

APLICACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ FORRAJERO CON RIEGO POR GOTEO

Application of Organic Fertilizers in the Production of Forage Corn with Drip Irrigation

Manuel Fortis-Hernández^{1†}, Juan Antonio Leos-Rodríguez², Pablo Preciado-Rangel^{1‡}, Ignacio Orona-Castillo³, José Alberto García-Salazar⁴, José Luis García-Hernández³ y Jorge Arnaldo Orozco-Vidal¹

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de abonos orgánicos (biocompost y vermicompost) en la producción de forraje de un híbrido de maíz amarillo bajo riego por goteo. Los tratamientos consistieron en la aplicación de biocompost (30 Mg ha⁻¹), vermicompost (10 Mg ha⁻¹), fertilización química de 200-100-100 kg ha⁻¹ (N-P-K) y un tratamiento sin fertilizar. El diseño experimental fue bloques al azar. Las variables evaluadas fueron: producción de forraje verde, materia seca, altura de planta, proteína cruda, fibra ácido detergente, fibra neutro detergente, nitratos, energía neta de lactancia, conductividad eléctrica y porcentaje de sodio intercambiable. Los mayores rendimientos de forraje correspondieron a la vermicompost (64 Mg ha⁻¹) y a la biocompost (56 Mg ha⁻¹); los relativos a materia seca fueron de 13 Mg ha⁻¹ y 11 Mg ha⁻¹, respectivamente. El tratamiento de fertilización química produjo 48 Mg ha⁻¹ de forraje verde y obtuvo el valor más elevado de proteína cruda con un 12.68%, seguido del testigo con 11.22%. Sin embargo, los valores en los tratamientos de biocompost (10.41%) y vermicompost (10.23%), se encuentran dentro del valor óptimo (10.33%) de proteína cruda para este cultivo. La biocompost produjo el mayor

valor de fibra ácido detergente (28.68%) así como las mayores cantidades de nitratos, 49.44 mg kg⁻¹, un valor de porcentaje de sodio intercambiable de 4.19 y una conductividad eléctrica de 2.85 mS cm⁻¹. Con relación a la fibra neutro detergente los valores más altos correspondieron a la fertilización química y al testigo (sin fertilizar) con un valor de 52.18%.

Palabras clave: *Zea mays*, *biocompost* y *vermicompost*.

SUMMARY

The objective of the present work was to evaluate the effect of the application of organic fertilizers (biocompost and vermicompost) on the yield of yellow corn forage hybrid under drip irrigation. The treatments consisted of the application of biocompost (30 Mg ha⁻¹), vermicompost (10 Mg ha⁻¹), chemical fertilization 200-100-100 kg ha⁻¹ (N-P-K) and a control treatment without fertilizers. The experimental design was randomized blocks. The evaluated variables were forage yield, dry matter, crude protein, detergent acid fiber, detergent neutral fiber, nitrates, electrical conductivity and percentage of exchangeable sodium. The greatest yield of forage was produced by vermicompost (64 Mg ha⁻¹) and by biocompost (56 Mg ha⁻¹), dry matter was 13 and 11 Mg ha⁻¹, respectively. Chemical fertilization produced 48 Mg ha⁻¹ of forage and the highest value for crude protein, 12.68%, followed by the control, 11.22%; nevertheless, biocompost (10.41%) and vermicompost (10.23%) stayed within the optimal rank (10.33%) for this crop. Biocompost produced the highest value for detergent acid fiber (28.68%), nitrate content (49.44 mg kg⁻¹), percentage of exchangeable sodium (4.19) and electrical conductivity (2.85 mS cm⁻¹). The highest value for detergent neutral fiber was for chemical fertilization and test treatment with 52.18%.

Index words: *Zea mays*, *biocompost* and *vermicompost*.

¹Instituto Tecnológico de Torreón, División de Estudios de Posgrado. Km 7.5 Carretera Torreón-San Pedro. 27170 Ejido Ana, Torreón, Coah., México.

[‡] Autor responsable (fortismanuel@hotmail.com)

[†] Autor para correspondencia (ppreciado@yahoo.com.mx)

² División de Ciencias Económico-Administrativas (DICEA), Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, estado de México.

³ Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango. 35110 Venecia, Gómez Palacio, Durango.

⁴ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

INTRODUCCIÓN

Las tierras agrícolas de la región Centro-Norte de México se han trabajado por más de 50 años de manera intensiva, pero en los últimos 30 los productores redujeron notablemente la aplicación de abonos orgánicos a causa del inicio de una agricultura intensiva (López *et al.*, 2001), generando una disminución en el uso de fertilizantes orgánicos hasta un punto en el que la aplicación de los inorgánicos se convirtió en un problema ambiental en muchos lugares del mundo (Butler *et al.*, 2007). La Comarca Lagunera, región agrícola y ganadera de las más importantes de la república mexicana, localizada en el norte de México, es un ejemplo de estos hechos (Castellanos, 1996). En ella, anualmente se producen cerca de un millón de toneladas de estiércol de bovino, que se aplica de forma directa a los suelos agrícolas, sin tratamiento previo (Serrato *et al.*, 2002 y Fortis *et al.*, 2009).

Los abonos orgánicos se han utilizado desde tiempos remotos y su influencia sobre la fertilidad de los suelos ha sido demostrada (Piccinini *et al.*, 1991), aunque su composición química, el aporte de nutrimentos a los cultivos y su efecto en el suelo, varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad. Los abonos orgánicos pueden prevenir, controlar e influir en la severidad de patógenos del suelo; además, sirven como fertilizantes y mejoradores del suelo (FAO, 1991); y presentan una amplia variación de efectos que dependen del material aplicado y de su grado de descomposición (Abawi y Thurston, 1994). El uso de abonos orgánicos constituye una práctica de manejo fundamental en la rehabilitación de la capacidad productiva de suelos degradados. La adición de residuos vegetales o estiércoles incrementa la actividad y cantidad de la biomasa microbiana del suelo, que en los cultivados varía de 100 a 600 mg kg⁻¹ (Anderson y Domsch, 1989). Una forma de mejorar el manejo del estiércol para evitar la pérdida de nutrimentos es separarlo en sus fracciones líquida y sólida, e incorporar el composteado o inyectar la fracción líquida al suelo o a cualquier otro sustrato en distintos sistemas de producción. De tal manera que el éxito de estos productos radica en la forma de preparación, calidad del compost, clases de microorganismos presentes durante la fermentación, forma como se almacenen los biopreparados y el método de aplicación (Capulín-Grande *et al.*, 2001).

El compostaje y el lombricompostaje del estiércol, son procesos aeróbicos de transformación de residuos

orgánicos, animales y vegetales, que ocurren constantemente en la naturaleza bajo la acción de lombrices, bacterias y hongos descomponedores de la materia orgánica. El aprovechamiento de estos residuos orgánicos cobra cada día mayor importancia como medio eficiente de reciclaje racional de nutrientes, que ayuda al crecimiento de las plantas y devuelven al suelo muchos de los elementos extraídos durante el proceso productivo (Cerrato *et al.*, 2007). Asimismo, mejoran las características físicas y previenen la erosión del suelo, reducen la dependencia de insumos externos de alto costo económico y ambiental, enfocado a una agricultura sostenible, en donde se disminuye y elimina el empleo de agroquímicos a fin de proteger el ambiente, y la salud animal y humana (Acevedo y Pire, 2004).

La fracción líquida que se obtiene del proceso de compostaje del estiércol se conoce como lixiviados de compost, extractos de compost y té de compost y presenta como ventaja una densidad más uniforme (Simpson, 1986). Los lixiviados de compost se producen directamente de las pilas, son ricos en elemento nutritivos y contienen microorganismos y se caracterizan por una coloración negruzca. Los lixiviados han sido considerados, tradicionalmente, como un fertilizante líquido orgánico. Este material está siendo utilizado para el control de plagas y enfermedades, puesto que tienen una gran abundancia y diversidad de microorganismos benéficos, por lo que no son considerados pesticidas (Litterick *et al.*, 2004). Otros contienen químicos antimicrobianos que inhiben el crecimiento de hongos; dada la gran variedad de lixiviados es muy difícil determinar el número de microorganismos benéficos presentes (Capulín-Grande *et al.*, 2001).

Hoy en día, la producción de forrajes de alta calidad sin el uso de fertilizantes sintéticos y haciendo un uso eficiente de agua, es una necesidad en áreas donde la limitación de recursos naturales es alarmante (Salazar *et al.*, 2007). La utilización de sistemas de riego que disminuyan las pérdidas por conducción, aplicación y evaporación se hacen necesarias en la producción de cualquier cultivo. El riego por goteo subsuperficial (RGS) alcanza una de las mayores eficiencias en la aplicación del agua (95%) y permite la dosificación de los fertilizantes por medio del fertirriego satisfaciendo los requerimientos nutrimentales del cultivo y optimizando el manejo de los nutrientes en cada una de las etapas fenológicas (Guevara *et al.*, 2005). El presente trabajo evaluó la aplicación de dos abonos orgánicos, biocompost y la vermicompost con fertirriego en maíz forrajero

para incrementar su rendimiento y calidad, y como una alternativa para reducir el uso de los fertilizantes químicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en el Ejido La Concha, municipio de Torreón, Coahuila, localizado entre los 25° 38' 57.4" N y los 103° 22' 05.2" O, con una altitud de 1200 m. El clima es seco y caluroso, con lluvias en verano e invierno fresco, con una temperatura media anual de 23 °C; con rango de 38.5 °C como media máxima y 16 °C como media mínima (García, 1981). La evaporación anual media aproximadamente es de 2396 mm, la presencia de las heladas ocurre de noviembre a marzo y raras veces en octubre y abril, mientras que la presencia de granizadas se da entre mayo y junio (INIFAP, 1999). De acuerdo a los análisis de suelo realizado, el suelo tiene las siguientes características: migajón arenoso, pH 7.81, materia orgánica 0.91%, nitratos 28.74 mg kg⁻¹, fósforo 38.21 mg kg⁻¹, potasio 175 mg kg⁻¹, conductividad eléctrica (CE) 1.54 mS cm⁻¹ y porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de 3.29.

Los tratamientos evaluados fueron: 1) biocompost (30 Mg ha⁻¹), producto comercial de venta en el mercado local de la región; 2) vermicompost (10 Mg ha⁻¹), obtenida de una empresa comercial; 3) fertilizante químico N-P-K (200-100-100) y 4) testigo absoluto (sin fertilizar). El diseño experimental fue bloques al azar con arreglo en franjas con 4 repeticiones. Los resultados obtenidos se analizaron con el programa estadístico SAS versión 6.12 (SAS, 1998).

Los análisis de laboratorio realizados a biocompost mostraron las siguientes características: nitrógeno total 1.73%, materia orgánica 4.8%, humus total 5.5%, ácidos húmicos y fúlvicos 3.5%, fósforo 1.23%, potasio 2.95%, calcio 5.27, azufre 0.40%, magnesio 0.47%, sodio 0.59% y otros componentes 31.27%. El análisis de la vermicompost mostró los siguientes valores: pH 9.37, N-NO₃- 27.3 mg kg⁻¹, fósforo 6%, potasio 0.94%, calcio 22.40, magnesio 0.15%, sodio 0.62% y hierro 0.38%. El análisis del agua en laboratorio la clasificó como salina de ligera a media (C2S1), apta para el riego.

La biocompost y vermicompost fueron aplicadas e incorporadas con un paso de rastra un mes antes de la siembra en una dosis de 30 y 10 Mg ha⁻¹, respectivamente, para acelerar el proceso de mineralización y estuvieran disponibles los nutrientes para el cultivo (Salazar-Sosa *et al.*, 2002).

La dosis total de fertilización química fue la 200-100-100 (N-P-K) recomendada para producción de maíz forrajero por el INIFAP (2006); utilizándose los siguientes fertilizantes: urea ácida 26-00-00-06 (S), ácido fosfórico (00-53-00); tiosulfato de potasio (KTS) 00-00-25 (P)-17(S), nitrato de calcio (15.5 % N y 19% Ca), nitrato de magnesio (11% N y 10% Mg) y azufre agrícola (93% S), aplicados y dosificados a través del riego por goteo, de acuerdo a las diez etapas fenológicas del cultivo.

El sistema de riego utilizado fue el de goteo subsuperficial (RGS); la cinta de riego fue de calibre 1500 con emisores cada 30 cm y con un gasto de 3.4 litros por hora por metro lineal, enterrada a una profundidad de 30 cm. Se instaló un medidor de flujo para cuantificar el volumen de agua aplicado durante el ciclo del cultivo. Los riegos se aplicaron con base en la evaporación acumulada, medida en un tanque tipo A (Doorenbos y Pruitt, 1984) y afectado por un coeficiente de cultivo (Kc) para diez etapas fenológicas (Zamora *et al.*, 2007 y Tijerina, 1999). Se utilizó el híbrido de maíz amarillo HT90-19HR, cuyas características son: adaptabilidad a diversos ambientes con alta producción de grano, ideal para ensilaje por su alta calidad de forraje, grano amarillo de ciclo intermedio, con una altura de planta de 1.78 a 1.95 m y tolerante al acame. La siembra se llevó a cabo en el ciclo intermedio verano-otoño, el día 2 de julio de 2007 a una distancia de 0.17 m entre plantas y entre surcos a 0.75 m para una densidad de 82 500 plantas por hectárea. Las labores culturales se efectuaron de acuerdo con el paquete tecnológico recomendado por el INIFAP – Campo Experimental La Laguna (INIFAP, 2006).

Se realizaron tres muestreos de suelo; al inicio, a mitad del ciclo y al finalizar el experimento para evaluar algunos parámetros físicos y químicos relevantes. Los muestreos de altura de planta se hicieron en tres fechas, al inicio de encañe, emergencia de estigmas y cosecha.

Las variables evaluadas fueron: suelo (temperatura, humedad, materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y nitratos); planta (altura de planta (AP); rendimiento de forraje verde (RFV) y rendimiento de materia seca (MS)), y calidad del forraje (fibra detergente ácida (FDA), fibra detergente neutra (FDN), proteína cruda (PC) y energía neta de lactancia (ENL)). Los métodos de análisis para las variables físicas y químicas del suelo se tomaron como referencia la NOM-021-RECNAT-2000 (DOF, 2002). La PC se estimó mediante análisis de laboratorio utilizando el método NIRS (Givens *et al.*,

1997) y las fibras ácida y neutra según la técnica descrita por Van Soest *et al.* (1991).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La materia orgánica (MO) en el estrato de 0-30 cm de profundidad, a inicios del ciclo, presentó valores de 0.91%. Su valor más alto ocurrió en el segundo muestreo; los tratamientos de biocompost (0.94%) y fertilizante químico (0.78%) exhibieron los mayores valores. Salazar *et al.* (2007) encontraron 2.21% de MO al final de un experimento después de haber incorporando 40 Mg ha⁻¹ de estiércol de bovino, debido principalmente a que el estiércol contiene un porcentaje más alto de MO (5.35%) que el biocompost (4.48%). Resultados similares fueron reportados por Castellanos (1986), quien señala que la adición de abonos orgánicos al suelo afecta positivamente el contenido de MO y otros elementos.

Wu y Powell (2007) mencionan que el 50% del estiércol es biodegradado en el primer año, lo cual garantiza el contenido de MO en el suelo en predios donde se ha aplicado estiércol por años consecutivos. Julca *et al.* (2006) señalan que el estiércol es una excelente fuente de MO y recomienda su uso para mejorar suelos muy pobres, también reportan concentraciones de MO en el estiércol de alrededor de 5%. Fitzpatrick (1996) señala que la mayoría de los suelos contienen 1.6% de MO pero en suelos muy áridos, el porcentaje puede bajar a menos de 1%.

Para pH, en el estrato de 0-30 cm de profundidad para inicios del ciclo del cultivo el valor fue 7.81. Sin embargo, en el segundo muestreo a los 45 días después de la siembra (DDS), los análisis reportaron pH iguales (8.41) para biocompost y la fertilización química. Unger *et al.* (1991) encontraron tendencias similares a los estudios realizados, mencionan que a mayor cantidad de MO se favorece la retención de humedad del suelo y por lo tanto se incrementa la concentración del H⁺. Salazar *et al.* (2007) reportan en aplicaciones de 40 Mg ha⁻¹ de estiércol bovino valores de 8.2.

La mayor concentración de nitratos en todos los tratamientos se encontró en los primeros estratos porque es ahí donde las condiciones de temperatura, aeración y humedad favorecen la actividad enzimática. La concentración de nitratos en el estrato de 0-30 cm de profundidad para inicios del cultivo fue de 28.74 mg kg⁻¹; para el segundo muestreo se encontraron los valores más altos para fertilizante químico de 26.78 mg kg⁻¹; no encontrándose diferencias significativas entre

tratamientos. A los 66 DDS el cultivo demanda una mayor cantidad de N, ya que el crecimiento vegetativo es alto (Cueto *et al.*, 2006). Li *et al.* (2003) y Quezada *et al.* (2007) indicaron que la disminución de nitratos, en el suelo, se debe al consumo de la planta y de la biota del suelo y, muy probablemente, a la eficiencia del sistema de riego, que mejoró el transporte de nitratos por los microporos.

Para el tercer muestreo la mayor concentración de nitratos fue para el tratamiento con fertilización química con 50.38 mg kg⁻¹, seguido del tratamiento biocompost con 49.44 mg kg⁻¹; en el tratamiento de vermicompost se encontraron valores de 35 mg kg⁻¹, también se presentaron valores de porcentaje de sodio intercambiable de 4.19 y una CE de 2.85 mS cm⁻¹ (Cuadro 1). Salazar *et al.* (2003 y 2007) señalan que estas concentraciones de nitratos indican una alta actividad microbiológica principalmente en los estratos superiores del suelo, Salazar *et al.* (2004) señalan que valores por arriba de 46 mg kg⁻¹ de N-NO₃⁻ se consideran altos; por lo que el uso de materiales orgánicos implica un riesgo importante en la lixiviación de NO₃⁻ (Anken *et al.*, 2004).

La CE en un inicio presentó un valor de 1.46 mS cm⁻¹ a una profundidad de 0-30 cm para todos los tratamientos. Para el segundo muestreo a los 66 DDS el valor más alto de concentración de sales fue para el tratamiento testigo con 1.54 mS cm⁻¹, seguido de biocompost con 0.93 mS cm⁻¹. Al final de la cosecha, la mayor concentración de sales fue para el biocompost con 2.85 mS cm⁻¹, seguido del tratamiento testigo con 2.14 mS cm⁻¹; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas. Estos valores están dentro de valores permisibles para este tipo de suelo, 4 mS cm⁻¹. Piccinini y Bertone (1991) y López *et al.* (2001) encontraron que al aplicar abonos orgánicos (estiércol bovino, caprino y compost), no hay cambios significativos en CE ya que los valores fluctuaron entre 1.9 y 2.2 mS cm⁻¹. Salazar *et al.* (2007), en experimentos con aplicación de estiércol, encontraron valores de CE de 2.40 y 5.30 mS cm⁻¹, en dosis de 40 y 120 Mg ha⁻¹, respectivamente. Después de la profundidad de 30 cm aparecieron valores cercanos a 5 mS cm⁻¹. Salazar *et al.* (2007) mencionan que el hecho de que CE sea alto se debe a que cada tonelada de estiércol incorpora 50 kg de sal al suelo. Lehrsch y Kincaid (2007) señalan que el estiércol bovino contiene altas concentraciones de sales solubles, principalmente cloruro de sodio, y si éste es aplicado en altas cantidades en zonas áridas y semiáridas puede incrementar la salinidad del suelo obstaculizando la germinación

Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo al finalizar el experimento.

Propiedades físicas y químicas de las unidades experimentales	Tratamientos				
	Biocompost	Vermicompost	Fertilización química	Testigo	Rango óptimo ⁺
Materia orgánica (%)	0.45	0.59	0.78	0.91	> 3.0
Nitratos (mg kg ⁻¹)	49.44	34.90	50.38	28.74	> 30.0
Fósforo disponible (mg kg ⁻¹)	37.11	27.63	35.25	38.21	> 30.0
Potasio (mg kg ⁻¹)	260.00	211.00	186.00	175.00	>170.0
pH	7.65	7.85	7.81	7.81	6.5-7.5
CE (mS cm ⁻¹)	2.85	1.97	2.14	1.54	2.0-8.0
RAS	3.82	2.44	2.88	3.16	< 5.0
PSI	4.19	2.25	2.90	3.29	< 10.0

⁺ Valores recomendados por el laboratorio de suelos de la cooperativa agropecuaria de la Comarca Lagunera. Fuente: Análisis de laboratorio realizados en el Instituto Tecnológico de Torreón.

de cultivos sensibles a esta. Lo cual sugiere que el uso y manejo del estiércol se deba hacer con responsabilidad aunado a un seguimiento por medio de los análisis de suelo (Cuadro 1).

Para altura de planta (AP) no hubo diferencia significativa ($Pr > F = 0.2610$), la media fue de 1.86 m al final del ciclo vegetativo. Resultados de 2.38 m fueron encontrados por Olague *et al.* (2006) y Del Pino *et al.* (2008) con maíz blanco a una dosis de 3 000 kg ha⁻¹ de biocompost.

Producción de Forraje Verde

El análisis de varianza muestra que la variable rendimiento de forraje verde (RFV) es significativa al 1.3% ($Pr > F = 0.01300$), indicando que al menos uno de los cuatro tratamientos experimentales produjo un mayor rendimiento. El coeficiente de variación fue del 17.28% y una media de 51 Mg ha⁻¹. Al aplicar la prueba de comparación de medias, la vermicompost con 64 Mg ha⁻¹ fue la mejor, seguida del tratamiento de biocompost con un rendimiento de 56 Mg ha⁻¹, la fertilización química con 48 Mg ha⁻¹ y el testigo con 38 Mg ha⁻¹. Los fertilizantes orgánicos superan los rendimientos medios de 50 Mg ha⁻¹ reportados para la región por el INIFAP (2006). López *et al.* (2001) obtuvieron rendimientos de 62.5 Mg ha⁻¹ con híbridos de maíz abonados con 3 Mg ha⁻¹ de biocompost. Por otra parte, Castellanos *et al.* (1996) reportan 55 Mg ha⁻¹ con 1.7 Mg ha⁻¹ de biocompost. Salazar *et al.* (2003) obtuvieron 56.7 Mg ha⁻¹ con 40 Mg ha⁻¹ de estiércol bovino; por lo que la vermicompost y biocompost son

una opción para producir maíz forrajero sin utilizar fertilizantes inorgánicos (Figura 1).

Rendimiento de Materia Seca

El análisis de varianza muestra una diferencia significativa para esta variable, la vermicompost produjo el mayor rendimiento con 12.87 Mg ha⁻¹, biocompost obtuvo 11.15 Mg ha⁻¹ (Figura 1). Reta *et al.* (2004) obtuvieron rendimientos significativamente mayores con estiércol o vermicompost al igual que Salazar *et al.* (2007) quien obtuvo 19.62 Mg ha⁻¹ con 40 Mg ha⁻¹ de estiércol bovino. El incremento en la producción de los tratamientos orgánicos se explica porque el estiércol no sólo retiene la humedad por más tiempo, sino que además es una fuente que libera los nutrientes de manera paulatina a través de todo el ciclo fenológico. En el estiércol habría una actividad enzimática constante en todo el ciclo, biodegradándolo y liberando iones que están disponibles para plantas y microorganismos (Salazar *et al.*, 2003).

Calidad del Forraje

El valor más alto para el contenido de proteína cruda fue para el tratamiento con fertilizante químico con 12.68%, seguido del Testigo con 11.22%, la biocompost con 10.41%, y vermicompost con 10.23%. A pesar de ser las más bajas, biocompost y la vermicompost, se encuentran dentro del valor óptimo de 10.33% (INIFAP, 2006) (Figura 2). En estudios realizados con estiércol en la Comarca Lagunera con la variedad de maíz San

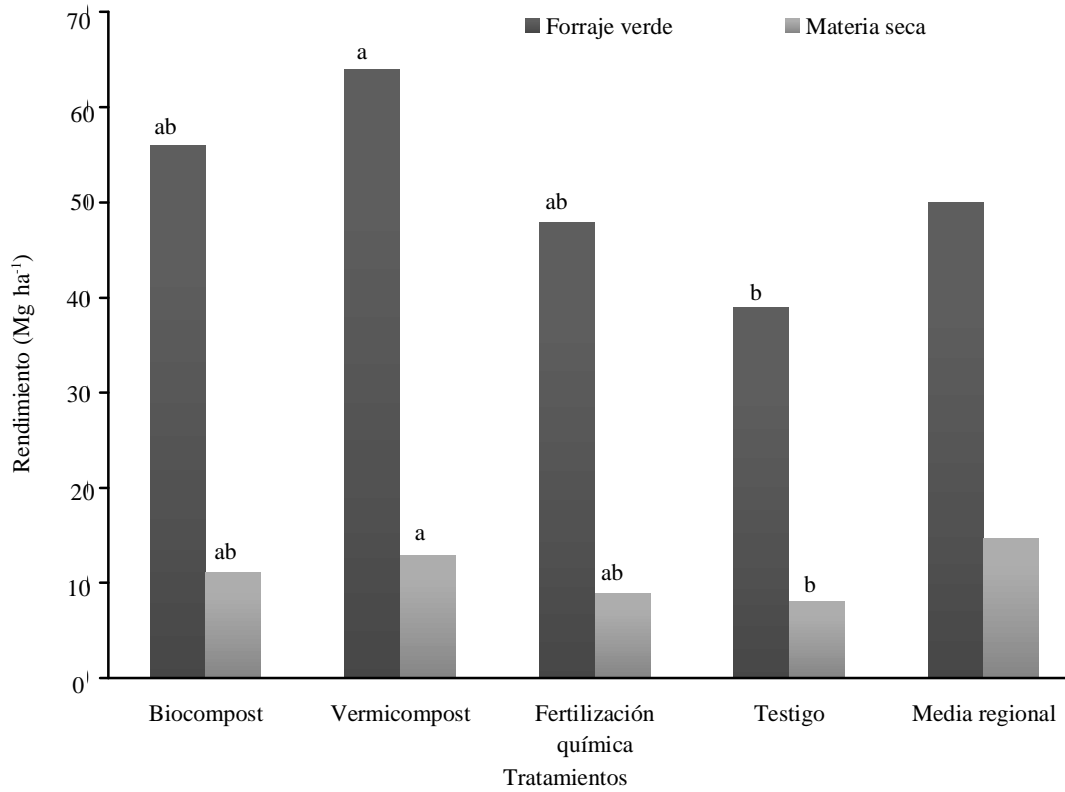


Figura 1. Rendimiento de forraje verde y materia seca de los tratamientos evaluados.

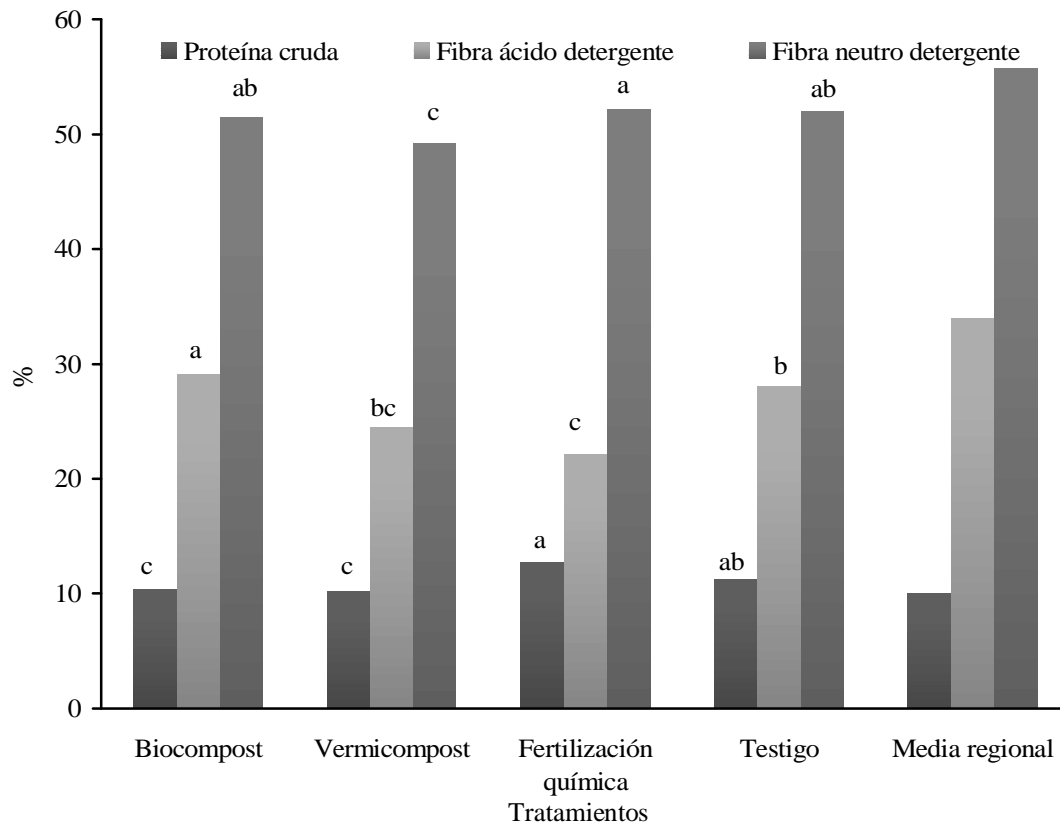


Figura 2. Calidad bromatológica de los tratamientos evaluados.

Lorenzo, Salazar *et al.* (2007) encontraron valores similares. Cueto *et al.* (2003) muestran que en zacate ballico anual el rendimiento y contenido de proteína cruda se incrementan al aumentar la dosis de estiércol o fertilizante nitrogenado; la mejor respuesta la obtuvieron con la dosis de 47.0 Mg ha⁻¹ de estiércol. Faz *et al.* (2006) reportan 10.5% de proteína cruda con aplicación de 80 Mg ha⁻¹ de estiércol bovino y 10% con 120 Mg ha⁻¹, por lo que los lixiviados y la biocompost son alternativas de fertilización para alcanzar niveles de calidad óptimos.

Con respecto a la fibra ácida detergente (FAD), el mejor resultado fue para la biocompost con 28.68%, seguida del Testigo con 28.12% (Figura 2). Salazar *et al.* (2007) reportan valores de 28% con aplicaciones de 40 Mg ha⁻¹ de estiércol bovino en la variedad de maíz San Lorenzo. La media regional es de 28 a 32% según el INIFAP (2006). En cuanto a fibra neutro detergente (FND), los valores más altos correspondieron a la fertilización química con 52.18% seguida del Testigo con 52%; la media en la región de la Comarca Lagunera es de 50 a 55% (INIFAP, 2006). Resultados inferiores de 44.6% fueron encontrados por Núñez *et al.* (2006), quienes señalan que compost es una alternativa para sustituir los fertilizantes químicos. La energía neta de lactancia (ENL) fue mayor con el tratamiento de fertilizante químico con un valor de 1.69 Mcal kg⁻¹, vermicompost tuvo un valor de 1.61; para biocompost y el Testigo los valores fueron 1.54 y 1.55 Mcal kg⁻¹, respectivamente. Los valores óptimos para este parámetro están por arriba de 1.4 de acuerdo a INIFAP (2006).

CONCLUSIONES

- Los resultados de producción indican que el mejor tratamiento fue vermicompost con 64.38 Mg ha⁻¹ de forraje verde y 12.87 Mg ha⁻¹ de materia seca.
- La aplicación de abonos orgánicos incrementa la presencia de nitratos lo que permitiría no aplicar nitrógeno al menos al inicio de un nuevo ciclo agrícola.
- Las variables evaluadas en suelo (materia orgánica, conductividad eléctrica y pH) se encuentran dentro de los rangos permisibles para el buen desarrollo del cultivo de maíz.
- Las variables de calidad bromatológica del maíz obtenidas, evidencian que la aplicación de abonos orgánicos (biocompost y vermicompost), son una alternativa de fertilización viable para alcanzar niveles de calidad óptimos y sin contaminar el medio ambiente.

LITERATURA CITADA

- Abawi, G. S. y H. O. Thurston. 1994. Efecto de las coberturas y enmiendas orgánicas al suelo y de los cultivos de cobertura sobre los patógenos del suelo y las enfermedades radicales. Una revisión. pp: 97 -108. *In:* Tapado: los sistemas de siembra con cobertura. CATIE-CIIFAD. Ithaca, NY, USA.
- Acevedo, I. C. y R. Pire. 2004. Efectos del lombricompost como enmienda de un sustrato para el crecimiento del lechoso (*Carica papaya* L.). *Interciencia* 29: 274-279.
- Anderson, T. H. and K. H. Domsch. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21: 417-479.
- Anken, T., P. Atamp, W. Richner, and U. Walther. 2004. Plant development, nitrogen dynamics and nitrate leaching from ploughed and direct-sown plots. *Schriftenreihe der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik* No. 63.
- Butler, D. M., N. M. Ranells, D. H. Franklin, M. H. Poore, and J. T. Green. 2007. Ground cover impacts on nitrogen export from manured riparian pasture. *J. Environ. Qual.* 36:155-162.
- Capulín-Grande, J., R. Núñez-Escobar, J. D. Etchevers-Barra y G. A. Baca-Castillo. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. *Agrociencia* 35: 287-299.
- Castellanos, J. Z. 1986. Evaluación del estiércol de bovino y gallinaza como fuente de fósforo en el cultivo de alfalfa. *Agric. Tec. México* 12: 247-258.
- Castellanos R., J. Z., J. Etchevers B., A. Aguilar S. y R. Salinas J. 1996. Efecto de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades de un suelo en una región irrigada del norte de México. *Terra* 14: 151-158.
- Cerrato, M. E., H. A. Leblanc y C. Kameko. 2007. Potencial de mineralización de nitrógeno de Bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad Earth. *Tierra Tropical* 3: 183-197.
- Cueto-W., J. A., H. M. Quiroga-G y C. T. Becerra-M. 2003. Efecto del nitrógeno total disponible sobre el desarrollo del ballico anual, producción y calidad de forraje y acumulación de nitratos. *Terra* 21: 285-295.
- Cueto-W., J. A., D. G. Reta-Sánchez, J. L. Barrientos-Ríos, G. González-Cervantes y E. Salazar-Sosa. 2006. Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población. *Fitotecnia Mexicana* 20: 97-101.
- Del Pino, A., C. Repetto, C. Mori y C. Perdomo. 2008. Patrones de descomposición de estiércol en el suelo. *Terra* 26: 43-52.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2002. NOM-021-RECNAT-2000. Norma oficial mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. SEMARNAT. México, D.F.
- Doorenbos, J. y W. Pruitt. 1984. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y drenaje N° 24. Roma, Italia.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1991. Manejo del suelo: producción y uso del compostaje en ambientes tropicales y subtropicales. *Boletín* (56): 180. Roma, Italia.

- Faz-Contreras, R., Figueroa-Viramontes, U. R. Jasso-Ibarra y L. H. Maciel-Pérez. 2006. pp. 141-173. *In*: Maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. INIFAP. Libro Científico No.3. Campo Experimental La Laguna.
- Fitzpatrick, E. A. 1996. Introducción a la ciencia de los suelos. Editorial Trillas. México, D. F.
- Fortis H., M., J. A. Leos R., I. Orona C., J. L. García H., E. Salazar S., P. Preciado R., J. A. Orozco V. y M. A. Segura C. 2009. Uso de estiércol en la Comarca Lagunera. pp. 104-127. *In*: Libro de Agricultura Orgánica. I. Orona C., E. Salazar S., M. Fortis H., H.I. Trejo E., y C. Vázquez V. (eds). Ed. FAZ-UJED. Gómez Palacio, Durango, México.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Editorial Larios. México, D. F.
- Givens, D. I., J. L. De Boever, and E. R. Deaville. The principles, practices and some future applications of near infrared spectroscopy for predicting the nutritive value of foods for animals and humans. *Nutr. Res. Rev.* 10: 83-114.
- Guevara E., A., G. Bárcenas H., F. R. Salazar M., E. González S. y H. Suzán A. 2005. Alta densidad de siembra en la producción de maíz con irrigación por goteo subsuperficial. *Agrociencia* 39: 431-439.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias). 1999. Sistemas de Información del medio físico y la productividad de los cultivos forrajeros. Torreón, Coahuila, México.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias). 2006. Maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. Libro Técnico. Ed. INIFAP. Torreón, Coahuila, México.
- Julca-Otiniano, A., L. Meneses-Florián, R. Blas-Sevillano y S. Bello-Amez. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA* 24: 49-61.
- Lehrsch, G. A and D. C. Kincaid. 2007. Compost and manure effects on fertilized corn silage yield and nitrogen uptake under irrigation. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 38: 2131-2147.
- Li, J., J. Zhang, and L. Ren. 2003. Water and nitrogen distribution as affected by fertigation of ammonium nitrate from a point source. *Irrig. Sci.* 22: 19-30.
- Litterick, A. M., L. Harrier, P. Wallace, C. A. Watson, and M. Wood. 2004. The role of uncomposted materials, compost, manures, and compost extracts in reducing pest and disease incidence and severity in sustainable temperate agricultural and horticultural crop production: A review. *Crit. Rev. Plant Sci.* 23: 453-479.
- 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 de maíz. *Terra* 19: 293-299.
- López-Martínez, J. D., M. Gallegos-Robles, J. S. Serrato-C, R. D. Valdez-Cepeda y E. Martínez-Rubin. 2002. Producción de algodónero transgénico fertilizado con abonos orgánicos y control de plagas. *Terra* 20: 321-327.
- Núñez Hernández, G., A. Peña-Ramos, F. González-Castañeda y R. Faz-Contreras. 2006. Características de híbridos de maíz de alto rendimiento y calidad nutricional de forraje. pp. 45-97. *In*: Maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. Libro Científico No.3. INIFAP. Torreón, Coahuila. México.
- Olague-Ramírez, J., J. A. Montemayor-Trejo, S. R. Bravo-Sánchez, M. Fortis-Hernández, R. A. Aldaco-Nuncio y E. Ruíz-Cerda. 2006. Características agronómicas del maíz forrajero con riego sub-superficial. *Técnica Pecuaria México* 44: 351-357.
- Piccinini, S. and G. Bortone. 1991. The fertilizer value of agriculture manure: simple rapid methods of assessment. *J. Agric. Eng. Res.* 49: 197-208.
- Quezada, C., I. Vidal, L. Lemus y H. Sánchez. 2007. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre rendimiento y calidad de fruta de frambuesa (*Rubus ideaus* L.) bajo dos programas de fertirrigación. *R. C. Suelo Nutr. Veg.* 7: 1-15.
- Reta, S. D. G., J. A. Cueto-W. y U. Figueroa-V. 2004. Efecto de la aplicación de estiércol y composta en maíz forrajero en dos sistemas de siembra. Informe de Investigación. INIFAP. Campo Experimental La Laguna. Torreón, Coahuila. México.
- Salazar-Sosa, E., J. A. Leos R., M. Fortis H. and C. Vázquez V. 2002. Nitrogen recovery and uptake by wheat and sorghum in stubble mulch and no tillage systems. *Agrociencia* 36: 433-440.
- Salazar-Sosa, E., A. Beltrán-M., M. Fortis-H., J. A. Leos-R., J. A. Cueto-W., C. Vázquez-V. y J. J. Peña-C. 2003. Mineralización de nitrógeno y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. *Terra* 21:569-575.
- Salazar-Sosa, E., C. Vázquez- Vázquez, J. A. Leos-Rodríguez, M. Fortis-Hernández, J. A. Montemayor-Trejo, R. Figueroa-Viramontes y J. D. López-Martínez. 2004. Mineralización del estiércol bovino y su impacto en la calidad del suelo y la producción de tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill) bajo riego sub-superficial. *Rev. Int. Bot. Exp.* 73: 259-273.
- 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.
- SAS (Statistical Analysis System). 1998. SAS for Windows. Release 6-12, version 4.0.1111. Cary, NC, USA.
- Serrato S., R., A. Ortiz A., J. D. López. y S. Berúmen P. 2002. Aplicación de lavado y estiércol para recuperar suelos salinos en la Comarca Lagunera, México. *Terra* 20: 329-336.
- Simpson, K. 1986. Abonos y estiércoles. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Tijerina Ch., L. 1999. Requerimientos hídricos de los cultivos bajo sistemas de fertirrigación. *Terra* 17: 237-245.
- Unger, P. W., B. A Stewart, J. F. Parr, and R. P. Singh. 1991. Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. *Soil Tillage Res.* 20: 219-240.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- Wu, Z. and J. M. Powell. 2007. Dairy manure type, application rate and frequency impact plants and soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 1306-1313.
- Zamora-Salgado, S., L. Fenech-Larios, F. H. Ruíz-Espinoza, W. Pérez-Duarte y A. López-Gómez. 2007. Eficiencia en el uso del agua en maíz (*Zea mays* L.) con riego por goteo, en el valle de la Paz, Baja California Sur, México. *Ciencias Técnicas Agropecuarias* 16: 33-36.