

Profundidad de la cinta de riego y estiércol solarizado en la producción y calidad de maíz forrajero

Sergio Arturo Ortiz-Díaz¹
Arturo Reyes-González²
Manuel Fortis Hernández¹
Omar Iván Santana³
Héctor Zermeño González¹
Pablo Preciado-Rangel^{1§}

¹Tecnológico Nacional de México-Campus Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, ejido Ana, Torreón, Coahuila, México. CP. 27170. (sergio.ortdiaz@gmail.com; fortismanuel@hotmail.com; zermegon@yahoo.com.mx). ²Campo Experimental La Laguna-INIFAP. Blvd. José Santos Valdés núm. 1200 Pte., Matamoros, Coahuila, México. CP. 27440. (reyes.arturo@inifap.gob.mx). ³Campo Experimental Pabellón-INIFAP. Carretera Aguascalientes-Santana-Zacatecas km 32.5, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. CP. 20660. (omar@inifap.gob.mx).

§Autor para correspondencia: ppreciador@yahoo.com.mx.

Resumen

El uso de abonos orgánicos como estiércol bovino y el riego por goteo subsuperficial son alternativas que minimizan el uso de fertilizantes y mejoran la eficiencia en el uso del agua. El objetivo de la investigación fue evaluar la profundidad de cinta de riego por goteo a 0.3, 0.15 y 0.05 m y dosis de estiércol bovino solarizado a 50, 75 y 100 t ha⁻¹ y un testigo con fertilización tradicional en la producción y calidad bromatológica en maíz forrajero. La aplicación de estiércol y la profundidad de la cinta de riego mostró diferencias significativas con relación a la fertilización tradicional. El mayor rendimiento de forraje fue para el tratamiento con profundidad de cinta de riego de 0.3 m y 50 t ha⁻¹, por el contrario, la menor fue para la cinta de riego con una profundidad de 0.05 m y fertilización tradicional. La dosis de estiércol con 75 t ha⁻¹ logro la mayor producción de forraje seco con 22.43 t ha⁻¹. La mayor eficiencia en el uso de agua se presentó con la profundidad de cinta a 0.15 m. Respecto a la calidad bromatológica esta fue mayor en los tratamientos donde se aplicó estiércol y cinta de riego a profundidades de 0.15 y 0.3 m. Con la utilización del estiércol bovino y el riego por goteo subsuperficial, se disminuye la fertilización y se mejora el uso eficiente del agua en la producción de maíz forrajero.

Palabras clave: calidad bromatológica, estiércol bovino solarizado, productividad del agua.

Recibido: abril de 2022
Aceptado: julio de 2022

Introducción

La principal fuente de alimentación para el ganado estabulado en la Comarca Lagunera son los forrajes (maíz, alfalfa, sorgo y avena), los cuales ocupan más de 70% de la superficie cultivada (SADER, 2021). El maíz forrajero ocupa la mayor superficie cultivada en la región con 48 793 ha bajo riego por gravedad (13 834 ha) y bombeo (34 595 ha) (SADER, 2021).

Para aumentar la productividad de los forrajes se utilizan cantidades excesivas de fertilizantes y de agua (Reyes *et al.*, 2020), la cual es limitada y escasa en regiones áridas y semiáridas del mundo, en esta zona agroecológica el sistema de riego prevaeciente para el cultivo de maíz forrajero es el sistema de riego por gravedad (SADER, 2021), el cual es muy ineficiente en el uso del agua (Reyes *et al.*, 2020).

El riego por goteo subsuperficial (RGS) mejora la eficiencia en el uso de agua y disminuye hasta 44% el volumen aplicado respecto al sistema de riego por gravedad (Gutiérrez *et al.*, 2017). El RGS aumenta el rendimiento y la eficiencia en el uso del agua en cultivos forrajeros, ya que disminuye las pérdidas por evaporación y percolación profunda del suelo (Sandhu *et al.*, 2019).

La utilización de los fertilizantes, incrementan el rendimiento de los cultivos; sin embargo, la sobre fertilización y el mal manejo del suelo, acelera su deterioro. Ante esta situación el uso de abonos orgánicos es una práctica agrícola sustentable, al contribuir a mantener la fertilidad natural del suelo (Bonanomi *et al.*, 2020), ya que es una fuente de nutrimentos y un mejorador del suelo (Cai *et al.*, 2019). En la Comarca Lagunera se producen cerca de un millón de toneladas de estiércol bovino (Ramírez *et al.*, 2016), el cual se puede utilizar para disminuir o sustituir la fertilización inorgánica, al ser una fuente orgánica de nutrimentos para los cultivos (Figuroa *et al.*, 2010).

Diversas investigaciones se han realizado por separado para evaluar diferentes sistemas de RGS a diferentes profundidades de cinta de riego (Salomó *et al.*, 2019) o diferentes dosis de estiércol bovino (Salazar *et al.*, 2010). Sin embargo, investigaciones en las que se evalúe la profundidad de cinta de riego y estiércol solarizado en maíz forrajero en la Comarca Lagunera no se ha realizado. Por esta razón, el objetivo de la investigación fue: evaluar el efecto de tres profundidades de cinta de riego por goteo y diferentes dosis de estiércol bovino solarizado en la producción y calidad bromatológica en maíz forrajero (*Zea mays* L.).

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en el Campo Experimental La Laguna (CELALA), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado a 25° 32' latitud norte y 103° 14' longitud oeste, a 1 150 msnm. La textura del suelo es franco-arcilloso (28% arena, 40% arcilla, 32% limo). El clima de la región se clasifica como seco semicaldo, (Bwh) (García, 2004), con temperatura media de 22.6 °C, precipitación media anual de 227 mm y evapotranspiración (ET) de 2 000 mm (Villa *et al.*, 2005).

La solarización del estiércol bovino se realizó en montículos de 5 m de largo por 1 m de ancho con una altura de 0.8 m durante 90 días. El plástico utilizado fue de polietileno transparente de 30 micras de espesor. Los montículos se cubrieron de tal forma que los bordes quedaran sellados y el plástico quedara a pleno contacto con el estiércol, para evitar pérdidas de humedad y temperatura.

Al finalizar el periodo de solarización el estiércol se analizó en forma química, arrojando los siguientes resultados: pH= 7.79, conductividad eléctrica (CE)= 6.8 dS m⁻¹, MO= 5.35%, nitrógeno total= 0.86%, NH₄= 0.084%.

La preparación del terreno consistió en subsuelo, barbecho, incorporación del estiércol solarizado (ES), rastra, nivelación y colocación de la cinta de riego. La siembra se realizó en seco, la distancia entre plantas fue de 12 cm y 76 cm de separación entre surcos para tener una densidad de población de 105 000 plantas ha⁻¹. Se utilizó el híbrido comercial 20W41 (Syngenta), el cual es de ciclo intermedio, bajo siembra convencional, tolerante al acame, con buena sanidad de planta y mazorca.

Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas en bloques al azar con tres repeticiones. Las diferentes dosis de estiércol solarizado se consideraron como parcela grande (50, 75 y 100 t ha⁻¹) y un testigo con fertilización inorgánica (200-100-00 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O), mientras que la profundidad de la cinta de riego (0.3, 0.15 y 0.05 m) fue la parcela chica, cada parcela chica estuvo conformada por cuatro surcos de 5 m de longitud y una distancia entre surcos de 0.76 m (15 m²). Se aplicó 100% del fósforo y 50% de la dosis de nitrógeno correspondiente a cada tratamiento en el momento de la siembra para después aplicar el riego de establecimiento. A los 34 días después de la siembra (DDS) se realizó una labor de cultivo y aporque con una cultivadora de vertederas, para romper la ‘costra’ del suelo, eliminar maleza y aplicar el resto del nitrógeno.

La cinta de riego utilizada fue RO-DRIP 8 000 (Rivulis Irrigation Inc., San Diego, CA, EUA) con espesor de pared de 0.2 mm, diámetro interior de 16 mm, con emisores a 0.2 m de separación y un gasto de 0.5 L h⁻¹ por gotero. La presión de operación del sistema de riego fue de 8 PSI con una frecuencia de riego cada tercer día. El tiempo de riego fue el mismo para las tres profundidades. La ET de referencia se tomó de un atmómetro (ETgage, modelo A comercializado por ETgage Company Loveland, Colorado, EUA) que se encontraba a 20 m de la parcela experimental.

El índice de área foliar (IAF) se determinó cada semana utilizando el ceptómetro PAR/LAI modelo Lp-80 de AccuPAR (Decagon Devices, Inc. Pullman, WA, EUA). La barra del ceptómetro se colocó en un ángulo de 45° a través del surco del cultivo para medir la interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) a lo largo de la barra. La interceptación de la radiación fotosintéticamente activa PAR se midió entre las 12:00 y 14:00 h en cada tratamiento y en cada repetición, tomando tres lecturas por encima y por debajo del dosel del cultivo (Reyes *et al.*, 2019).

Las lecturas con el equipo SPAD (Soil Plant Analytical Development), se tomaron semanalmente en dos plantas de cada unidad experimental. Las mediciones se realizaron en las hojas más jóvenes completamente expandidas, en la parte media entre la base y el ápice de la hoja, al final se registró el promedio de tres lecturas por planta. La altura final de la planta se tomó al momento de la cosecha. Se midió dos plantas por tratamiento desde la base del tallo hasta la espiga con una cinta métrica. La cosecha se realizó en forma manual a los 105 DDS cuando la maduración del grano tenía un tercio de avance de la línea de leche.

La producción de forraje verde se estimó al pesar la biomasa de tres metros lineales en los dos surcos centrales de cada tratamiento (4.56 m²), después se tomó una muestra de 500 g y se secó en una estufa de aire forzado a una temperatura de 65 °C durante 72 h, para luego determinar la producción de forraje seco, por el porcentaje de materia seca y la producción de forraje verde.

La eficiencia en el uso del agua (EUA) se obtuvo al dividir el rendimiento de forraje seco cosechado (kg) entre el volumen total de agua utilizada (m^3) en cada tratamiento. Para la calidad bromatológica se tomaron muestras de 200 g de cada tratamiento por repetición previamente molidas, se depositaron en bolsas de plástico, para ser enviadas al laboratorio y determinar el contenido nutricional mediante espectroscopia de reflectancia del infrarrojo cercano (NIRS).

Para esto se tomaron submuestras de 100 g y se molieron en un molino de laboratorio (Arthur H. Thomas Co. Philadelphia, PA) para pasar por una malla de 1 mm y obtener los resultados en el equipo NIRS utilizando correlaciones preestablecidas con análisis de química húmeda (Valenciaga y Simoes, 2006). Los parámetros evaluados fueron: fibra detergente neutra de materia orgánica (FDNmo), proteína cruda (PC), lignina, almidón, energía neta para lactación (ENL) y digestibilidad de la fibra detergente neutra a 30 h de incubación (FDND-30 h).

La determinación de proteína cruda (PC) se realizó siguiendo los métodos oficiales de la AOAC (2005). La PC se cuantificó con el método microKjeldhal, mientras que el contenido de grasa se determinó mediante el método Soxhlet usando un extractor Goldfish (Labconco, EUA). Los porcentajes de fibras ácido y neutro detergente (FDA y FDN) se cuantificaron con el método de fraccionamiento con detergente y filtración subsecuente (Van Soest *et al.*, 1978).

Para determinar si hubo diferencias significativas en las variables respuesta se realizó un análisis de varianza a cada variable utilizando el procedimiento GLM de SAS, cuando se detectaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) se aplicó la prueba de separación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el paquete estadístico SAS 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC. EUA).

Resultados y discusión

Índice de área foliar

Los valores del IAF, fueron afectados por los tratamientos en estudio (Figura 1a), en general al inicio presenta un crecimiento lento, seguido por un mayor aumento en la etapa vegetativa, hasta alcanzar un valor máximo y posteriormente disminuir gradualmente a causa de la senescencia de las hojas cuando el cultivo alcanza su madurez fisiológica.

El mayor IAF fue de 6.56 para el tratamiento con 50 t ha^{-1} de estiércol solarizado y una profundidad de la cinta de riego de 0.3 m superando 20% al IAF obtenido por el tratamiento testigo, lo anterior probablemente sea debido a que en este tratamiento existió un mayor estrés hídrico en la planta que induce una menor transpiración, menos absorción de CO_2 y reducción en la fotosíntesis (Montemayor *et al.*, 2012), debido a la menor humedad en el suelo; estos mismos autores reportan valores similares de IAF, al obtener valores de IAF máximo de cinco y seis en la producción de maíz con riego por goteo subsuperficial. Reyes *et al.* (2019), encontraron bajos valores de IAF en los tratamientos donde hubo escasa humedad en el suelo en un maíz sembrado en Dakota del Sur, USA.

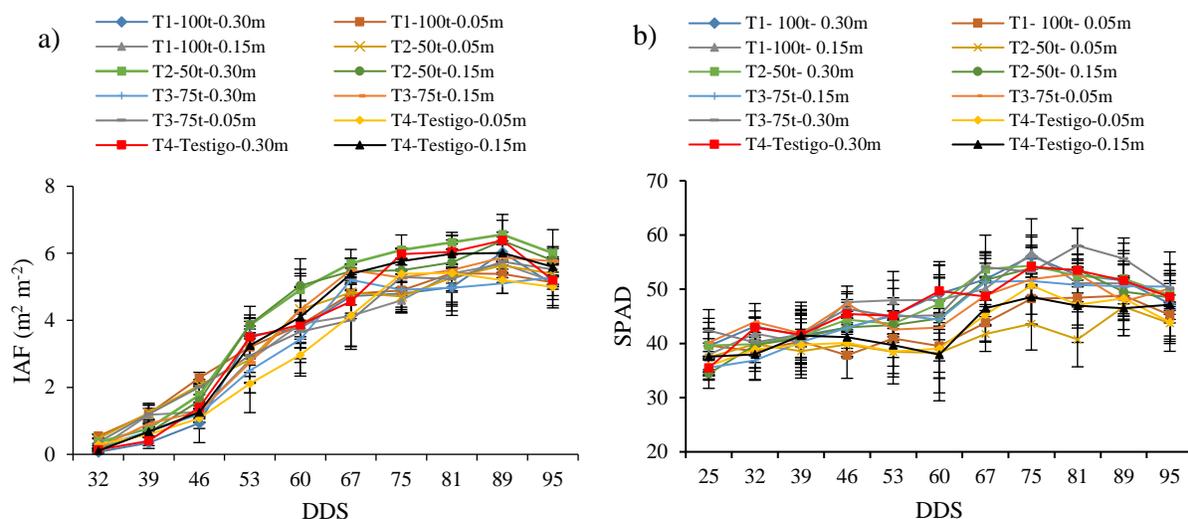


Figura 1. Comportamiento del IAF (a) y valores SPAD (b) en tres dosis de estiércol y una fertilización química y tres profundidades de cinta de riego. Las barras verticales indican la desviación estándar de cada uno de los tratamientos.

Índice de clorofila

Los valores SPAD en hojas de maíz fueron diferentes para el estiércol y la fertilización química (Figura 1b). En las etapas iniciales, los valores de SPAD presentaron un comportamiento similar, debido a que en los estados de desarrollo inicial del cultivo de maíz existe poca demanda de nutrimentos por la planta, por lo que el uso de ES permite que los nutrientes se encuentren disponibles. En esta etapa valores SPAD inferiores a 35.3, son equivalentes a un contenido de N de 1.83% en las hojas, lo cual indica que es necesario aplicar N (Castellanos *et al.*, 2017); sin embargo, después de los 46 DDS existieron diferencias entre los tratamientos. Los menores valores fueron para los de 50 t ha⁻¹ de estiércol y el testigo con, 37.43 y 48.55 unidades SPAD, respectivamente, por el contrario, el tratamiento con 75 t ha⁻¹ y una profundidad de 0.3 m de cinta de riego tuvo los valores más altos con un rango de 40.17 a 58.02 unidades SPAD.

Dichos valores se consideran adecuados para el cultivo de maíz ya que de acuerdo a Castellanos *et al.* (2017), los valores de índice de verdor superiores a 50 unidades SPAD son determinantes para un buen rendimiento del cultivo de maíz forrajero debido a que el índice de verdor está relacionado con el contenido de nitrógeno, por lo tanto repercute en el rendimiento del cultivo. Ávalos *et al.* (2018) obtuvo resultados similares con aplicaciones de estiércol bovino (80 t ha⁻¹) en comparación a fertilización química en la producción de maíz forrajero.

Altura de planta

Los tratamientos evaluados mostraron diferencias significativas para altura de planta (AP), forraje verde (FV), forraje seco (FS) y eficiencia en el uso de agua (EUA) (Cuadro 1). El tratamiento con 100 t ha⁻¹ de ES y una profundidad de cinta de riego de 0.3 m, presentó mayor altura con 2.04 m, seguido del tratamiento de 50 t ha⁻¹ con profundidad de 0.3 m; sin embargo, este tratamiento, pero con una profundidad de cinta de riego de 0.05 m tuvo menor altura con 1.56 m, esto se debe a que la cinta de riego está en la superficie por lo tanto la evaporación es mayor y la humedad en el

sistema radical del cultivo es menor, lo que repercute en el desarrollo del cultivo. Reyes *et al.* (2020) comentan que las mayores alturas se obtienen con el RGS, ya que con este sistema la humedad siempre está disponible en la zona radical del cultivo en comparación con el sistema de riego por goteo superficial.

La altura de planta obtenida en este trabajo de investigación es similar a los reportados por López *et al.* (2015), quienes obtuvieron plantas más altas con la aplicación de estiércol bovino, debido a los aportes nutricionales que proporciona el estiércol al incrementar la producción de biomasa en las plantas. Resultados similares fueron observados por Ávalos *et al.* (2018), quienes obtuvieron las mayores alturas en los tratamiento donde se aplicó abonos orgánicos.

Producción de biomasa

La producción de forraje verde y seco fue afectada por los distintos tratamientos evaluados (Cuadro 1), el uso de ES promovió los mayores rendimientos promedio de forraje verde y seco, con 75.29 y 24.21 t ha⁻¹ con dosis de estiércol de 50 t ha⁻¹ y con una profundidad de la cinta de riego de 0.3 m. Esto se atribuye a que en la superficie del suelo prácticamente no hay humedad, por lo tanto, el proceso de evaporación disminuye y permite mantener el contenido de humedad en el suelo directamente en la zona radical de la planta (Montemayor *et al.*, 2012).

Cuadro 1. Efecto del estiércol solarizado y profundidades de cinta de riego sobre la altura de planta (AP), rendimiento de forraje verde (FV), forraje seco (FS) y uso eficiente del agua (EUA) en maíz forrajero.

Tratamientos		Variables			
Dosis (t)	Profundidad (m)	AP (m)	FV (t ha ⁻¹)	FS (t ha ⁻¹)	EUA (kg FS m ⁻³)
100	0.3	2.04 a*	65.16 abc	22.48 ab	3.27 ab
100	0.15	1.93 a	65.71 abc	22.85 ab	3.75 ab
100	0.05	1.77 ab	54.9 c	18.86 abc	3.44 ab
75	0.3	1.85 ab	67.68 ab	23.55 ab	3.43 ab
75	0.15	1.91 a	64.1 bc	22.54 ab	3.69 ab
75	0.05	1.78 ab	60.81 bc	21.2 abc	3.87 a
50	0.3	1.96 a	75.29 a	24.21 a	3.52 ab
50	0.15	1.9 a	66.88 ab	22.01 abc	3.61 ab
50	0.05	1.56 b	55.19 c	19.55 abc	3.56 ab
Química	0.3	1.94 a	67.47 ab	20.7 abc	3.02 ab
Química	0.15	1.8 ab	64.1 bc	18.01 bc	2.95 b
Química	0.05	1.74 ab	56.72 bc	16.64 c	3.03 ab

*= letras diferentes son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

En contraste con los tratamientos en la que la cinta de riego estuvo sobre la superficie (0.05 m), la producción de forraje verde y seco fue inferior 27 y 22%, respectivamente. Los rendimientos obtenidos en esta investigación superan a los reportados por Yescas *et al.* (2015) quienes tuvieron un rendimiento promedio de forraje verde de 52.3 t ha⁻¹ en maíz forrajero irrigado con riego por goteo sin el uso de estiércol, de ahí la importancia de utilizar el estiércol de bovino solarizado, la

adición de este modifica el sistema agua-suelo-planta al proporcionar nutrientes y disminuir los efectos negativos del estrés por déficit de humedad, lo que pudo observarse por los efectos positivos en la altura de planta y producción de forraje verde y seco (Santoyo *et al.*, 2017).

Eficiencia en el uso de agua

La EUA fue superior con la utilización de ES con relación a la fertilización tradicional (Cuadro 1). La mayor EUA corresponde al tratamiento con 75 t ha⁻¹ de estiércol y con la cinta de riego sobre la superficie (0.05 m) (3.87 kg FS m⁻³), superando en 24% a la EUA lograda por el tratamiento con fertilización química (2.95 kg FS m⁻³). Estos valores fueron diferentes a los reportados por Reyes *et al.* (2018) quienes no encontraron diferencia significativa entre la utilización de estiércol y fertilización química en maíz con riego por goteo. Por otro lado, Conde *et al.* (2021) encontraron diferencia estadística significativa entre valores de EUA en tres diferentes profundidades de cinta de riego (0.1, 0.2 y 0.3 m), siendo diferentes a lo reportado en el presente trabajo. Sin embargo, valores similares de EUA han sido reportados en maíz forrajero bajo diferentes niveles de riego por goteo, encontrando valores desde 2.98 hasta 3.24 kg FS m⁻³ (Montemayor *et al.*, 2007).

En el presente trabajo la mayor EUA en promedio se logró con la de cinta de riego a 0.15 m, ya que obtuvo rendimientos similares al tratamiento de 0.3 m de profundidad, pero con menor lámina de riego (61 cm). Estos resultados coinciden con Reyes *et al.* (2020) quienes reportan que al aplicar mayor lamina de riego no siempre se obtendrán mayores eficiencias en el uso de agua. En general con el uso de estiércol bovino solarizado y el riego por goteo subsuperficial es posible sustituir la fertilización química tradicional y mejorar el EUA en la producción de maíz forrajero.

Calidad bromatológica

Proteína cruda

La PC del forraje es uno de los mejores indicadores de la calidad nutritiva, al regular la digestibilidad; por lo tanto, la producción en rumiantes (Mejía, 2002). Los resultados obtenidos mostraron que el uso de estiércol en general mejoro el rendimiento de PC (Cuadro 2). La aplicación de 75 t ha⁻¹ de ES y una profundidad de la cinta de riego a 0.3 m, logro los mayores rendimientos de PC (1 891 kg ha⁻¹); en cambio, el menor rendimiento de este nutriente correspondió a la fertilización tradicional y a la cinta de riego en la superficie del suelo (0.05 m) (1 407 kg ha⁻¹).

A pesar de que la fertilización nitrogenada aumenta el contenido de PC (Barrios y Basso, 2018), los resultados de este estudio pueden deberse a que la fertilización nitrogenada provoca un alto contenido de nitrógeno inorgánico en el suelo, el cual probablemente no es requerido y aprovechado por la planta en ese momento; por lo cual, comienza a perderse por lixiviación o volatilización, disminuyendo así el nitrógeno acumulado (Larios *et al.*, 2021). Esto explica porque en los tratamientos con estiércol los rendimientos de PC son superiores a los tratamientos con la fertilización química, debido a que la mineralización del estiércol es gradual y prolongada durante el ciclo del cultivo a diferencia de la fertilización química. Larios *et al.* (2021) mencionan que las pérdidas de nitrógeno se registran desde 24 h después de la aplicación. Resultados similares fueron obtenidos por García *et al.* (2019), quienes evaluaron diferentes dosis de fertilizantes en maíz forrajero en la Comarca Lagunera, aunque superiores a los encontrados por Osuna y Martínez (2017), quienes evaluaron rendimiento y calidad de forraje en maíz y sorgo de temporal.

Cuadro 2. Rendimiento de fibra detergente neutra (FDN), proteína cruda (PC), fibra detergente ácida (FDA), lignina, almidón, energía neta para lactación (ENL), digestibilidad in vitro de la FDN a las 30 h de incubación (FDND30h) del forraje de maíz.

Tratamientos		Rendimiento de nutriente						
Dosis (t)	Prof (m)	R-FDNmo (kg ha ⁻¹)	R-PC (kg ha ⁻¹)	R-FDA (kg ha ⁻¹)	R-lignina (kg ha ⁻¹)	R-almidón (kg ha ⁻¹)	R-ENL (Mcal kg ⁻¹)	R-FDND30h (kg ha ⁻¹)
100	0.3	8 448 abcd	1 728 ab	5 319 abc	1 079 abcd	8 507 a	3 6195 a	4 623 abcd
100	0.15	9 948 abc	1 808 ab	6 160 ab	1 129 abc	6 684 ab	3 4517 ab	5 505 abc
100	0.05	7687 cd	1 612 ab	4 681 c	860 cde	5 923 bc	29 799 abc	4 367 cd
75	0.3	10 084 ab	1 891 a	6 126 abc	1 137 ab	7 003 ab	36 275 a	5 801 a
75	0.15	9 601 abcd	1 846 ab	6 077 abc	1 134 abc	6 375 b	34 041 ab	5 309 abcd
75	0.05	8 805 abcd	1 732 ab	5 444 abc	1 026 abcde	6 984 ab	32 872 abc	4 859 abcd
50	0.3	10 296 a*	1 823 ab	6 433 a	1 196 a	7 608 ab	37 048 a	5 643 ab
50	0.15	9 573 abcd	1 829 ab	5 903 abc	1 094 abcd	6 189 bc	33 467 ab	5 127 abcd
50	0.05	7 606 d	1 632 ab	4 775 bc	909 bcde	6 521 b	31 090 abc	4 172 d
Química	0.3	9 131 abcd	1 638 ab	5 715 abc	1 084 abcd	5 830 bc	30 851 abc	5 011 abcd
Química	0.15	7 886 bcd	1 598 ab	4 944 bc	836 de	4 412 cd	27 028 bc	4 399 bcd
Química	0.05	7 680 cd	1 407 b	4 709 c	794 e	3 742 d	24 630 c	4 414 bcd

*= Letras diferentes son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Fibra detergente neutra y fibra detergente ácida

Los distintos tratamientos mostraron diferencias significativas en FDNmo (Cuadro 2). El tratamiento de 50 t ha⁻¹ con una profundidad de 0.3 m, presentó el mayor rendimiento de FDNmo con 10 296 kg ha⁻¹, superando al resto de los tratamientos, siendo el mismo tratamiento, pero con una profundidad de cinta de riego de 0.05 m el de menor rendimiento (7 606 kg ha⁻¹). Similarmente, el tratamiento de 50 t ha⁻¹ con profundidad de cinta de riego de 0.3 m fue el que registró el valor máximo (6 433 kg ha⁻¹) de FDA. El valor mínimo de FDA fue con el tratamiento de 100 t ha⁻¹ con profundidad de cinta 0.05 m.

Los mayores rendimientos de fibras pueden estar asociados a un mejor desarrollo del cultivo en el tratamiento donde se aplicó 50 t ha⁻¹ de N y una profundidad de cinta 0.3 m, al obtener el mayor rendimiento de forraje en este tratamiento. Es posible que el cultivo en este tratamiento desarrolló una proporción mayor de tallos respecto a los otros tratamientos y por consecuencia, se aumentó el rendimiento de fibra en general. Esto específicamente considerando que la fibra se encuentra principalmente en el tallo de los forrajes (Van Soest, 1994). Olague *et al.* (2006); Yescas *et al.*, (2015) encontraron diferencias significativas entre los valores de FDN y FDA en maíces establecidos bajo riego por goteo subsuperficial.

Lignina

Se observaron diferencias significativas en lignina entre los tratamientos, el tratamiento de 50 t ha⁻¹ con profundidad de cinta de 0.3 m fue el que registró el mayor rendimiento (1 196 kg ha⁻¹) de lignina, mientras que el valor mínimo fue para el tratamiento de fertilización química (794 kg

ha⁻¹). Los rendimientos de lignina en este estudio fueron similares (806 kg ha⁻¹) a los reportados por Ochoa *et al.* (2012) quienes probaron dos fuentes de nitrógeno y dos sistemas de riego en la producción y calidad en maíz forrajero.

Digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutra a 30 h de incubación

Los rendimientos de FDND30h fluctuaron entre 4 172 y 5 801 kg ha⁻¹, habiendo diferencias significativas entre los tratamientos. El mayor rendimiento de FDND30h lo presentó el tratamiento con una dosis de 75 t ha⁻¹ y profundidad de cinta de 0.3 m. Zaragoza *et al.* (2019) mencionan que la digestibilidad de la FDN se correlaciona positivamente con el consumo de alimento. Es decir, a medida que aumenta la digestibilidad del FDN en un forraje, incrementa el consumo de alimento en los animales y, por lo tanto, se mejora la producción de leche o carne. Por lo tanto, los resultados con mayor rendimiento de FDND30h, como es el caso del tratamiento de 75 t ha⁻¹ con profundidad de cinta de 0.3 m, pueden contribuir mayormente a mejorar los consumos en los animales al utilizarse este forraje. Fortis *et al.* (2009) reportan resultados similares con aplicación de abonos orgánicos y riego por goteo subterráneo, al igual que Salazar *et al.*, (2007) quienes aplicaron estiércol bovino en maíz forrajero.

Almidón

Diferencias significativas en el rendimiento de almidón se observaron entre tratamientos (Cuadro 2). El rango osciló entre 3 742 y 8 507 kg ha⁻¹. El valor menor correspondió al tratamiento con fertilización química con profundidad de cinta de 0.05 m y el valor mayor al tratamiento con estiércol de 100 t ha⁻¹ con profundidad de cinta de 0.3 m. Los mayores rendimientos de almidón se registraron en los tratamientos donde se aplicaron 100 y 75 t de estiércol con cintilla enterrada, mientras que los menores se registraron en la fertilización química. Es posible que la baja mineralización del N del estiércol respecto al fertilizante químico propició una mayor disponibilidad de N para la planta cuando se encontraba en etapa de llenado del grano (Castellanos *et al.*, 2017). Por lo tanto, el cultivo en el tratamiento con estiércol tuvo mayor producción de grano.

Energía neta de lactancia

En cuanto al rendimiento de ENL hubo diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento con dosis de 50 t ha⁻¹ de estiércol y una profundidad de 0.3 m, obtuvo el mejor rendimiento (37 048 Mcal kg⁻¹), a diferencia de la de fertilización química con profundidad 0.05 m (24 630 Mcal kg⁻¹), que obtuvo el menor rendimiento. Fortis *et al.* (2009), evaluaron la aplicación de abonos orgánicos y fertilización química en la producción de maíz forrajero con riego por goteo y obtuvieron mejores resultados en los tratamientos con fertilización química.

Conclusiones

La mayor producción de forraje seco se presentó en los tratamientos con cintilla enterrada a 0.15 y 0.3 m de profundidad, esto debido a que el agua llega directamente a la zona de las raíces del cultivo y la pérdida de agua por evaporación es menor que en el estrato superficial. La eficiencia en el uso de agua en general fue mayor en el tratamiento donde se enterró la cinta a 0.15 m. En lo que se refiere a la aplicación de estiércol solarizado, la dosis con 75 t ha⁻¹ fue el que presentó un promedio mayor en la producción de forraje seco (22.43 t ha⁻¹). En general los tratamientos con

dosis de estiércol fueron mayores al tratamiento testigo, superándolo desde un 14 a un 18%. Esto quiere decir que es posible sustituir el fertilizante químico por la aplicación de estiércol bovino solarizado. Además, con el uso de estiércol la eficiencia en el uso del agua fue mayor. En cuanto al rendimiento de calidad nutricional de forraje los tratamientos donde se aplicó estiércol y cinta de riego a profundidades de 0.15 y 0.3 m fueron los que presentaron los mejores resultados.

Literatura citada

- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. 18th (Ed.). AOAC International. Gaithersburg, MD, EEUU. 179 p.
- Ávalos, C. M. A.; Figueroa, V. U.; García, H. J. L.; Vázquez, V. C.; Gallegos, R. M. A. y Orona, C. I. 2018. Bioinoculantes y abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero. *Nova Scientia*. 10(20):170-189.
- Barrios, M. y Basso, C. 2018. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre componentes del rendimiento y calidad nutricional del grano de seis híbridos de maíz. *Bioagro*. 30(1):39-48.
- Bononomi, G.; Alioto, M.; Minutolo, M.; Marra, R.; Cesarano, G. and Vinale, F. 2020. Organic amendments modulate soil microbiota and reduce virus disease incidence in the TSWV-tomato pathosystem. *Pathogens*. 9(5):7-9.
- Cai, A.; Xu, M.; Wang, B.; Zhang, W.; Liang, G.; Hou, E. and Luo, Y. 2019. Manure acts as a better fertilizer for increasing crop yields than synthetic fertilizer does by improving soil fertility. *Soil Tillage Res.* 189(1):168-175.
- Castellanos, M. A. R.; Carmenate, R. V.; Gómez, A. L.; Izquierdo, G. F. 2017. Mediciones de índices de verdor relacionadas con área foliar y productividad de híbrido de maíz. Ministerio de Educación Superior. Cuba Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 38(3):112-116.
- Conde, S. J. L.; Sánchez, U. A. B.; Colmenares, O. C. B.; Vázquez, E. R. y Ortega, A. J. 2021. Impacto del riego por goteo subsuperficial en la eficiencia de uso del agua en maíz (*Zea mays* L.). *Rev. Científica Agroecosistemas*. 9(1):50-58.
- Figueroa, V. U.; Cueto, W. J. A.; Delgado, J. A.; Nuñez, H. G.; Reta, S. D. G.; Quiroga, G. H. M.; Faz, C. R. y Márquez, R. J. L. 2010. Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoam.* 28(4):361-369.
- Fortis, H. M.; Leos, R. J. A.; Preciado, R. P.; Castillo, I. O.; García, S. J. A.; García, H. J. L. y Orozco, V. J. A. 2009. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoam.* 27(4):329-336.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México. Series libros núm. 6. 90-93 pp.
- García, S. J. L.; Cueto, W. J. A.; Figueroa, V. U. y Reta, S. D. G. 2019. Inhibidor de la nitrificación DMPP en la fertilización del maíz forrajero en la Comarca Lagunera. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 10(8):1849-186.
- Gutiérrez, R. A. S.; Palestina, M. S.; Bañuelos, H. G. y Pérez, A. S. 2017. Eficiencia en el uso del agua de variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con sistema de riego subsuperficial. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 8(4):429-435.
- Larios, G. R. C.; Centeno, L. G.; Ríos, M. J. y Avalos, E. C. D. S. y Castro, S. J. R. 2021. Pérdidas de nitrógeno por volatilización a partir de dos fuentes nitrogenadas y dos métodos de aplicación. *Siembra*. 8(2):1-11.

- López, C. M. J.; Figueroa, V. U.; Fortis, H. M.; Núñez, H. G.; Ochoa, M. E. and Sánchez, D. J. I. 2015. Fertilizer and manure equivalent rates on forage corn production (*Zea mays* L.). *Phyton*. 84(1):8-13.
- Mejía, H. J. 2002. Consumo voluntario de forraje por rumiantes en pastoreo. *Acta Universitaria*. 12(3):56-63.
- Montemayor, T. J. A.; Olague, R. J.; Fortis, H. M.; Sam, B. R. L. R.; Salazar, S. E.; Castruita, L. J.; Rodríguez, R. J. C. y Chavarría, G. J. A. 2007. Consumo de agua en maíz forrajero con riego subsuperficial. *Terra Latinoam*. 25(2):163-168.
- Montemayor, T. J. A.; Lara, M. J. L.; Woo, R. J. L.; Munguía, L. J.; Rivera, G. M. y Trucíos, C. R. 2012. Producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en tres sistemas de irrigación en la Comarca Lagunera de Coahuila y Durango, México. *Agrociencia*. 46(3):267-278.
- Ochoa, M. E.; Núñez, H. G.; Sánchez, D. J. I.; Rodríguez, H. K. y Figueroa, V. U. 2012. Calidad, eficiencia en el uso del agua y producción de maíz con dos fuentes de nitrógeno y sistemas de riego. *Agrofaz*. 12(4):79-85.
- Olague, J. R.; Montemayor, T. A. J.; Sánchez, S. R. B; Hernández, M. F. y Cerda, E. R. 2006. Características agronómicas y calidad del maíz forrajero con riego sub-superficial. *Téc. Pec. Méx*. 44(3):351-357.
- Osuna, C. E. S. y Martínez, G. M. Á. 2017. Rendimiento y calidad de forraje de maíz y sorgo de temporal a cuatro y seis hileras en Aguascalientes. *Rev. Mex. Cienc. Agríc*. 8(6):1259-1272.
- Ramírez, I. J. A.; Figueroa, V. U.; Núñez, H. G.; Reta, S. D. G. y García, H. J. L. 2016. Evaluación de métodos de labranza e incorporación de estiércol en la producción de ensilaje de maíz. *Rev. Chapingo Ser. Zonas Áridas*. 15(2):67-76.
- Reyes, G. A.; Anaya, S. A.; Sánchez, D. J. I.; Isidro, R. L.M.; Torres, H. D. y Marinez, R. J. G. 2018. Efecto del riego por goteo y estiércol en la productividad del agua en maíz forrajero. *Agrofaz*. Ed. Esp. 101-108.
- Reyes, G. A.; Kjaersgaard, J.; Trooien, T.; Reta, S. D. G.; Sánchez, D. J. I.; Preciado, R. P. y Fortis, H. M. 2019. Comparación del índice de área foliar, la temperatura superficial y la evapotranspiración real estimada utilizando el modelo METRIC y las mediciones *in situ*. *Sensors*. 19(8):1857.
- Reyes, G. A.; Sánchez, D. G. R.; Duarte, J. I. S.; Gaytan, I. F.; Leal, E. H. y Hernández, K. R. 2020. Rendimiento y productividad del agua en maíz (*Zea mays* L.) forrajero con riego por goteo subsuperficial. *Agrofaz*. 2(1):3-13.
- SADER. 2021. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural-Delegación en la Región Lagunera, Sector Agropecuario, 2021. El Siglo de Torreón. Suplemento especial. 24 p.
- Salazar, S. E.; Trejo, E. H. I.; López, M. J. D.; Vázquez, V. C.; Serrato, C. J. S.; Orona, C. I. y Flores, M. J. P. 2010. De maíz forrajero y propiedades del suelo Residual. *Terra Latinoam*. 28(4):381-390.
- Salazar, S. E.; Trejo, E. H. I.; Vázquez, V. C. y López, M. J. D. 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. *Phyton*. 76(1):269-285.
- Salomó, J.; Sanmartín, J. M.; Pérez, C. y Maresma, G. Á. 2019. Riego por goteo subterráneo en cultivos de maíz y alfalfa. *Vida Rural*. 458(1):42-48.
- Sandhu, O. S.; Gupta, R. K.; Thind, H. S.; Jat, M. L. and Sidhu, H. S. 2019. Drip irrigation and nitrogen management for improving crop yields, nitrogen use efficiency and water productivity of maize-wheat system on permanent beds in north-west India. *Agricultural Water Management*. 219(1):19-26.

- Santoyo, M. Á. B.; Fuentes, G. Á.; Rodríguez, J. M. P.; López, J. C. G. y Rivera, R. C. 2017. Abonos obtenidos del compostado de heces de ganado bovino de leche vs. fertilizante en la producción de triticale (*X Triticum secale* Wittmack). Rev. de la Facultad de Ciencias Agrarias. 49(1):95-104.
- Valenciaga, D. y Simoes, D. O. 2006. La espectroscopia de reflectancia en el infrarojo cercano (NIRS) y sus potencialidades para la evaluación de forrajes. Cuban J. Agric. Sci. 40(3):259-267.
- Van Soest, P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd Ed. Ithaca NY. Cornell Univesrity Press. 476-477 pp.
- Van Soest, P. J.; Mertens, D. R. and Deinum, B. 1978. Preharvest factors inf luencing quality of conserved forage. J. Animal Sci. 47(3):712-720.
- Villa, C. M. M.; Catalán, V. E. A. y Inzunza, M. A. 2005. Análisis de la información climática para usos agrícolas. Agrofaz. 5(1):717-724.
- Yescas, C. P.; Segura, C. M. A.; Martínez, C. L.; Álvarez, V. P.; Montemayor, T. J. A.; Orozco, V. J. A. y Frías, R. J. E. 2015. Rendimiento y calidad de maíz forrajero (*Zea mays* L.) con diferentes niveles de riego por goteo subsuperficial y densidad de plantas. Phytón. 84(2):262-279.
- Zaragoza, E. J.; Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; López, L. C.; García, E. J. C.; Zamudio, G. B.; Turrent, F. A. y Rosado, N. F. 2019. Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 10(1):101-111.