

## Productividad de genotipos de maíz forrajero bajo fertilización orgánica y propiedades físico-químicas del suelo

Uriel González-Salas<sup>1</sup>  
Miguel Ángel Gallegos-Robles<sup>2§</sup>  
Cirilo Vázquez-Vazquez<sup>2</sup>  
José Luis García-Hernández<sup>2</sup>  
Manuel Fortis-Hernández<sup>3</sup>  
Sarai Shesareli Mendoza-Retana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ciencias Agropecuarias y Forestales-Universidad Juárez del estado de Durango. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo, km 28. Ejido Venecia, Durango. CP 35170. Tel. 01(871) 7118918. <sup>2</sup>Facultad de Agricultura y Zootecnia-Universidad Juárez del estado de Durango. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo km 28, Ejido Venecia, Durango. CP. 35170. Tel. 01(871) 7118918. <sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Torreón-División de Estudios de Posgrado. Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, ejido Ana, Torreón, Coahuila, México. CP. 27070. Tel. 01(871) 7507199. (urgosa87@hotmail.com; cirvaz60@hotmail.com; Luis.garher@hotmail.com; mforty05@yahoo.com.mx; shesa\_2912@hotmail.com).

§Autor para correspondencia: garoma64@hotmail.com.

### Resumen

La comarca lagunera es la principal región de explotación ganadera de bovino de leche en todo el país, proceso que demanda grandes cantidades de forraje de calidad. Por ello, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la producción de forraje en base seca de tres híbridos de maíz forrajero, utilizando diferentes cantidades de vermicomposta y estiércol bovino para su fertilización, así como evaluar el efecto de estos tratamientos en las propiedades físico-químicas del suelo. Bajo fertilización orgánica, se probaron los híbridos HT 6806Y, de ABT; DAS2306, de Dow Agrosiences y RX717, de Asgrow. El experimento se estableció en la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Se usó un diseño bloques al azar en parcelas divididas, con tres repeticiones. El experimento se realizó en primavera-verano de 2014. En el análisis de comparación de medias el híbrido HT6806Y demostró ser superior ( $p \leq 0.05$ ) con una producción de 69.91 t ha<sup>-1</sup> de forraje verde, bajo el tratamiento T3 (160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado con 3 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta); por otro lado, los tres híbridos mostraron buena respuesta a la fertilización orgánica, ya que todos obtuvieron producciones aceptables de materia seca de 25.89 t ha<sup>-1</sup> (HT6806Y), 26.04 t ha<sup>-1</sup> (RX717) y 25.33 t ha<sup>-1</sup> (DAS2306). Las mezclas de fuentes de nitrógeno probadas en este estudio resultaron ser una alternativa que compiten con las fuentes sintéticas de nitrógeno, mejorando algunas variables de rendimiento y calidad de forrajes.

**Palabras clave:** estiércol, híbridos d maíz, vermicomposta.

Recibido: enero de 2018

Aceptado: febrero de 2018

## Introducción

La comarca lagunera es la principal región de explotación ganadera de bovino de leche en todo el país (Ramírez *et al.*, 2016), por lo cual, es la zona que más forraje demanda. En la región existen más de 400 mil vacas lecheras, las cuales producen aproximadamente 925 000 toneladas de estiércol base seca por año, con un promedio de 1.6% de nitrógeno (N) (Magri y Teira-Esmatges, 2015; Ramírez *et al.*, 2016), lo que proporciona 14 800 toneladas de nitrógeno (N) por año. El aprovechamiento de estos residuos orgánicos cobra cada día mayor importancia como reciclaje racional de nutrientes, ayuda al crecimiento vegetal y devuelven al suelo los elementos extraídos durante el proceso productivo (Zhao *et al.*, 2014).

Dentro de los forrajes que más se consumen y se producen en la región está el maíz, es el segundo cultivo de importancia en la Comarca Lagunera después de la alfalfa, con 32 491 ha (SIAP, 2012) y ocupa aproximadamente 36% de la superficie sembrada a nivel nacional (SIAP, 2014). Por otro lado, el constante crecimiento del número de cabezas de ganado en la región, demanda el aumento en la producción de maíz forrajero y plantea la necesidad de identificar materiales con buenas características forrajeras, por lo que, entre los criterios de selección para identificar híbridos adecuados, está el que presenten alto rendimiento de grano, productividad y alta calidad de forraje (Sánchez *et al.*, 2011).

Asimismo, la actividad pecuaria hace que se generen grandes cantidades de estiércol con potencial nutricional, que se pueden utilizar para hacer un sistema productivo sustentable, sin embargo, es importante realizar estudios locales sobre mineralización de N del estiércol, para estimar las dosis de estiércol de manera precisa (Flores *et al.*, 2009; Azeez y Van Averbeké, 2010). Por ello, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la producción de forraje en base seca y el contenido de proteína de tres híbridos de maíz forrajero, utilizando diferentes cantidades de vermicomposta y estiércol de bovino para su fertilización, así como evaluar el efecto de estos tratamientos en las propiedades físico-químicas del suelo.

## Materiales y métodos

### Sitio de estudio

El presente trabajo se realizó durante el ciclo primavera-verano de 2014 en el campo experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del estado de Durango (UJED), localizada a 25° 46' 56" latitud norte y 103° 21' 02" longitud oeste, a una altura de 1 110 msnm, con clima árido y lluvias deficientes en todas las estaciones. La temperatura promedio fluctúa entre 18 y 22 °C, con máximas y mínimas de 48 °C y -8 °C.

### Establecimiento del experimento

Se utilizaron los híbridos de maíz forrajero, HT6806Y (Agribiotech), DAS2306 (Dow Agrosiences) Y Rx717 (Asgrow). Las parcelas fueron de 8 m<sup>2</sup>, con distancia entre surcos de 0.65 m y entre plantas de 0.15 m. La siembra se realizó en seco, el 14 de abril de 2014, se

colocaron dos semillas por golpe, y se realizó raleo a la semana de emergencia de plántulas dejando una población de 102 500 plantas ha<sup>-1</sup>. El experimento se condujo con riego por cintilla y se estableció bajo un diseño bloques al azar en parcelas divididas, con tres repeticiones.

### Tratamientos orgánicos

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: T1) 0 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado + 3 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta; T2) 80 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado + 3 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta; T3) 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado + 3 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta; T4) 0 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado + 0 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta; T5) 80 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado + 0 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta; T6) 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado + 0 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta. Los tratamientos se distribuyeron manualmente y se incorporaron con un paso de rastra 45 días antes de la siembra para estabilizar humedad y permitir el proceso de mineralización.

### Materiales usados en los tratamientos

La vermicomposta fue adquirida del Instituto Tecnológico de Torreón (ITT) y para su producción se utilizó lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), estiércol bovino y restos de hojas de árboles, frutas y hortalizas; el estiércol bovino que se solarizó se obtuvo del establo Los Espada (Fco. I. Madero, Coahuila). Para el proceso de solarización, el estiércol se cubrió con plástico transparente sin albedo y con un grosor de 100 µm, durante los meses de enero y febrero, la temperatura máxima que se alcanzó en la pila de solarización fue de 65 °C.

### Toma de muestras

Para analizar calidad de forraje, la cosecha de cada híbrido se realizó al alcanzar  $\frac{3}{4}$  de línea de leche en la mazorca, lo cual, en cada híbrido fue diferente, RX-717 alcanzó ésta a los 110 días después de la siembra, HT-6806Y a 109 días después de la siembra y DAS-2306 a 114 días después de la siembra. Para determinar la producción de forraje en verde por hectárea, se cosecharon las plantas establecidas en 1.3 m<sup>2</sup> de parcela útil y se pesaron en báscula de reloj (THOR, Mod. Balanzón, división mínima 25 g). De las plantas cosechadas para determinar rendimiento de forraje verde, se tomaron tres plantas completas, se cortaron con tijeras y secaron en estufa a 80 °C por 24 h, para determinar materia seca y proteína cruda. Las variables evaluadas fueron: rendimiento en forraje verde (FV), rendimiento de forraje seco (FS), altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), número de entrenudos (NE), ancho de mazorca (AM), largo de mazorca (LM), hileras por mazorca (NHM) y proteína cruda de forraje (PC), la cual, se determinó mediante la técnica de NOM-F-068-S-1980.

Se realizaron dos muestreos de suelo, uno a los 45 días después de aplicados los tratamientos y antes de la siembra, y otro al final del experimento, ambos a dos profundidades (0-15; 15-30 cm), para observar cambios en las propiedades físico-químicas de suelo. Las variables que se evaluaron en las muestras de suelo fueron: materia orgánica (%) (MO), pH, CE (dS m<sup>-1</sup>) y nitratos (ppm) (NO<sub>3</sub>) se determinaron de acuerdo a la norma NOM-021-SEMARNAT-2000. La homocedasticidad de los datos se probó con la prueba de Bartlett (Little y Hills, 1989), los datos de las variables se sometieron a análisis de varianza, comparación de medias con DMS y correlación de Pearson y se analizaron con el programa estadístico SAS versión 9.22 (SAS, 2010).

## Resultados y discusión

El análisis de varianza mostró diferencias significativas (Cuadro 1;  $p \leq 0.05$ ) en los tratamientos (Trat), para las variables: forraje verde (FV), forraje seco (FS), altura de planta (AP), ancho de mazorca (AM), longitud de mazorca (LM) y número de hileras por mazorca (NHM), lo cual sugiere efectos diferentes de los tratamientos. También se observaron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) para el diámetro de tallo (DT). En el factor de variación híbridos (Hib) se observaron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) para las variables altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), número de entrenudos (NE), longitud de mazorca (LM) y número de hileras por mazorca (NHM); y diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en las variables de forraje verde (FV), ancho de mazorca (AM) y proteína cruda (PC). Las diferencias significativas observadas en las variables de la planta relacionadas con la producción de forraje (Cuadro 1) muestran el efecto de los tratamientos, así como de las diferencias genéticas entre los híbridos evaluados, señalando que la fertilización orgánica es una alternativa de producción agrícola al mismo tiempo que se hace un uso sustentable del estiércol (Annicchiarico *et al.*, 2011).

**Cuadro 1. Análisis de varianza para variables de forraje de maíz bajo tratamientos de estiércol y vermicomposta.**

FVar	FV	FS	AP	DT	NE	AM	LM	NHM	PC
Rep	673.46*	127.6*	0.01*	0.03*	0.68*	0.17*	2.16*	0.74*	0.42
Trat	158.6*	10.98	0.03*	0.17**	0.38	0.06*	2.01*	0.51*	2.53*
Híbrido	562.13*	2.48	1.61**	0.43**	27.46**	0.42*	136.2**	1.35**	5.57*
Trat x Hib	48.48	8.54	0.01	0.05*	0.39	0.07	1.28	1.17*	0.6
Error	89.54	12.9	0.01	0.02	0.64	0.05	0.65	0.51	0.73
CV	14.6	13.9	4.7	5.5	5.6	4.5	4.2	4.7	9.8

FV= forraje verde; FS= forraje seco; AP= altura de planta; DT= diámetro de tallo; NE= número de entrenudos; AM= ancho de mazorca; LM= largo de mazorca; NHM= número de hileras por mazorca; PC= proteína cruda; \* =  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ . Se muestran los cuadrados medios y su significancia.

Respecto a las variables del suelo del muestreo inicial (Cuadro 2), la materia orgánica (MO1) y conductividad eléctrica (CE1, CE2) mostraron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) en el factor de variación tratamientos (Trat), mientras que la materia orgánica (MO2) y el pH (pH1 y pH2) mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ). No se observaron diferencias significativas para los nitratos.

**Cuadro 2. Análisis de varianza para muestreo inicial de las variables físico-químicas del suelo bajo tratamientos de estiércol y vermicomposta.**

FVar	MO1	MO2	pH1	pH2	CE1	CE2	NO <sub>3</sub> 1	NO <sub>3</sub> 2
Rep	0.24	0.05	0.003	0.01	0.02	0.05	0.05	0.08
Trat	2.8**	0.63*	0.01*	0.001*	14.71**	10.78**	1.63	0.2
Error	0.16	0.12	0.003	0.003	0.73	0.58	0.32	0.07
CV	13	12.2	0.7	0.7	17.2	14	14	15

MO1= materia orgánica; pH1= potencial de hidrógeno; CE1= conductividad eléctrica; NO<sub>3</sub>1= nitratos a la profundidad de 0-15 cm. MO2= materia orgánica; pH2= potencial de hidrógeno; CE2= conductividad eléctrica; NO<sub>3</sub>2= nitratos a la profundidad de 15-30 cm; \* =  $p < 0.05$ ; \*\* =  $p < 0.01$ . Se muestran los cuadrados medios y su significancia.

En el análisis de varianza de las variables físico-químico final de suelo (Cuadro 3) se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) para los tratamientos en las variables MO3, pH3, pH4 y diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) para CE3, CE4, NO<sub>3</sub>3, NO<sub>3</sub>4.

**Cuadro 3. Análisis de varianza para muestreo final en las variables físico-químicas del suelo bajo tratamientos de estiércol y vermicomposta.**

FVar	MO3	MO4	pH3	pH4	CE3	CE4	NO <sub>3</sub> 3	NO <sub>3</sub> 4
Rep	0.002	0.03	0.02	0.01	0.58	0.04	21.13	91.8
Trat	1.49*	0.1	0.01*	0.04*	3.14**	1.64**	97.77**	289**
Error	0.12	0.07	0.01	0.01	0.29	0.21	11.92	17.45
CV	12.9	11.3	1.4	1.4	21.1	12.3	15.9	16.9

MO3= materia orgánica; pH3= potencial de hidrógeno; CE3= conductividad eléctrica; NO<sub>3</sub>3= nitratos a la profundidad de 0-15 cm. MO4= materia orgánica; pH4= potencial de hidrógeno; CE4= conductividad eléctrica; NO<sub>3</sub>4= nitratos en la profundidad de 15-30 cm; \* =  $p < 0.05$ ; \*\* =  $p < 0.01$ . Se muestran los cuadrados medios y su significancia.

En la comparación de medias de tratamientos para las variables del forraje (Cuadro 4) sobresalieron en forraje verde, los tratamientos T3 y T6, con 70 t ha<sup>-1</sup> y 68 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En diámetro de tallo (DT) los mejores tratamientos fueron T2, T3, T5 y T6, con un valor entre 2.6-2.7 cm. El tratamiento T3 superó a los demás en altura de planta (AP), con un valor de 2.9 m; en ancho de mazorca (AM), sobresalieron los tratamientos T2, T6 y T3, con valores 5.2, 5.1 y 5.1 cm, respectivamente; en la longitud de mazorca (LM), los mejores tratamientos fueron T2, T3, T1 y T6, con 19.6, 19.5, 19.3 y 19.1 cm, respectivamente; el mayor número de hileras por mazorca (NHM), se observó en el tratamiento T6 con un valor de 15.6 cm.

**Cuadro 4. Comparación de medias para variables del forraje en híbridos de maíz forrajero tratados con estiércol y vermicomposta.**

Trat	FV	FS	PC	DT	AP	NE	AM	LM	NHM
T1	64 b	25.9 a	8.8 a	2.5 b	2.8 b	14 a	4.9 c	19.3 a	14.8 b
T2	61 c	25.8 a	8.6 a	2.7 a	2.8 b	14.1 a	5.2 a	19.6 a	15.3 b
T3	70 a	26.8 a	9 a	2.6 a	2.9 a	14.4 a	5.1 b	19.6 a	15.2 b
T4	59 c	23.7 a	8.4 a	2.4 b	2.8 b	14 a	4.9 c	18.3 b	15.1 b
T5	65 b	25.8 a	8.8 a	2.7 a	2.7 c	14.1 a	5 c	18.9 b	14.8 b
T6	68 a	26.6 a	8.8 a	2.7 a	2.8 b	14.4 a	5.1 b	19.1 a	15.6 a
DMS	3	3.4	0.8	0.1	0.1	0.7	0.2	0.7	0.6

T1= 3 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta, sin estiércol solarizado; T2= 80 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado con 3 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta; T3= 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado con 3 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta; T4= testigo; T5= 80 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado; T6= 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado. FV= forraje verde; FS= forraje seco; PC= proteína cruda; DT= diámetro de tallo; AP= altura de planta; NE= número de entrenudos; AM= ancho de mazorca; LM= largo de mazorca; NHM= número de hileras por mazorca. Dentro de columnas, medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (DMS  $p \leq 0.05$ ).

Los valores observados para forraje verde fueron superiores a la media regional de 47.8 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2014), y aunque en forraje seco no hubo diferencias significativas, todos los tratamientos superaron lo reportado por Salazar *et al.* (2007) quienes obtuvieron 23.6 t ha<sup>-1</sup> con 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol bovino. En la variable proteína cruda (PC) no hubo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, y los valores obtenidos fueron similares a los valores más altos

reportados por Tadeo-Robledo *et al.* (2012) pero inferiores a la media nacional reportada por Núñez (2006) de 10.3%. La disminución en contenido de proteína cruda pudo ser resultado de la pérdida de biomasa de hoja aunado a una mayor proporción de tallo en la biomasa total, los cuales, son deficientes en contenido de proteína cruda (Tariq *et al.*, 2011).

Respecto a la comparación de medias de las variables físico-químicas al inicio del experimento (Cuadro 5), en la materia orgánica en las dos profundidades los mejores contenidos se observaron en el tratamiento T6 y T3, y los valores más bajos en el testigo T4 lo cual es correspondiente con las cantidades de estiércol aplicado. En relación con el pH no se observaron diferencias importantes y el valor promedio fue de 7.7. Respecto a la CE los valores más altos se observaron en los tratamientos T3 y T6, y los más bajos en el tratamiento T4, los cuales son acordes con las dosis aplicadas de estiércol y vermicomposta en cada tratamiento y son reflejo de la adición de nutrientes y sales en la materia orgánica aplicada (Carmo *et al.*, 2016). Respecto a los nitratos, éstos se consideraron estadísticamente iguales en todos los tratamientos en el muestreo inicial.

**Cuadro 5. Comparación de medias para el muestreo inicial en las variables físico-químicas del suelo tratado con estiércol y vermicomposta.**

Trat	MO1 (%)	MO2 (%)	pH1	pH2	CE1 (dS m <sup>-1</sup> )	CE2 (dS m <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> 1 (ppm)	NO <sub>3</sub> 2 (ppm)
T1	2.9 c	2.9 b	7.8 a	7.7 a	4 c	4.9 b	31.4 a	42 a
T2	3.1 b	2.6 b	7.7 b	7.7 a	4.2 c	4.9 b	33.2 a	38.9 a
T3	2.9 c	3.2 a	7.7 b	7.7 a	6 b	6.5 a	35 a	39.1 a
T4	2.6 c	2.6 b	7.7 b	7.7 a	3.8 c	4.2 b	32 a	38.7 a
T5	3.1 b	2.8 b	7.7 b	7.7 a	4.7 c	5 b	30.3 a	39 a
T6	4.2 a	3.1 a	7.7 b	7.7 a	7.1 a	7 a	33.4 a	40.6 a
DMS	0.3	0.3	0.05	0.05	0.8	0.7	1	0.9

T1= 3 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta, sin estiércol solarizado; T2= 80 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado con 3 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta; T3= 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado con 3 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta; T4= testigo; T5= 80 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado; T6= 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado. MO1= materia orgánica; pH1= potencial de hidrógeno; CE1= conductividad eléctrica; NO<sub>3</sub>1= nitratos a la profundidad de 0-15 cm. MO2= materia orgánica; pH2= potencial de hidrógeno; CE2= conductividad eléctrica; NO<sub>3</sub>2= nitratos a la profundidad de 15-30 cm. Dentro de columnas, medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (DMS  $p \leq 0.05$ ).

En relación a la comparación de medias de las variables físico-químicas al final del experimento (Cuadro 6), solamente en la materia orgánica y en la profundidad de 0-15, los valores medios presentaron diferencias significativas siendo los tratamientos T3 y T6 donde se observaron los valores más altos. En relación al pH hubo un ligero incremento en las dos profundidades respecto a los valores iniciales, siendo el valor más alto de 7.9. En relación con la CE se observó una disminución de las sales con respecto al contenido inicial, y el valor más alto fue de 4.2 dS m<sup>-1</sup> en la profundidad de 15 -30, observándose los valores más altos en los tratamientos con mayor dosis de estiércol (T3 y T6), así como un ligero aumento en la CE en los tratamientos que llevaban vermicomposta, pero dentro del rango tolerado por el cultivo de maíz (Khorasani *et al.*, 2012). De igual manera se observó una tendencia de incremento en la cantidad de nitratos, conforme aumentó la dosis de estiércol en los tratamientos, siendo los mejores tratamientos el T3 y T6.

**Cuadro 6. Comparación de medias para el muestreo final en las variables físico-químicas del suelo tratado con estiércol y vermicomposta.**

Trat	MO3 (%)	MO4 (%)	pH3	pH 4	CE 3 (dS m <sup>-1</sup> )	CE 4 (dS m <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> 3 (ppm)	NO <sub>3</sub> 4 (ppm)
T1	2.2 c	2.5 a	7.7 a	7.7 c	2.5 c	3.7 b	20 c	21.4 c
T2	2.8 b	2.4 a	7.8 a	7.6 c	2.6.c	3.8 b	22.8 b	26.4 b
T3	3.2 a	2.5 a	7.8 a	7.7 c	3.4 a	4.2 a	25.4 a	27.9 b
T4	2.2 c	2.3 a	7.8 a	7.7 c	1.8 d	3.1 c	16.3 c	15.6 d
T5	2.7 b	2.3 a	7.8 a	7.8 a	2.1 d	3.4 b	21.5 b	24.7 c
T6	2.9 b	2.5 a	7.8 a	7.9 b	3 b	4.2 a	24.7 b	32.1 a
DMS	0.3	0.2	0.1	0.1	0.5	0.4	3.3	4

T1= 3 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta, sin estiércol solarizado; T2= 80 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado con 3 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta; T3= 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado con 3 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta; T4= testigo; T5= 80 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado; T6= 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado. MO3= materia orgánica; pH3= potencial de hidrógeno; CE3= conductividad eléctrica; NO<sub>3</sub>3= nitratos a la profundidad de 0-15 cm. MO4= materia orgánica; pH4= potencial de hidrógeno; CE4= conductividad eléctrica; NO<sub>3</sub>4= nitratos a la profundidad de 15-30 cm. Dentro de columnas, medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (DMS  $p \leq 0.05$ ).

Todos los tratamientos que llevaron estiércol y vermicomposta (excepto el T4) generaron cambios en las propiedades físico-químicas del suelo. El tratamiento T6 proporcionó al inicio un valor de 4.2%, mientras que el tratamiento T3 fue mejor en la profundidad de 15-30 (MO2) con un valor de 3.2%, siendo estos dos estratos (0-15, 15-30 cm) los más importantes para la exploración radicular y donde ocurre la mayor parte de la absorción de nutrientes (Andrades y Martínez, 2014). Para la variable conductividad eléctrica (CE1, CE2, CE3, CE4) todos los tratamientos generaron cambios en la cantidad de sales solubles en el suelo, y los valores más altos se observaron en el muestreo inicial, los cuales pudieron haber perjudicado la absorción de nutrientes en solución (Carmo *et al.*, 2016).

En la variable nitratos los valores fueron más altos en el muestreo inicial en la profundidad 15-30 cm (NO<sub>3</sub>2), destacando el tratamiento T6 con 32.1 ppm, valor inferior al reportado por Salazar *et al.* (2007), quienes reportan para el mismo tratamiento y a la misma profundidad un valor de 70 ppm; en la profundidad de 0-15 cm (NO<sub>3</sub>1) sobresalió el tratamiento T3 con un valor de 25.4 ppm, igualmente inferior al reportado por Salazar *et al.* (2007), para el mismo tratamiento y profundidad. Esto pudo deberse a factores tales como contenido de humedad, actividad microbiana, temperatura y el estado del estiércol, que aceleran o retrasan la disponibilidad de nutrientes (Trejo *et al.*, 2013).

En relación con el comportamiento agronómico de los híbridos (Cuadro 7), en forraje verde fue mejor el híbrido HT-6806Y con 69.9 t ha<sup>-1</sup>, en altura de planta, el híbrido DAS-2306, con 3.14 m, y en diámetro de tallo (DT), sobresalio el híbrido RX-717 con un valor de 2.75 cm, siendo esta una variable directamente relacionada con la producción de forraje verde, tal como lo mencionan Wong-Romero *et al.* (2006), quienes indican que el peso del elote con totomoxtle y el peso de los tallos con espigas, son los de mayor importancia para rendimiento de forraje verde.

En la variable proteína cruda, sobresalieron los híbridos RX-717 y HT-6806Y, con 9.1 y 8.9% respectivamente, los cuales se encuentran dentro del rango (7.5-10.3%) reportado por Jurado *et al.* (2014) para híbridos comerciales, y quienes mencionan que dado que la producción de materia seca y calidad de forraje del maíz tienen un efecto directo en el potencial de producción de leche ha<sup>-1</sup>,

estos factores deben tomarse en cuenta en la selección de híbridos de maíz para producción de forraje. El porcentaje de proteína cruda es una variable importante para determinar la calidad del forraje (Lauer *et al.*, 2001; Saha *et al.*, 2017) y este contenido depende del potencial genético del híbrido o variedad, y del manejo agronómico (Silva *et al.*, 2005).

**Cuadro 7. Comparación de medias para variables entre genotipos de maíz forrajero tratados con estiércol y vermicomposta.**

Genotipos	FV (t ha <sup>-1</sup> )	FS (t ha <sup>-1</sup> )	AP (m)	DT (cm)	NE	PC (%)	AM (cm)	LM (cm)	NHM
HT-6806Y	69.9 a	25.8 a	2.5 c	2.4 c	13.5 b	8.9 a	4.8 b	20.2 b	14.8 b
RX-717	64.8 a	26 a	2.6 b	2.7 a	13.4 b	9.1 a	5.1 a	21.1 a	15.4 a
DAS-2306	58.8 b	25.3 a	3.1 a	2.5 b	15.6 a	8 b	5.1 a	16 c	15.3 a
DMS	6	2.4	0.08	0.09	0.5	0.5	0.1	0.5	0.4

FV= forraje verde; FS= forraje seco; AP= altura de planta; DT= diámetro de tallo; NE= número de entrenudos; PC= proteína cruda; AM= ancho de mazorca; LM= largo de mazorca; NHM= número de hileras por mazorca. Dentro de columnas, medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (DMS  $p < 0.05$ ).

Las variables ancho de mazorca (AM), longitud de mazorca (LM), y número de hileras por mazorca (NHM) son características de los híbridos de maíz con alto rendimiento y calidad de forraje y son componentes de la característica llamada porcentaje de mazorca, considerada como uno de los atributos de calidad del maíz forrajero pues contribuye a la energía neta de lactancia (Núñez *et al.*, 2010). En la variable ancho de mazorca (AM), sobresalió el híbrido RX-717, al igual que en la variable longitud de mazorca (LM) y número de hileras por mazorca (NHM), lo que hace de este híbrido un buen candidato para seguirse explotando comercialmente, ya que, aunque no hubo diferencias estadísticas en forraje seco, fue el que tuvo mayor producción; además los valores observados en forraje seco en este trabajo superaron los valores mencionados por Jurado *et al.* (2014) para el estado de Chihuahua.

Por otra parte, la identificación de genotipos sobresalientes con alto valor nutritivo de forraje es un aspecto importante en términos de requerimientos de alimentación del ganado (Lauer *et al.*, 2001), en este caso el mejor híbrido fue RX-717 ya que sobresalió en forraje seco, proteína cruda, altura de planta, diámetro de tallo, ancho y largo de mazorca, y número de hileras por mazorca.

Las correlaciones entre variables de la planta (Cuadro 8) muestran correlación positiva y altamente significativa, entre proteína cruda con longitud de mazorca; esta correlación es importante ya que la mazorca almacena gran cantidad de proteína y energía que contribuye a mejorar la calidad del forraje (Sánchez *et al.*, 2013) y fue en el híbrido RX-717 donde se observaron los mayores valores de longitud de mazorca y proteína cruda; similarmente, la variable de proteína cruda correlacionó positivamente con el número de entrenudos, lo cual significa más hojas y por lo tanto más proteína, ya que las hojas aportan valores importantes de proteína al forraje (Hassan, 2011). La variable de forraje verde correlacionó fuertemente con la variable longitud de mazorca, también hubo correlación positiva y altamente significativa entre ancho de mazorca con diámetro de tallo.



**Cuadro 8. Correlaciones fenotípicas de variables de plantas de híbridos de maíz forrajero tratados con estiércol y vermicomposta.**

	FV	FS	AP	DT	NE	AM	LM	NHM	PC
FV	1	0.7065 <0.0001	-0.2516 0.0664	0.0696 0.617	-0.3068 0.024	0.0849 0.5415	0.3714 0.0057	-0.1438 0.2993	0.0492 0.7236
FS		1	-0.0181 0.8962	0.0605 0.6638	-0.1113 0.4227	-0.0783 0.5734	0.0974 0.4835	-0.08 0.5649	-0.202 0.1428
AP			1	0.0425 0.7602	0.7304 <0.0001	0.1929 0.1621	-0.7166 <0.0001	0.126 0.3639	-0.3151 0.0203
DT				1	0.1760 0.2029	0.6064 <0.0001	0.1759 0.2031	0.1089 0.433	0.1777 0.1986
NE					1	0.2653 0.0525	-0.7084 <0.0001	0.0991 0.4757	0.4381 0.0009
AM						1	-0.0201 0.885	0.4936 0.0001	0.0303 0.8274
LM							1	-0.0594 0.6691	0.4591 0.0005
NHM								1	0.0432 0.7562
PC									1

FV= forraje verde; FS= forraje seco; AP= altura de planta; DT= diámetro de tallo; NE= número de entrenudos; AM= ancho de mazorca; LM= largo de mazorca; NHM= número de hileras por mazorca; PC= proteína cruda.

A pesar de que ninguno de los híbridos utilizados mostró superioridad notoria en la producción de materia verde y materia seca, éstos superaron el rendimiento medio nacional ( $47.61 \text{ t ha}^{-1}$ ) en forraje verde bajo riego (SIAP, 2014) y considerando que sobresalieron significativamente en algunas variables que están relacionadas directamente con la producción y calidad, se pueden recomendar para próximos experimentos. Además, el híbrido RX717 demostró ser mejor en la producción de mazorcas, tanto en longitud como en diámetro, las cuales determinan el rendimiento y calidad de forraje.

## Conclusiones

El estiércol es una buena fuente de nutrientes y se puede combinar con otras fuentes de nitrógeno, para mejorar la nutrición vegetal y por tanto, mejorar algunas de las variables que influyen directamente en el rendimiento y calidad de los forrajes. El tratamiento T3 con  $160 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol solarizado +  $3 \text{ t ha}^{-1}$  de vermicomposta fue donde se obtuvo la mayor producción de forraje verde, forraje seco y contenido de proteína, superando al tratamiento T6 de solamente  $160 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol solarizado, por lo que se deduce el efecto positivo de la adición de vermicomposta. Aunque es conocido que la fertilidad del suelo es determinante de la productividad de los cultivos, el genotipo del cultivar empleado también es determinante para alcanzar altos rendimientos de forraje y de buena calidad, pues un cultivar eficiente en el uso de nitrógeno puede tener rendimientos aceptables aún con dosis bajas de nitrógeno.

En este trabajo no se observaron diferencias en la producción de forraje seco, pero sí en contenido de proteína cruda, y en forraje verde los rendimientos fueron muy similares entre los híbridos evaluados, lo que denota el potencial genético de los tres híbridos, en particular el híbrido RX-717 que sobresalió en características de calidad forrajera. Las correlaciones encontradas, señalan que cultivares con alta producción de forraje verde tenderán a tener rendimientos altos de forraje seco, y que valores altos de contenido de proteína cruda se asociarán con valores altos de longitud de mazorca.

### Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico para cursar mis estudios de doctorado y a la Universidad Juárez del estado de Durango por el apoyo para llevar a cabo esta investigación.

### Literatura citada

- Andrades, M. y Martínez, M. E. 2014. Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. 3<sup>ra</sup>. edición. Universidad de la Rioja. Servicio de publicaciones. ISBN 978-84-695-9286-1. 4 p.
- Annicchiarico, G.; Caternolo, G.; Rossi, E. and Martiniello, P. 2011. Effect of manure vs fertilizer inputs on productivity of forage crop models. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 8(6):1893-1913.
- Azeez, J. O. and Van Averbek, W. 2010. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. *Bio. Technol.* 101(14):5645-5651.
- Carmo, D. L.; Lima, L. B. and Silva, C. A. 2016. Soil fertility and electrical conductivity affected by organic waste rates and nutrient inputs. *Rev Bras Cienc Solo*. 40(1): e0150152.
- Flores, J. P.; Corral, D. B.; Figueroa, U.; Mauricio, L. y Sotomayor, V. 2009. Nitrógeno mineralizable de estiércol bovino lechero en suelos agrícolas del norte de México. *In: agricultura orgánica*. (Comp.). Orona, C.; Salazar, S.; Fortis, H. M. (Eds.). Gómez Palacio, Dgo., México: FAZ-UJED, SMCS. 152-172 pp.
- Hassan, A. M. E. 2011. Effect of different nitrogen sources on growth, yield and quality of fodder maize (*Zea mays* L.). *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 10(1):17-23.
- Jurado, G. P.; Lara, M. C. R. y Saucedo, T. R. A. 2014. Paquete tecnológico para la producción de maíz forrajero en Chihuahua. INIFAP. Centro de Investigación Regional Norte Centro, Sitio Experimental La Campana, Aldama, Chihuahua.
- Khorasani, S. K.; Mostafavi, K. and Heidarian, A. R. 2012. Response of maize (*Zea mays* L.) hybrids and inbred lines to salinity stress under field condition. *Tech J. Engin. App. Sci.* 2(2):28-34.
- Lauer, J. G.; Coors, J. G. and Flannery, P. J. 2001. Forage yield and quality of corn cultivars developed in different eras. *Crop Sci.* 41(5):1449-1455.
- Little, Thomas M. y Hills, F. Jackson. 1989. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura: transformaciones. 2<sup>a</sup> (Ed.). México. Trillas 1989. ISBN 978968-243629-1. 4 p.
- Magri, A. and Teira-Esmatges, M. R. 2015. Assessment of a composting process for the treatment of beef cattle manure. *J. Environ. Sci. Health B*. 50(6):430-438.
- Núñez, G. 2006. Maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. México. ISBN 970-43-0092-1 Ed. INIFAP. Torreón, Coah., México. Libro científico núm. 3. 255 p.

- Núñez, G.; Payán, J. A.; Pena, A.; González, F.; Ruiz, O. y Arzola, C. 2010. Caracterización agronómica y nutricional del forraje de variedades de especies anuales en la región norte de México. *Rev. Mex. de Cienc. Pec.* 1(2):85-98.
- Ramírez, J. A.; Figueroa, U.; Núñez, G.; Reta, D. G. and García, J. L. 2016. Evaluation of tillage methods and manure incorporation into corn silage production. *Rev. Chapingo Ser. Zonas Áridas.* 15(2):67-76.
- Saha, U.; Sonon, L.; Hancock, D.; Hill, N.; Stewart, L.; Heusner, G. and Kissel, D. E. 2017. Common terms used in animal feeding and nutrition. UGA Extension. Bulletin 1376. Published by the University of Georgia in cooperation with Fort Valley State University, the U.S. Department of Agriculture, and counties of the state. Georgia, USA. 1-20 pp.
- Salazar, E.; Trejo, H. I.; Vázquez, C. y López, J. D. 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. *Rev. Int. Bot. Exp.* 76(1):169-185.
- Sánchez, M. A.; Aguilar, C. U.; Valenzuela, N.; Joaquín, B. M.; Sánchez, C.; Jiménez, M. C. y Villanueva, C. 2013. Rendimiento en forraje de maíces del trópico húmedo de México en respuesta a densidades de siembra. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 4(3):271-288.
- Sánchez, M. A.; Aguilar, C. U.; Valenzuela, N.; Sánchez, C.; Jiménez, M. C. y Villanueva, C. 2011. Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. *Agron. Mesoam.* 22(2):281-295.
- SAS Institute Inc. 2010. SAS/STAT 9.22. User's Guide. Cary, NC. USA.
- SIAP. 2012. Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola por cultivo. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>.
- SIAP. 2014. Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola por cultivo. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>.
- Silva, P. R. F.; Strieder, M. L.; Coser, R. P. S.; Rambo, L.; Sangoi, L.; Argenta, G.; Forsthofer, E. L. and Silva, A. 2005. Grain yield and kernel crude protein content increases of maize hybrids with late nitrogen side-dressing. *Scientia Agric.* 62(5):487-492.
- Tadeo-Robledo, M.; Espinosa-Calderón, A.; Zaragoza-Esparza, J.; Turrent-Fernández, A.; Sierra-Macías, M. y Gómez-Montiel, N. 2012. Forraje y grano de híbridos de maíz amarillo para Valles Altos de México. *Agron. Mesoam.* 23(2):281-288.
- Tariq, M.; Ayub, M.; Elahi, M.; Ahmad, A. H.; Chaudhary, M. N. and Nadeem, M. A. 2011. Forage yield and some quality attributes of millet (*Pennisetum americanum* L.) hybrid under various regimes of nitrogen fertilization and harvesting dates. *Afr. J. Agric. Res.* 6(16):3883-3890.
- Trejo, H. I.; Salazar, E.; López, J. D. y Vázquez, C. 2013. Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(5):727-738.
- Wong-Romero, R.; Gutiérrez-del Río, E.; Rodríguez-Herrera, S. A.; Palomo-Gil, A.; Córdova-Orellana, H. y Espinoza-Banda, A. 2006. Aptitud combinatoria y parámetros genéticos de maíz para forraje en la Comarca Lagunera, México. *Ecos. Rec. Agrop.* 22(2):141-151.
- Zhao, Z. P.; Yan, S.; Liu, F.; Ji, P. H.; Wang, X. Y. and Tong, Y. A. 2014. Effects of chemical fertilizer combined with organic manure on Fuji apple quality, yield and soil fertility in apple orchard on the Loess Plateau of China. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 7(2):45-55.