestreos tanto de planta como de suelo 30, 60 y 120 después de la siembra. Los muestreos de suelo se efectuaron a tres profundidades, 15, 30 y 45 cm. La aplicación continua de estiércol bovino tuvo efecto positivo sobre la altura de planta, diámetro del tallo, índice de área foliar, NO₃⁻ en savia, producción de materia seca y rendimiento en grano. Los contenidos de materia orgánica y nitrato en el suelo fueron mayores a 0-15 cm de profundidad, a las dosis más altas de estiércol, en todos los muestreos. Los valores de conductividad eléctrica aumentaron en función de la dosis de EB, sin causar síntomas por estrés salino en el cultivo.

Palabras clave adicionales: Conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrato, savia, *Zea mays* L.

ABSTRACT

Effect of continuous application of cow manure on corn growth and yield, and chemical properties of soil

This experiment was conducted during four consecutive years (2012-2016) at a field in Zamora District, Aragua State, Venezuela, to evaluate the effect of cow manure (CM) on DK-357 corn growth and yield and some chemical properties of soil. The experimental design was a randomized complete block, with four replications. Plots were 5.0 x 6.0 m², containing five rows of 6 m length, spaced 1.0 m apart and 0.25 m between plants. Cow manure rates applied were 60, 120 y 180 Mg ha⁻¹. Additionally, a chemical control CC (120 kg·ha⁻¹ of N as urea) and an absolute control (neither CM nor CC) were used. The whole experimental site received 60 kg·ha⁻¹ P₂O₅ and 60 kg·ha⁻¹ K₂O at sowing. Same rates were applied each crop cycle each year, at same plots planted with the crop. Three samplings were performed, both plant and soil, 30, 60 and 120 days after planting. Soil samplings were executed at 15, 30 and 45 cm deep. Continuous application of cow manure had a positive effect on plant height, stem diameter, leaf area index, nitrate in sap, dry matter and grain yield. Contents of organic matter and soil nitrate were higher at 0-15 cm deep, at higher cow manure rates, in all samples. Electrical conductivity values increased in function of cow manure rates, without salt stress symptoms in the corn crop.

Additional key words: Electrical conductivity, nitrate, organic matter, sap, *Zea mays* L.

INTRODUCCIÓN

En Venezuela la producción de maíz se ubica en suelos pobres en nutrientes y bajos contenidos de materia orgánica, deficientes en nitrógeno y otros elementos nutritivos esenciales para las plantas (Solórzano y Rengel, 2004). Los suelos

maiceros venezolanos en su mayoría se caracterizan por ser pesados y con tendencia a anegarse, lo que complica el laboreo y el manejo de la fertilización, lo que causa problemas de degradación (Barrios et al., 2012). La urea ha sido siempre la fuente de nitrógeno más utilizada, con pérdidas importantes de nitrógeno debido a

Recibido: Diciembre 11, 2017

Aceptado: Abril 13, 2018

¹Instituto de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela.

²Instituto de Botánica Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela Apdo. 2101. Maracay, Venezuela. e-mail: martabarrios3@gmail.com; dayanaperez@gmail.com

volatilización, lo cual disminuye la eficiencia de uso del nitrógeno por la planta (Barbieri et al. 2005).

La aplicación de fertilizantes orgánicos como el estiércol bovino (EB) pudiera ser una alternativa para el manejo de la fertilización de estos suelos por sus efectos positivos sobre algunas características químicas, tales como aumento del nitrógeno total, del fósforo disponible y de la materia orgánica, lo que favorece a largo plazo la fertilidad (Lazo et al., 2014). También el estiércol puede tener efectos beneficiosos en el mediano y largo plazo, sobre las propiedades físicas del suelo como la infiltración, la retención de humedad, la agregación y la conductividad hidráulica, disminuyendo la densidad aparente (Ramos y Terry, 2014).

En Venezuela el aumento del rendimiento de los cultivos se relaciona generalmente con el uso de fertilizantes inorgánicos; sin embargo, en los actuales momentos el difícil acceso a este tipo de fertilizantes y sus altos costos han conducido a la búsqueda de fuentes de fertilización alternativas; en este caso fuentes orgánicas con el fin de disminuir las dosis de fertilizantes químicos (NPK) y propiciar un impacto positivo sobre la conservación del suelo y una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno por el cultivo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación durante cuatro años consecutivos de EB sobre el crecimiento vegetativo y rendimiento del maíz, y algunas propiedades químicas del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el asentamiento campesino Arenales, distrito Zamora, estado Aragua, Venezuela ($10^{\circ}6'N$ - $67^{\circ}35'W$) en cuatro años sucesivos (2012-2016). La zona presenta suelos pertenecientes a la serie Tocorón, de moderada a baja fertilidad, caracterizados por un alto contenido de arcilla en todo el perfil, texturas franco-arcillosas a arcillosas, estructura poco desarrollada, drenaje regular, pH 6,6-8,0, contenidos medios de materia orgánica (2,5 %) y conductividad eléctrica (CE) $1,3 \text{ dS m}^{-1}$; la precipitación y temperatura promedios fueron 811 mm y $26^{\circ}C$, respectivamente.

Las aplicaciones del EB comenzaron en 2012 hasta 2016 y se aplicaron las mismas dosis en

cada ciclo de cultivo cada año, antes de la siembra, en las mismas parcelas sembradas con el híbrido de maíz blanco semi-cristalino DK-357. La composición química del estiércol utilizado fue pH 7,8; CE $0,645 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$; Ca 2,98 %; Mg 0,95 %; Na 0,85 %; K 1,63 %; P 0,8 %; N total 1,2 %; NH_4 0,112 %; materia orgánica descompuesta 5,23 %, humedad 9,5 %.

Las dosis de estiércol utilizadas fueron 60 (T1), 120 (T2) y 180 (T3) $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Se empleó, además, un testigo químico (T4) identificado como TQ ($120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N como urea) y un testigo absoluto identificado como T0 (sin EB ni TQ). La dosis de urea se seleccionó debido a que es muy utilizada por los productores de maíz de la zona. En toda el área experimental se aplicaron antes de la siembra $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P como P_2O_5 y $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K como K_2O . Se aplicó en cada ciclo de cultivo una lámina de agua de 5 mm diarios de riego suplementario por gravedad (surcos).

El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con cuatro repeticiones. El área de las parcelas fue $5,0 \times 6,0 \text{ m}^2$, con cinco hileras de 6 m de largo y 1,0 m de separación, y una distancia entre plantas de 0,25 m.

Las variables evaluadas durante el cuarto ciclo del ensayo fueron las siguientes:

Altura de la planta: Se midió desde el nivel del suelo hasta el ápice en ocho plantas marcadas en las dos hileras centrales de cada parcela. Las mediciones se realizaron a los 30, 60 y 120 días después de la siembra (dds).

Diámetro del tallo: se midió en el segundo entrenudo del tallo, utilizando un vernier, en las mismas plantas y épocas usadas para la altura de la planta.

Índice de área foliar (IAF): se seleccionaron al azar dos plantas por unidad experimental y se les determinó el área foliar con un medidor Bio-Science Láser portátil CI-202. Para obtener el IAF se dividió el valor entre la superficie de suelo ocupada por la planta.

Materia seca (MS): se muestrearon 12 plantas al azar cortándolas desde la base y se llevaron a estufa a una temperatura de $60\text{-}65^{\circ}C$ durante dos días. Finalizado este período se pesaron nuevamente y se estimó la cantidad de MS.

Rendimiento en grano: Se cosecharon manualmente 10 m^2 en cada unidad experimental; se determinó la humedad del grano en madurez fisiológica y se utilizaron estos registros para

expresar el rendimiento al 12% de humedad del grano.

Nitrato en savia: para estas determinaciones se utilizó un electrodo ion específico de NO_3^- , Cardi Plant Nutrient Meter, Horiba. A los 30 dds se muestrearon ocho plántulas de las cuales se separaron las hojas, éstas se cortaron en trozos y se colocaron en una prensa hidráulica para extraerles la savia la cual fue refrigerada a 5°C. El mismo procedimiento se repitió a los 60 dds utilizando la hoja debajo de la mazorca y a los 120 dds usando la quinta hoja de la planta debajo de las que forman el cogollo. En cada caso se tomaron ocho plantas de las dos hileras centrales de cada parcela. Para la determinación de los nitratos las muestras se dejaron a temperatura ambiente y la lectura se realizó en una gota de savia.

Nitrato en el suelo: se realizaron tres muestreos de suelo (30, 60 y 120 dds) a tres profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm), coincidentes con los muestreos de tejido vegetal. Para la determinación de nitratos en el suelo, las muestras fueron secadas a 50 °C, molidas y pasadas por un tamiz N° 2. Se tomaron 40 g de suelo a los que se adicionaron 100 mL de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 0,025 F; se agitó constantemente durante 30 minutos y se filtró. Estos extractos fueron posteriormente utilizados para la determinación de nitratos en un analizador de iones Lachat, mod. QuickChem AE.

Conductividad Eléctrica: se utilizó un medidor Hanna HI 9811.

Materia orgánica (MO): se determinó por el método de combustión húmeda de Walkley-Black.

Análisis estadístico: El tratamiento estadístico de los resultados se realizó a través del análisis de varianza y prueba de medias de Tukey. Asimismo, se realizaron análisis de regresión entre las dosis de EB y los valores finales de conductividad eléctrica, materia orgánica y nitratos en el suelo. Para todos los análisis se utilizó el programa Statistix 8.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables en la planta. Para la altura de planta tanto a los 30 dds como a los 60 y 120 dds se observaron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos fertilizados y el testigo absoluto, el cual presentó siempre los menores valores (Cuadro 1). Dado que el testigo

absoluto recibió aplicaciones iniciales de P y K, esta respuesta de las plantas se atribuye al nitrógeno contenido en el EB y la urea. Según Taiz y Zeiger (2010), el nitrógeno es el elemento mineral requerido en mayor cantidad por las plantas y es constituyente fundamental de aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos, por lo que su deficiencia inhibe el crecimiento de la planta. A los 30 dds, los tratamientos con EB y FQ presentaron tendencias similares, sin diferencias significativas entre ellos ($P > 0,05$). A los 60 y 120 dds la dosis menor de EB se diferenció de las dosis mayores y del FQ alcanzando valores significativamente más bajos ($P \leq 0,05$). La altura de planta es un indicador importante de las diferencias entre los tratamientos de fertilización aplicados (Lazo et al., 2014), por lo que es evidente que la aplicación continuada durante varios años del EB estimuló el crecimiento de la planta de maíz. Lo anterior también se cumplió para el diámetro del tallo lográndose valores más altos a las dosis más elevadas de EB; a los 60 y 120 dds se obtuvieron los mayores valores de diámetro de tallo a la dosis más elevada de EB ($180 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Un mayor diámetro de tallo representa mayor dureza y por tanto mayor resistencia al acame. El efecto sobre el diámetro del tallo en maíz también ha sido reportado por Magallanes et al. (2006). Por su parte, Betancourt et al. (1998) encontraron que con las mayores dosis de N en maíz se obtuvieron diámetros superiores en 21 % a los del testigo.

A los 30 y 60 dds, entre las plantas que recibieron EB, el IAF fue mayor en la dosis más alta del estiércol (Cuadro 1). Este indicador representa un factor importante para la optimización de la productividad del cultivo ya que un mayor IAF, dentro de determinados límites, favorece la acumulación de materia seca. De Grazia et al. (2007) encontraron que la adición de compost en maíz aumentaba la cantidad de follaje a medida que se incrementaban las dosis de ese material orgánico.

El aumento del diámetro del tallo y la materia seca acumulada en la planta en el tratamiento con la mayor dosis de EB en comparación con el tratamiento de urea puede atribuirse a la disponibilidad adicional del N y K presentes en el estiércol. Estos resultados ponen de manifiesto las bondades de la adición del EB siempre que se le dé el manejo apropiado.

Cuadro 1. Crecimiento vegetativo y niveles de nitrato en diferentes días después de siembra (dds) luego de la aplicación continua de EB durante cuatro años en maíz DK-357. T0 (testigo absoluto); T1, T2 y T3 (60, 120 y 180 Mg·ha⁻¹ de EB); T4 (120 kg·ha⁻¹ de N como urea)

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Índice de área foliar	Nitrato en savia (mL·L ⁻¹)	Materia seca (g·planta) (kg·ha ⁻¹)	
30 dds						
T0	93,50 b	10,61 d	1,05 c	210,75 b	16,62 b	664,8
T1	121,50 a	13,03 c	1,47 b	391,75 a	37,84 a	1513,5
T2	121,00 a	16,20 b	1,52 b	392,25 a	38,43 a	1537,3
T3	125,80 a	16,43 a	1,75 a	393,75 a	37,95 a	1518,0
T4	124,50 a	16,22 b	1,76 a	380,50 a	37,25 a	1489,8
60 dds						
T0	251,25 c	15,23 e	4,03 c	83,75 d	81,28 c	3251,3
T1	280,00 b	16,77 d	4,47 b	145,50 b	203,44 b	8137,5
T2	287,25 a	18,71 b	4,91 a	153,25 ab	226,10 a	9043,8
T3	293,50 a	19,81 a	4,88 a	156,50 a	227,06 a	9082,3
T4	291,25 a	17,74 c	4,66 ab	129,00 c	208,44 b	8337,5
120 dds						
T0	263,75 c	15,69 e	2,54 b	57,25 b	123,00 c	4958
T1	269,25 b	17,99 d	2,86 a	95,00 a	266,00 b	10640
T2	288,00 a	18,78 c	2,90 a	95,00 a	283,52 a	11341
T3	290,00 a	19,89 a	2,98 a	103,75 a	288,75 a	11550
T4	289,25 a	18,86 b	2,93 a	105,75 a	271,25 b	10850

Medias con la misma letra en cada columna no son significativas estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

El contenido de nitrato en savia presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos de fertilización y el testigo absoluto (Cuadro 1). Los mayores contenidos de nitrato se obtuvieron a los 30 dds, y fueron disminuyendo hasta los 120 dds. Barrios et al. (2012) encontraron que los contenidos de nitrato son más bajos al momento de la cosecha debido al alto consumo de N cerca de la floración o prefloración, y a probables deficiencias en el suelo debido a procesos de lixiviación del nitrato.

A los 30 dds no hubo diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados, mientras que a los 60 dds el mayor contenido de nitrato en savia se obtuvo en los tratamientos con EB con respecto al testigo químico (TQ); esto pone de manifiesto el efecto positivo de la aplicación de estiércol sobre la disponibilidad de N para el cultivo, dado que la liberación de este nutriente a partir del nitrógeno orgánico es un proceso microbiano a largo plazo, y que continúa por largo tiempo después de ser aplicado, mejorando la suplencia del nutriente a lo largo del ciclo del cultivo (Roberts, 1998).

La producción de MS (Cuadro 1) no presentó

diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados a los 30 dds pero si con el testigo absoluto. A los 60 y 120 dds los mayores valores de MS se obtuvieron con las dosis más altas de EB, superando al TQ, lo cual también puede asociarse con los remanentes en el suelo de la aplicación continua del estiércol durante cuatro años consecutivos, bajo las mismas condiciones. Otros autores también encontraron mayor producción de materia seca en tratamientos a base de estiércol (Cueto et al., 2003; Salazar et al., 2003; Salazar et al., 2009). Trejo et al. (2010) encontraron que dosis continuas de 120 Mg·ha⁻¹ de EB lograron superar en varios años al testigo químico que contenía N y P en cuanto a la producción de maíz para forraje.

En cuanto al rendimiento en grano (Cuadro 2), éste presentó diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados, alcanzando valores de 8142,5 kg·ha⁻¹ con la dosis más alta de EB. Según la Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuarios de Venezuela, el rendimiento medio nacional para el año 2015 fue de 3448 kg·ha⁻¹ (Fedeagro, 2015). Este resultado permite afirmar que la aplicación de un abono orgánico

puede aumentar el suministro de nutrientes para la planta a largo plazo, lo que incidiría directamente en un mejor desarrollo vegetativo y productividad del cultivo de maíz. Resultados similares fueron obtenidos por De Luna et al. (2016).

Cuadro 2. Rendimiento del maíz DK-357 luego de cuatro años de aplicación continua de estiércol bovino (EB). T0 (testigo absoluto); T1, T2 y T3 (60, 120 y 180 Mg·ha⁻¹ de EB); T4 (120 kg·ha⁻¹ de N como urea)

Tratamiento	Rendimiento en grano (kg·ha ⁻¹)
T0	5542,5 d
T1	7762,5 c
T2	7943,8 b
T3	8142,5 a
T4	7723,8 c

Medias con la misma letra no son significativas estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Variables en el suelo. Los valores de conductividad eléctrica presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0,05$) y fueron más elevados en los tratamientos de EB en las tres profundidades del suelo y todos los muestreos. El análisis de regresión realizado con los datos del Cuadro 3 permitió conocer las variaciones de la CE debidas a la aplicación del estiércol en los primeros 15 cm de profundidad del suelo. Los modelos generados se muestran en la Figura 1 y fueron significativos al nivel de $P \leq 0,01$. A los 30, 60 y 120 dds se obtuvieron incrementos de 0,55, 0,58 y 0,70 dS·m⁻¹ por cada 100 Mg·ha⁻¹ de estiércol aplicado, respectivamente. Esto pudiera relacionarse con un menor lavado de sales a esta profundidad (Villafañe et al., 2004).

Los valores de salinidad alcanzados no afectaron al cultivo ya que éste no mostró síntomas asociados al estrés salino. Por su parte, Trejo et al. (2013) detectaron que dosis altas de EB causaron valores altos de salinidad, pero observaron que al suspender la aplicación se logró disminuir éstos, por lo que recomendaron el monitoreo del suelo cuando se aplica estiércol para mantener un nivel de sales que no afecte al cultivo.

Con respecto al contenido de MO en el suelo

30, 60 y 120 dds, en las diferentes profundidades evaluadas se obtuvieron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos y el testigo (Cuadro 3). Se puede observar que la MO fue menor en el tratamiento sin N y se fue incrementando en los tratamientos con EB, hasta alcanzar valores de 3,96 % a la profundidad 0-15 cm a los 30 dds. El contenido de materia orgánica en el tratamiento con FQ siempre fue más bajo que en los tratamientos con EB. A diferencia del fertilizante químico, el estiércol puede tener un efecto positivo sobre las características físico-químicas y biológicas del suelo a largo plazo. La tasa de infiltración y la densidad aparente pueden ser mejoradas por efecto de la aplicación continua de estiércol (Salazar et al., 2007; Del Pino et al., 2008).

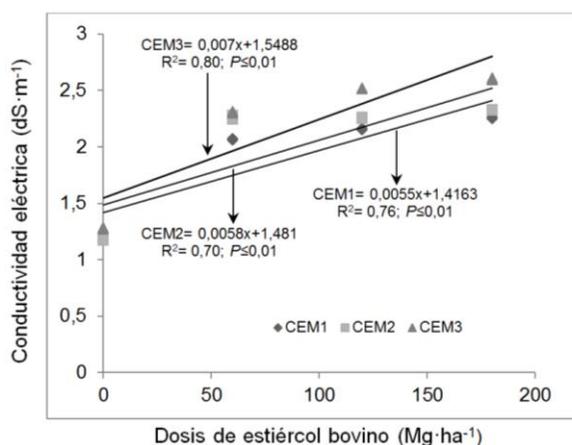


Figura 1. Cambios en la conductividad eléctrica (CE) en los primeros 15 cm de suelo, a los 30, 60 y 120 días después de la siembra (dds) del cultivo de maíz, en función de las dosis de estiércol (Mg·ha⁻¹). CEM1: CE30dds; CEM2: CE60dds; CEM3: CE120dds.

Los resultados del análisis de regresión ($P \leq 0,01$) presentados en la Figura 2 permitieron conocer la magnitud del incremento de materia orgánica con la aplicación del estiércol a la profundidad 0-15 cm. A los 30, 60 y 120 dds se obtuvieron incrementos en el contenido de materia orgánica de 0,82, 0,89 y 1,05 % por cada 100 Mg ha⁻¹ de estiércol aplicado, lo que indica que existe un efecto positivo del estiércol aplicado a través del tiempo, sobre el contenido de materia orgánica del suelo. Resultados con similar tendencia fueron obtenidos por Eghballet al. (2004), Sánchez et al. (2011) y Mahmood et al. (2017). Con relación al

nitrate, los mayores contenidos se obtuvieron en el tratamiento con 180 Mg·ha⁻¹ de EB a los 30 dds,

en todas las profundidades, en comparación a los conseguidos a los 60 y a los 120 dds (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variaciones en los valores de conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO) y nitratos (NO₃⁻) a diferentes profundidades de suelo y días después de la siembra (dds) en maíz DK-357, luego de cuatro años de aplicación continua de estiércol bovino (EB). T0 (testigo absoluto); T1, T2 y T3 (60, 120 y 180 Mg·ha⁻¹ de EB); T4 (120 kg·ha⁻¹ de N como urea)

30 dds									
Tratamiento	CE dS m ⁻¹	MO %	NO ₃ mg kg ⁻¹	CE dS m ⁻¹	MO %	NO ₃ mg kg ⁻¹	CE dS m ⁻¹	MO %	NO ₃ mg kg ⁻¹
Profundidad (cm)									
	0-15			15-30			30-45		
T0	1,18 e	2,45 e	12,98 e	1,09 d	2,35 e	11,66 e	1,05 d	2,40 e	11,19 e
T1	2,07 c	3,28 c	15,33 c	2,02 b	3,12 c	12,98 c	2,00 b	3,21 c	11,60 c
T2	2,15 b	3,66 b	21,26 b	2,02 b	3,31 b	20,25 b	2,01 b	3,34 b	18,24 b
T3	2,26 a	3,96 a	22,76 a	2,16 a	3,45 a	21,44 a	2,14 a	3,41 a	19,03 a
T4	1,39 d	3,10 d	15,01 d	1,31 c	2,95 d	12,05 d	1,30 c	2,92 d	11,50 d
60 dds									
Tratamiento	CE	MO	NO ₃	CE	MO	NO ₃	CE	MO	NO ₃
Profundidad (cm)									
	0-15			15-30			30-45		
T0	1,18 d	1,92 d	8,31 e	1,15 d	1,68 e	7,42 e	1,11 d	1,44 e	7,51 e
T1	2,25 b	3,38 b	14,48 c	2,11 c	3,08 c	13,38 c	2,08 b	2,64 b	10,91 c
T2	2,25 b	3,45 b	16,44 b	2,15 b	3,38 b	15,30 b	2,10 b	2,35 c	14,17 b
T3	2,33 a	3,66 a	17,98 a	2,23 a	3,51 a	16,70 a	2,20 a	3,43 a	15,02 a
T4	2,16 c	2,41 c	11,09 d	2,10 c	2,39 d	10,10 d	2,00 c	2,32 d	10,13 d
120 dds									
Tratamiento	CE	MO	NO ₃	CE	MO	NO ₃	CE	MO	NO ₃
Profundidad (cm)									
	0-15			15-30			30-45		
T0	1,28 c	1,93 e	7,69 e	1,25 e	1,87 e	8,08 e	1,22 e	1,61 e	7,61 e
T1	2,31 ab	3,30 c	13,90 c	2,19 c	3,21 c	12,40 c	2,13 c	3,18 c	12,28 c
T2	2,52 a	3,75 b	15,23 b	2,28 b	3,59 b	14,98 b	2,25 b	3,23 b	13,99 b
T3	2,45 ab	3,89 a	17,09 a	2,36 a	3,74 a	15,90 a	2,27 a	3,56 a	14,18 a
T4	2,15 b	2,29 d	10,72 d	2,15 d	2,22 d	9,76 d	2,08 d	2,02 d	8,55 d

Medias con la misma letra en cada columna no son significativas estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Como era de esperarse, los mayores contenidos de nitrato se presentaron en el estrato de suelo más superficial ya que en este estrato las condiciones de mayor humedad, menor fluctuación de la temperatura y mayor acumulación de restos orgánicos en la superficie del suelo, favorecen la actividad de las bacterias nitrificantes (Salazar et al., 2003; Benintende et al., 2008) mientras que los valores más bajos se obtuvieron en el estrato más profundo (30-45 cm) a los 120 dds.

Por otra parte, al final del ciclo del cultivo el nitrato disminuyó como posible consecuencia de procesos de lixiviación y alto consumo de N por la

planta de maíz durante la prefloración (Barrios et al., 2012).

El análisis de regresión (Figura 3) generó modelos significativos ($P \leq 0,01$) observándose que los contenidos de nitrato aumentaron 5,88, 5,17 y 4,91 mg kg⁻¹ por cada 100 Mg·ha⁻¹ de estiércol incorporado al suelo, respectivamente, a los 30, 60 y 120 dds.

Estos resultados demuestran el efecto positivo del estiércol sobre la tasa de mineralización y una mayor disponibilidad de nitrato a dosis mayores de estiércol. Salazar et al. (2007) reportaron resultados similares con la aplicación de dosis de estiércol

superiores a $40 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, obteniéndose aumentos de los contenidos de nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de la planta.

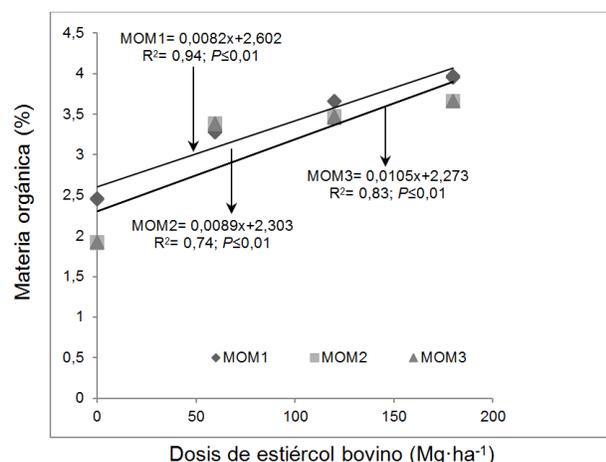


Figura 2. Cambios en los contenidos de materia orgánica (MO) en los primeros 15 cm de suelo, a los 30, 60 y 120 días después de la siembra (dds) del cultivo de maíz, en función de las dosis de estiércol ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$). MOM1: MO30dds; MOM2: MO60dds; MOM3: MO120dds

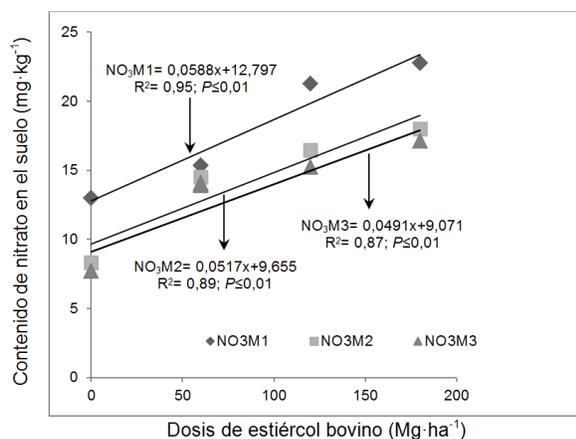


Figura 3. Cambios en los contenidos de nitrato (NO_3) en los primeros 15 cm de suelo, a los 30, 60 y 120 días después de la siembra (dds) del cultivo de maíz, en función de las dosis de estiércol ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$). $\text{NO}_3\text{M1}$: $\text{NO}_3\text{30dds}$; $\text{NO}_3\text{M2}$: $\text{NO}_3\text{60dds}$; $\text{NO}_3\text{M3}$: $\text{NO}_3\text{120dds}$.

CONCLUSIONES

La aplicación continua, durante cuatro años consecutivos, de estiércol bovino tuvo un efecto positivo sobre el crecimiento vegetativo y nitratos

en la planta, así como en el rendimiento en grano del híbrido de maíz DK-357. La materia orgánica del suelo también se vio favorecida en los tratamientos con EB así como el contenido de NO_3^- a las dosis más altas aplicadas en el estrato 0-15 cm, en todos los muestreos. Los valores de CE fueron más altos en el estrato de suelo más superficial y aumentaron en función de la dosis de EB sin causar síntomas visibles de estrés salino en el cultivo. La utilización de este tipo de estiércol podría ser una alternativa adicional para disminuir las dosis de fertilizantes químicos y mejorar los contenidos de MO y N total en el suelo.

LITERATURA CITADA

- Barrios, M., L. Villarreal, K. Ferez y C. Basso. 2012. Evaluación del efecto de tres fuentes nitrogenadas sobre la absorción de nitrógeno y el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.). Rev. Fac. Agron. (LUZ) 29(2): 202-227.
- Benintende, M., J. De Battista, S. Benintende, M. Saluzzio, C. Muller y M. Sterren. 2008. Estimación del aporte de nitrógeno del suelo para la fertilización racional de cultivos. Cienc. Doc. Tecnol. 19(37): 141-174.
- Betancourt, P., I. González, B. Figueroa y F. González. 1998. Cobertura vegetativa y fertilización nitrogenada en la producción de maíz. Terra Latinoamericana 16(003):231-237.
- Cueto-Wong, J., H. Quiroga-Garza y C. Becerra-Morales. 2003. Efecto del nitrógeno disponible sobre el desarrollo del ballico anual. I. Producción, calidad de forraje y acumulación de nitratos. Terra 21: 285-295.
- De Grazia, J., P. Tiftonell y A. Chiesa. 2007. Efecto de sustratos con compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*). Cienc. Inv. Agr. 34(3):195-204.
- De Luna-Vega, A., M. García-Sahagún, E. Rodríguez-Guzmán y E. Pimienta-Barrios. 2016. Calidad agronómica de composta con residuos de cítricos. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias 2(3): 354-361.
- Del Pino, A., C. Repetto, C. Mori y C. Perdomo. 2008. Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. Terra Latinoamericana 26: 43-52.

8. Eghball, B., D. Ginting y J. Gilley. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agron. J.* 96: 442-447.
9. Lazo, J., J. Ascensio, J. Ugarte y L. Yzaguirre. 2014. Efecto del humusbol (humato doble de potasio y fósforo) en el crecimiento del maíz en fase vegetativa. *Bioagro* 26(3): 143-152.
10. Magallanes-Quintanar, R., R. Valdez-Cepeda, E. Olivares, O. Pérez, J. García-Hernández y J. López-Martínez. 2006. Compositional nutrient diagnosis in maize grown in calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition* 29: 2019-2033.
11. Mahmood, F., I. Khan, U. Ashraf, T. Shahzad, S. Hussain, M. Shahid, M. Abid y S. Ullah. 2017. Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physico-chemical properties. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 17(1): 22-32.
12. Ramos, D. y E. Terry. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cult. Trop.* 35(4): 52-59.
13. Roberts, T. 1998. El estiércol, almacén de nutrientes para las plantas. *Breves Agronómicas* 3(3): 5-10.
14. Salazar-Sosa, E., C. Vázquez-Vázquez, H. I. Trejo-Escareño y O. Rivera-Olivas. 2003. Aplicación, manejo y descomposición de estiércol de ganado bovino. *In: UJED, SMCS, A. C. y COCYTED (eds.). Agricultura Orgánica.* Gómez Palacio, Durango, México. pp. 18-36.
15. Salazar-Sosa, E., H. Trejo-Escareño, C. Vázquez-Vázquez y J. López-Martínez. 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. *Phyton Rev. Int. Bot. Exp.* 76: 169-185.
16. Salazar-Sosa, E., H. Trejo-Escareño, C. Vázquez-Vázquez, J. López-Martínez, M. Fortis-Hernández, R. Zúñiga-Tarango y J. Amado-Álvarez. 2009. Distribución de nitrógeno disponible en suelo abonado con estiércol bovino en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana* 27: 373-382.
17. Sánchez, S., M. Hernández y F. Ruz. 2011. Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios. *Pastos y Forrajes.* 34(4): 375-392.
18. Solórzano, P. y M. Rengel. 2004. Crecimiento, nutrición y fertilización de cereales en Venezuela: arroz, maíz y sorgo granífero. *Edit. Agroisleña.* Caracas. pp.152.
19. Taiz y Zeiger. 2010. *Plant Physiology.* Sinauer. Sunderland, MA, USA.
20. Trejo-Escareño, H., E. Salazar-Sosa, J. López-Martínez y C. Vázquez-Vázquez. 2013. Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(5): 727-738.
21. Villafañe, R., N. De León, F. Camacho, R. Ramírez y L. Sánchez. 2004. Acumulación y lavado de sales en columnas de suelo regadas con agua salina procedente de un pozo petrolero. *Agronomía Trop.* 54(1): 93-120.