

## Rendimiento y calidad de maíz forrajero (*Zea mays* L.) con diferentes niveles de riego por goteo subsuperficial y densidad de plantas

Yield and quality of forage maize (*Zea mays* L.) with different levels of subsurface drip irrigation and plant density

Yescas CP<sup>1</sup>, MA Segura C<sup>1</sup>, L Martínez C<sup>2</sup>, VP Álvarez R<sup>1</sup>, JA Montemayor T<sup>1</sup>, JA Orozco V<sup>1</sup>, JE Frías R<sup>1</sup>

**Resumen.** La escasez de agua en regiones áridas y semiáridas del mundo es un problema que día a día se incrementa con el cambio climático. El sistema de riego por goteo subsuperficial (RGS) y la densidad de población de plantas son alternativas que se utilizan para hacer un uso eficiente del agua. Por lo anterior los objetivos de esta investigación fueron determinar la combinación entre tres (distintos) volúmenes de agua aplicada mediante riego por goteo subsuperficial, y tres diferentes densidades de población de plantas de maíz forrajero. Estas variables son utilizadas en la Región Lagunera, con el fin de incrementar el rendimiento sin perder la calidad en el forraje. Tres diferentes láminas de agua fueron aplicadas con un RGS a tres distintas densidades de plantas de maíz forrajero en una región árida. Los resultados demostraron que la aplicación de diferentes láminas de agua provocaron una condición de suficiencia o carencia de humedad en el suelo, lo cual se reflejó directamente en el rendimiento del cultivo y en sus diferentes variables como forraje verde (FV), rendimiento de materia seca (MS) y también en su calidad nutritiva. Asimismo, la lámina de agua a un 100% de evapotranspiración potencial (ETP), en una densidad de 80000 plantas/ha, permitió incrementar el rendimiento del FV (57664 kg/ha); la proteína cruda (PC) fue de 8,59%, aunque el resto de los parámetros de calidad disminuyeron. Este estudio permite concluir que el nivel de irrigación fue el principal factor en la respuesta del cultivo.

**Palabras clave:** Lámina de riego; Uso eficiente del agua; Evapotranspiración potencial.

**Abstract.** The scarcity of water in arid and semiarid regions of the world is a problem that every day increases by climate change. The subsurface drip irrigation (SDI) and changes in population density of plants are alternatives that can be used to make a sustainable use of water. Therefore, the objectives of this study were to determine the combination that allows for an increased corn performance and efficient use of water without losing the quality of forage. Three different irrigation levels were applied through a system of a SDI at three different densities of forage maize plants in an arid region. The results demonstrated that by applying different levels of water, either enough or lack of soil moisture is created, which is directly reflected in crop yield, and its determining variables such as green forage and dry matter yield, and nutritional quality. The irrigation level to a 100% of potential evapotranspiration (PET), at a density of 80000 plants/ha, increased yield of green forage to 57664 kg/ha; crude protein was 8.59%, while the rest of the quality parameters decreased. This study allowed to conclude that the irrigation level was the major factor in the response of the crop.

**Keywords:** Irrigation layer; Efficient water use; Potential evapotranspiration.

<sup>1</sup> DEPI Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón-San Pedro Km. 75 Ejido Ana. Torreón, Coahuila, C.P. 27170, México.

<sup>2</sup> DEPI Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Ciudad Lerdo Durango, C.P. 31150, México.

Address Correspondence to: Dr. Jorge Arnaldo Orozco Vidal, Fax 052-871-750-7199; Teléfono 052-871-750-7198; e-mail: joorvi66@hotmail.com

Recibido / Received 9.VI.2014. Aceptado / Accepted 13.X.2014.

## INTRODUCCIÓN

La escasez de agua en regiones áridas y semiáridas del mundo es un problema que día a día se incrementa por el cambio climático. El agua interviene en el rendimiento de los cultivos en todo sistema de producción agrícola (Rostamza et al., 2011); por lo tanto, el sistema de riego influye directamente en el volumen del agua que se agrega a los cultivos y en su productividad (Fan et al., 2008). El riego por goteo subsuperficial (RGS) es uno de los sistemas que se han probado con efectividad en la producción de cultivos (Kazumba et al., 2010) en regiones áridas como en el norte de México (Montemayor et al., 2012). La determinación del momento y la cantidad de agua que se adiciona a los cultivos se estima a partir de la evapotranspiración potencial (ETP) (Allen, 2006), sin considerar las características del suelo (Segura et al., 2005). La Comarca Lagunera se ubica en el norte de México y es una de las principales cuencas lecheras de este país. Por este motivo es necesaria la producción de forraje de calidad mediante un uso eficiente del agua (UEA). El maíz forrajero (*Zea mays* L.) se emplea extensivamente como alimento básico para el ganado bovino (Boon et al., 2012). Durante el ciclo primavera verano del 2013 en la Comarca se sembraron un total de 21736 ha de maíz forrajero, de las cuales el 66% fueron cultivadas con riego por bombeo y el resto con riego por gravedad; de esta superficie total se logró una producción de 954882 t. No obstante, los volúmenes de agua que se utilizan durante el riego son excesivos, ya que se aplican por inundación en melgas; por ello se inició la adopción del RGS. Otra alternativa para incrementar el UEA es la modificación de la densidad de plantas (D) (Panda et al., 2004). Marsalis et al. (2010) sugirieron la posibilidad de obtener altos rendimientos de materia seca en maíz forrajero con bajas D y mínimos volúmenes de agua de riego en ambientes semiáridos; sin embargo, no lo probaron. Por otra parte, Jahanzad et al. (2013) indicaron que investigaciones que relacionaron el riego y la D son escasas. Si se considera que el incremento del UEA es un gran desafío en la producción agrícola (Gregory et al., 2004; Raven et al., 2004), es posible que al combinar diferentes láminas de agua (aplicadas mediante un sistema de riego como el RGS) con diferentes D de maíz forrajero, se pueda encontrar una relación

entre estos dos factores que asegure el aumento del rendimiento y la calidad de dicho material vegetal. Los objetivos de este trabajo fueron determinar la combinación entre tres volúmenes de agua distintos, aplicada mediante riego por goteo subsuperficial, y tres diferentes densidades de población de plantas de maíz forrajero, que son utilizados en la Región Lagunera, con el fin de incrementar su rendimiento sin perder calidad en el forraje.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Descripción del sitio experimental.** La investigación se realizó durante dos años en el campo experimental del Instituto Tecnológico de Torreón, ubicado en la Región Lagunera, del

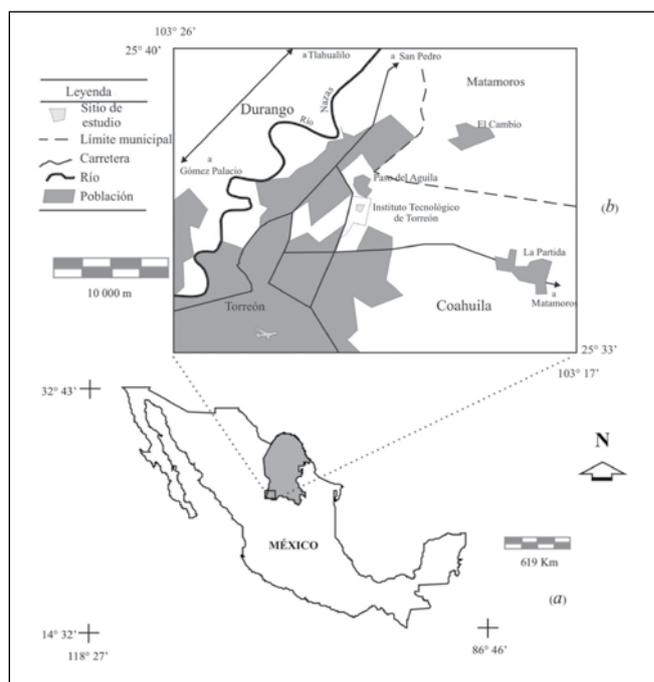


Fig. 1. Área de estudio (a) país México, (b) ubicación del Instituto Tecnológico de Torreón, Coahuila.

Fig. 1. Study area (a) country Mexico, (b) location of Instituto Tecnológico de Torreón, Coahuila.

Tabla 1. Datos de temperatura, precipitación y evapotranspiración de la estación meteorológica de Torreón Jardín durante 2003 y 2004.  
Table 1. Temperature, precipitation and evapotranspiration data of the Torreón Jardín weather station during 2003 and 2004.

Elemento	Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Promedio Total
T (°C)	03	14,4	16,9	18,9	23,8	26,9	27,9	27,3	26,8	25,2	22,3	18,1	15,1	22,0
	04	14,7	17,5	19,5	24,4	27,6	28,6	27,9	27,7	25,8	22,6	18,7	15,3	22,5
Pp (mm)	03	11,9	3,6	1,5	5,2	22,3	35,2	35,9	38,6	43,1	16,6	6,7	11,3	231,9
	04	14,6	3,7	2,3	5,8	23,3	40,5	36,4	37,9	48,7	19,5	6,4	12,3	251,4
ETP (mm)	03	142,5	150,6	163,1	181,3	185,0	166,5	164,6	171,4	167,4	176,4	156,8	141,9	1967,4
	04	141,7	149,5	165,8	179,6	183,7	165,9	163,9	171,1	165,8	179,4	156,6	139,4	1963,1

estado de Coahuila, México (25° 36' 20" - 25° 37' 06" N, 103° 22' 40" - 103° 21' 46" O, 1120 m.s.n.m.) (Fig. 1). El clima es un Bw (h') hw (e) que corresponde a un seco desértico cálido con un régimen de lluvias en verano con extremas oscilaciones (García, 1998). La precipitación total anual promedio es 250 mm (Tabla 1) y una evaporación media anual de 2400 mm (SMN, 2013). El suelo es un *Fluvisol Calci-árido*, con capa arable de textura franco arcilloso, densidad aparente de 1,39 g/cm<sup>3</sup>, pH ligeramente alcalino (7,86), pobre en materia orgánica (1,12%), no salino (0,59 dS/m) ni sódico; el uso del suelo es agrícola bajo condiciones de riego (INEGI, 2013).

**Procedimientos.** El estudio se realizó durante dos años en los ciclos de cultivo primavera-verano 2003 y 2004, en un terreno que contaba con un sistema de RGS. Dicho sistema de riego tuvo una cintilla calibre 10000 a una profundidad de 40 cm, con una separación entre líneas de un metro, con emisores a 20 cm entre ellos y un gasto de 3,0 L/h m, a una presión de operación de 1,0 kg/cm<sup>2</sup>. El material vegetativo fue el híbrido AN-447, maíz resistente al acame y que se siembra comúnmente en la región. La preparación del terreno, fecha de siembra (28 de junio de los dos años que se evaluaron), y dosis de fertilización (160-60-00), se realizaron de acuerdo al paquete tecnológico para este cultivo (INIFAP, 1999). La siembra se llevó a cabo en seco y enseguida se dio un riego superficial para asegurar la germinación de las semillas. Las fuentes de nutrientes fueron urea (ochenta unidades de nitrógeno) y fosfato mono-ácido (granular y ultrasoluble), para nitrógeno (N) y fósforo (P), respectivamente. El P se aplicó todo al momento de la siembra, junto con la mitad del N; a los 35 días después de la siembra (dds) se aplicó el resto del N (urea líquida) a través del sistema de RGS.

El factor D tuvo tres niveles (D<sub>1</sub>: 80, D<sub>2</sub>: 120 y D<sub>3</sub>: 160 mil plantas/ha). La siembra se llevó a cabo con una sembradora de precisión, con una separación entre hileras de 0,75 m; las distancias entre plantas fueron tres (16,66, 11,11 y 8,33 cm) en las densidades respectivas. Otro factor de estudio fue el volumen de agua (L) que se aplicó como riego al cultivo; tres láminas de agua (L<sub>60</sub>, L<sub>80</sub>, L<sub>100</sub>) fueron estimadas en función de tres porcentajes de ETP (60, 80 y 100%), que fueron calculadas con el método del tanque evaporímetro (Allen, 2006) con la siguiente ecuación:

$$ETP = E_0 \times K_r \quad (1)$$

donde *ETP* es evapotranspiración potencial o de referencia (mm/día), *E<sub>0</sub>* es la evaporación registrada en cm en un tanque evaporímetro clase "A" (mm/día), *K<sub>r</sub>* es el coeficiente del tanque evaporímetro el cual considera el clima o ambiente que rodea al tanque. Es importante mencionar que el agua que ingresó al sistema por precipitación no se consideró al restituir el agua evapotranspirada. Esto se debió a que en la ETP de la región es mayor que la precipitación (Fig. 1), de tal manera que al realizarse un balance la precipitación no influiría en el resultado al considerarse únicamente la ETP.

Este estudio contó con dos factores (L y D), con tres niveles cada uno, haciendo un total de nueve tratamientos (3L x 3D), en un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones. El arreglo fue en parcelas divididas donde la parcela grande fue L y la chica D, de tal manera que la unidad experimental constó de un total de cuatro surcos, y la parcela útil de dos surcos centrales con una longitud de 4 m. El primer riego para los tratamientos fue por inundación, mediante riego por superficie; los riegos de auxilio fueron por RGS, que se aplicaron cada tres días, cambiando solamente la cantidad de agua aplicada en función de los niveles de irrigación mencionados anteriormente; así el volumen de agua total que recibió el cultivo de maíz en cada tratamiento fue de 3,9 m<sup>3</sup>, 4,5 m<sup>3</sup> y 5,0 m<sup>3</sup> para L<sub>60</sub>, L<sub>80</sub> y L<sub>100</sub>, respectivamente.

Las siguientes variables fueron evaluadas: altura de la planta (AP) como lo establece Matheus (2004); rendimiento de forraje verde (FV) mediante el peso de plantas de maíz de la parcela útil para obtener kg/m<sup>2</sup> (y llevarlos posteriormente a t/ha); el porcentaje de materia seca se determinó al exponer a estas plantas a secado en una estufa de aire forzado a 60 °C por un periodo de 72 h. Así, el rendimiento de materia seca (MS) por hectárea se estimó con el FV y el porcentaje de materia seca (Núñez et al., 2001). Por otra parte, el UEA se estimó al obtener el cociente de la relación entre el MS y el volumen total de agua aplicado (Montemayor et al., 2007).

La calidad del forraje fue evaluada, mediante una colecta de una muestra de forraje (0,5 kg, aproximadamente) en cada una de las repeticiones de los tratamientos. Las muestras secas fueron pasadas a través de una malla de 0,2 mm de diámetro y analizadas por espectroscopía de infrarrojo cercano con un NIR marca FOSS modelo XDS, con un rango de 6-20 mediciones, con una longitud de onda entre 500 y 2400 nm. Los parámetros que se estudiaron fueron los contenidos de proteína cruda (PC), fibra detergente ácido (FDA), fibra detergente neutro (FDN) como lo establecen Jahanzad et al. (2013), y energía neta de lactancia (ENL) de acuerdo con Lithourgidis et al. (2006).

**Análisis estadístico.** Se realizó un análisis de varianza y prueba de medias de Tukey (p<0,05), con el paquete estadístico Minitab (MINITAB Inc., 2013).

## RESULTADOS

**Rendimiento de maíz.** La AP, FV, MS y porcentaje de materia seca (PMS) en los distintos tratamientos que se evaluaron, fueron similares (p>0,05) en los dos ciclos; no obstante, hubo diferencias significativas (p<0,05) entre tratamientos (Tabla 2), excepto la AP que no mostró diferencias. El rendimiento más grande en FV (57,664 t/ha) se obtuvo en el tratamiento L<sub>100</sub>D<sub>1</sub>, similar estadísticamente al tratamiento L<sub>80</sub>D<sub>1</sub> (54,331 t/ha); el menor rendimiento se encontró en el L<sub>60</sub>D<sub>3</sub> (37,082 t/ha) con una diferencia de 64,4% con respecto al mayor rendimiento. Por

otro lado, el análisis de varianza mostró evidencia significativa de un efecto de interacción L\*D para FV (Tabla 3), así como para los efectos principales de L y D ( $p=0,001$ ). Asimismo, los niveles del factor L tuvieron diferencias significativas, siendo

mayor la  $L_{100}$ ; mientras que en el caso de la D el más significativo fue  $D_1$ . Estos resultados demuestran la influencia de la cantidad de agua aplicada y la densidad de población en determinar la producción de FV en este trabajo.

**Tabla 2.** Altura de planta (AP), rendimiento de forraje verde (FV) y materia seca (MS), porcentaje de materia seca (PMS) y uso eficiente del agua (UEA) de maíz forrajero.

**Table 2.** Plant height (AP), green forage (FV) and dry matter (MS) yields, dry matter percentage (PMS) and water use efficiency (UEA) in maize.

Tratamientos	AP (m)	FV (t/ha)	MS (t/ha)	PMS (%)	UEA (kg/m <sup>3</sup> )
$L_{60}D_1$	2,72 a†	47,665 c	12,494 e	26,220 c	3,246 a
$L_{80}D_1$	2,68 a	54,332 a	13,574 d	24,990 c	3,040 b
$L_{100}D_1$	2,82 a	57,665 a	14,812 b	25,578 c	2,917 c
$L_{60}D_2$	2,76 a	40,832 d	12,549 e	30,877 ab	3,260 a
$L_{80}D_2$	2,77 a	49,831 b	13,742 d	27,578 b	3,078 b
$L_{100}D_2$	2,57 a	50,749 b	14,465 c	28,504 b	2,847 c
$L_{60}D_3$	2,65 a	37,082 d	12,311 e	33,360 a	3,332 a
$L_{80}D_3$	2,65 a	41,748 d	13,308 d	31,879 a	2,980 b
$L_{100}D_3$	2,59 a	50,665 b	15,141 a	29,891 b	2,980 b
DMS (0,05)	0,251	4,808	0,239	3,156	0,154

PMS = porcentaje de materia seca.

DMS = diferencia mínima significativa (0,05).

† = medias en la misma columna con letras distintas son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

PMS = dry matter percentage.

DMS = least significance difference (0.05).

† = means within the same column followed by different letters are significantly different ( $p \leq 0.05$ ).

**Tabla 3.** Resultados del análisis de varianza de los valores de rendimiento de forraje verde (FV), materia seca (MS) y uso eficiente del agua (UEA) de los niveles de irrigación (L) y densidad de plantas (D).

**Table 3.** Results of the analysis of variance for green forage yield (FV), dry matter (MS) yield and efficient water use (UEA) for the levels of irrigation and plant density.

Recurso	GL	FV			MS			UEA		
		SSC	F	P	SSC	F	P	SSC	F	P
Bloque	3	3,51	0,53	0,668	0,029	0,32	0,810	0,018	0,48	0,698
L	2	759,57	170,71	0,001	33,320	541,76	0,001	0,832	32,62	0,001
D	2	615,58	138,35	0,001	0,013	0,22	0,807	0,008	0,35	0,710
L*D	4	69,11	7,77	0,001	1,409	11,46	0,001	0,062	1,23	0,324
Error	24	53,39			0,738			0,306		
Total	35	1501,16			35,511			1,229		
R <sup>2</sup>			0,9444			0,9792			0,9479	

GGL = grados de libertad.

SSC = suma secuencial de cuadrados.

F = valor de la prueba F.

P = probabilidad de rechazo  $\alpha \leq 0,05$ .

R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación.

GL = freedom degree.

SSC = sequential sum of squares.

F = value of F test.

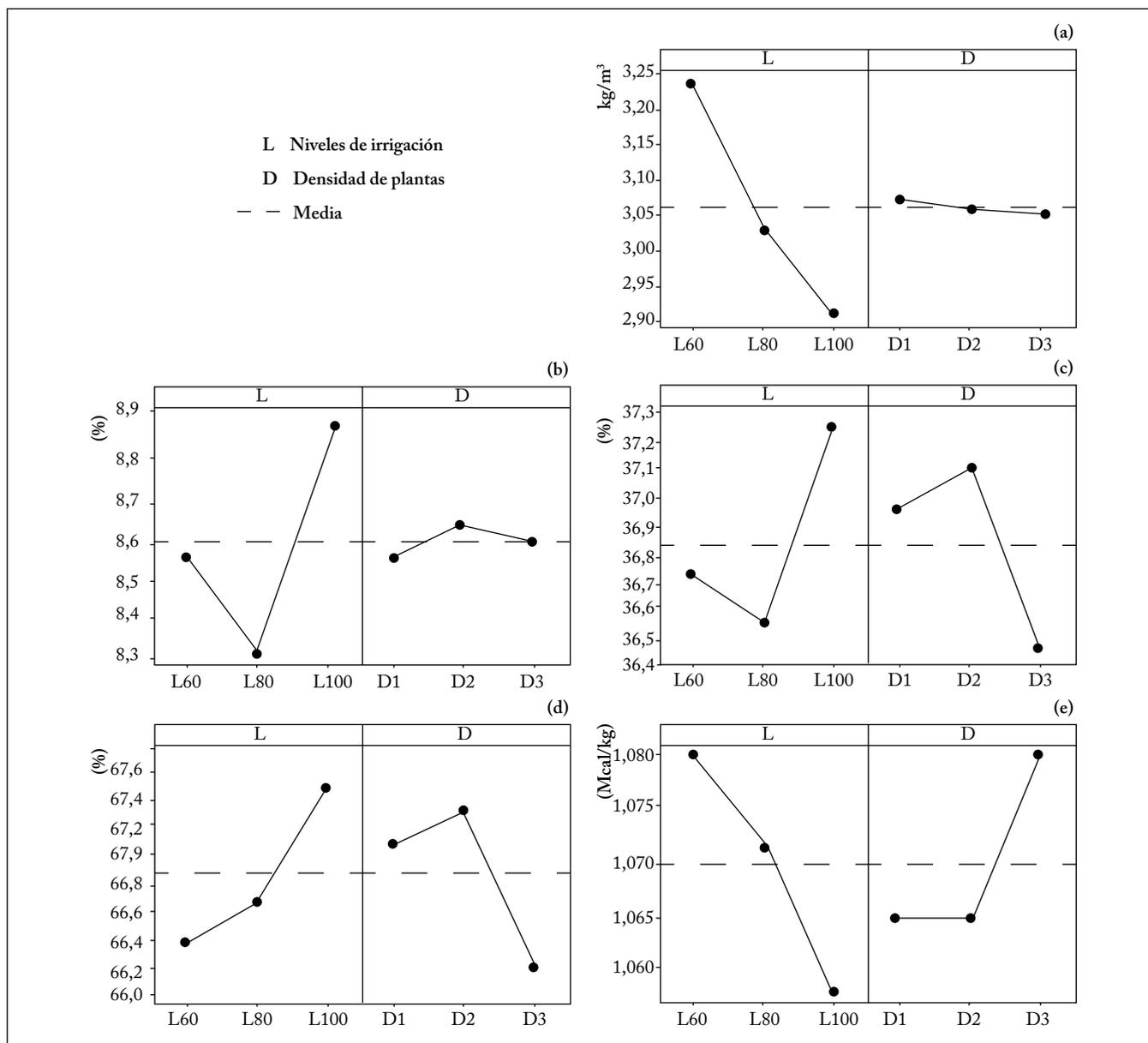
P = probability of reject  $\alpha \leq 0.05$ .

R<sup>2</sup> = determination coefficient.

En la MS el valor más alto fue en  $L_{100}D_1$  (14,78 t/ha) y el más bajo en  $L_{60}D_3$  (12,355 t/ha). Una respuesta similar se obtuvo con el FV. En el análisis de varianza de la MS (con los factores L y D) se determinó que la cantidad de agua aplicada tuvo una influencia significativa ( $p=0,001$ ), mientras que la densidad de población no la tuvo. Los niveles con mayores efectos en la MS fueron  $L_{60}$  y  $L_{100}$  ( $p\leq 0,05$ ), que presentaron las cantidades de MS más baja y más alta, respectivamente.

El UEA del cultivo de maíz en este trabajo (Tabla 2) mostró valores que fluctuaron entre 2,84 ( $L_{80}D_2$ ) y 3,24  $kg/m^3$

( $L_{60}D_1$ ), representando un incremento de 75,3 a 100%, respectivamente, con respecto al testigo (1,62  $kg/m^3$ ). Al incrementar la lámina de riego, el UEA disminuyó drásticamente con respecto a la media (Fig. 2a); el factor densidad se mantuvo aproximadamente similar (Fig. 2a). Asimismo, el análisis de varianza del UEA demostró que el factor L (Tabla 3) tuvo influencia significativa ( $p\leq 0,05$ ). La relación con este factor y la interacción L\*D explicaron un 94,79% del comportamiento de los resultados.



**Fig. 2.** Gráficas de efectos principales de los niveles de cada factor bajo estudio para (a) uso eficiente del agua, (b) proteína cruda, (c) fibra detergente ácido, (d) fibra detergente neutra y (e) energía neta de lactación de maíz forrajero.

**Fig. 2.** Graphs of main effects of the levels of each factor under study for (a) efficient water use, (b) crude protein, (c) acid detergent fiber, (d) neutral detergent fiber and (e) net energy for lactation from forage maize.

**Calidad del forraje.** Los contenidos de PC de este forraje (Tabla 4) fluctuaron de 7,95 a 9,34%, presentando diferencias significativas entre los valores bajos, medios y altos ( $p \leq 0,05$ ); el menor contenido se presentó en el tratamiento  $L_{100}D_2$ ; mientras que el mayor contenido lo tuvo  $L_{80}D_2$ . En relación con la FDN y FDA en los tratamientos no mostraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) para cada categoría (Tabla 4). De acuerdo al análisis de varianza, la cantidad de agua y densidad de plantas no tuvieron en general influencia significativa en el comportamiento de FDN y FDA; sin embargo, al analizar los efectos principales de cada nivel de respuesta de los dos factores en estudio (Fig. 2c y 2d), las diferentes láminas de agua y las densidades tuvieron un efecto grande. En cambio, los valores de ENL no tuvieron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 4); las concentraciones de energía fueron similares, con valores que fluctuaron entre 1,036 y 1,080 Mcal/kg; sin embargo, hubo fuertes diferencias cuando se analizaron los efectos principales (Fig. 2e).

## DISCUSIÓN

Las láminas de agua que se aplicaron en este estudio fueron mayores o menores que las reportadas para condiciones áridas (45 cm), con un sistema de RGS y producción de maíz (Montemayor et al., 2012). Esta situación es acorde con la modificación de la ETP, ya que la cantidad de agua que se repuso no fue la misma para todos los tratamientos, lo que influyó en el rendimiento del cultivo. Al respecto, Jahanzad et al. (2013) mencionan que la modificación de ETP en la reposición de agua crea condiciones de suficiencia y carencia de humedad para las plantas, lo cual se puede reflejar en el

rendimiento del cultivo así como en sus variables determinantes como el FV, MS e incluso su calidad nutrimental (Sánchez et al., 2013). No obstante, los rendimientos ( $> 20$  t/ha) correspondieron a las cantidades de agua que se agregaron, como lo establecieron Marsalis et al. (2010). Al respecto, diferentes estudios han determinado que la interacción entre cantidades de agua de riego y densidades de población, influyeron en las características agronómicas del maíz (Jahanzad et al., 2013). La combinación de densidades bajas y medias con suficiente agua, determinó rendimientos en este cultivo (Oktem et al., 2003). Lo anterior es acorde con lo que se encontró en nuestra investigación, ya el rendimiento de maíz a una baja densidad de plantas tuvo una mayor respuesta cuando se repuso el agua al considerar un 100% de ETP.

Por otra parte, el comportamiento similar del rendimiento de la MS con respecto al del FV fue reportado por Carmi et al. (2006). Olague et al. (2006) en la producción de maíz con un RGS, obtuvieron incrementos de MS, y atribuyeron este comportamiento a la AP. En nuestro caso la AP no influyó en los resultados que se obtuvieron en este estudio, ya que no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos. El incremento de MS ha sido asociado a láminas de riego grandes (Vasilakoglou et al., 2011). Esto es debido a que al existir humedad suficiente en el suelo, las plantas pueden tomar los nutrimentos necesarios para llevar a cabo sus funciones fisiológicas, así como el proceso de fotosíntesis (Al-Kaisi y Yin, 2003; Brady y Weil, 2008; Bame et al., 2014). En este sentido, en nuestra investigación el tratamiento que dispuso de un volumen más grande de agua ( $L_{100}$ ), aún con una baja D, presentó el mayor rendimiento de materia seca, lo que es coherente con lo reportado en la literatura.

**Tabla 4.** Proteína cruda (PC), fibra detergente ácido (FDA), fibra detergente neutra (FDN), energía neta para lactación (ENL) del forraje de maíz.  
**Table 4.** Crude protein (PC), acid detergent fiber (FDA), neutral detergent fiber (FDN) and net energy for lactation (ENL) from forage maize.

Treatments	PC (%)	FDA (%)	FDN (%)	ENL (Mcal/kg)
$L_{60}D_1$	8,59 b†	36,68 b	66,41 a	1,08 a
$L_{80}D_1$	8,51 b	36,97 b	67,29 a	1,06 a
$L_{100}D_1$	8,60 b	37,27 a	67,48 a	1,06 a
$L_{60}D_2$	8,59 b	36,76 b	66,49 a	1,08 a
$L_{80}D_2$	9,34 a	35,92 b	66,11 b	1,08 a
$L_{100}D_2$	7,65 c	38,53 a	67,48 a	1,04 b
$L_{60}D_3$	8,51 b	36,69 b	66,31 a	1,08 a
$L_{80}D_3$	8,48 b	36,93 b	66,79 a	1,08 a
$L_{100}D_3$	8,80 b	35,86 b	65,47 b	1,08 a
DMS (0,05)	0,497	1,46	1,31	0,024

DMS = diferencia mínima significativa (0,05).

† = medias en la misma columna con letras distintas son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

DMS = least significant difference (0.05).

† = means within the same column followed by different letters are significantly different ( $p \leq 0.05$ ).

Al analizar el UEA del cultivo en este estudio, se puede decir que al no existir un aumento en el rendimiento de materia seca cuando se adiciona un mayor número de plantas por hectárea, el agua que se agrega en mayores cantidades provoca una disminución del cociente de la relación entre el rendimiento y el volumen de agua utilizado. Lo anterior se constató al observar el UEA del tratamiento que tuvo un mayor rendimiento ( $L_{100}D_1$ ), ya que fue menor que el de otros tratamientos en este experimento. Sin embargo, los resultados obtenidos fueron menores que aquellos obtenidos por Montemayor et al. (2012b) para maíz ( $4,07 \text{ kg/m}^3$ ) bajo condiciones de aridez y con riego por goteo subsuperficial. En nuestro estudio el UEA fluctuó de  $2,84$  a  $3,24 \text{ kg/m}^3$ , valores que están dentro del rango que se encuentra en la literatura. En diferentes trabajos se han obtenido resultados de  $2,0$  a  $4,5 \text{ kg/m}^3$  para maíz forrajero bajo estas condiciones de riego (Stevens et al., 2006; Montemayor et al., 2007).

Por otra parte, en relación a la calidad nutricional del forraje, la mayoría de los tratamientos tuvieron contenidos de PC buenos, ya que estuvieron entre 08 y 18% (Núñez et al., 2001); sólo uno puede considerarse como bajo (NRC, 2001). Wang y Frei (2011) indican que la estimulación de la síntesis de proteína no es el resultado de una baja cantidad de agua disponible, sino de un efecto del incremento de la concentración debida a una reducción en la producción de biomasa bajo una disminución del régimen de riego. Diferentes autores han atribuido el aumento de PC al incremento de la dosis de fertilizante nitrogenado en el suelo (Cox y Charney, 2005; Islam et al., 2012). En esta investigación, la dosis de fertilización no fue un parámetro de evaluación, de tal manera que el volumen de agua aplicada influyó en el contenido de PC, como se puede observar en los efectos principales de los niveles de este factor (Fig. 4), comportamiento que fue reportado por Carmi et al. (2006).

En cambio, el comportamiento de la FDA y FDN no fue influido significativamente por los factores lámina de agua y densidades. Sin embargo, los diferentes niveles de estos factores sí tienen un gran efecto como lo reportaron Jahanzad et al. (2013) y Gholamhoseini et al. (2013). No obstante, la calidad del forraje es bajo de acuerdo a los valores de estos parámetros, según los índices que establece la NRC (2001), donde forrajes con contenidos mayores que 60% de FDN y 35% de FDA son de baja calidad (Núñez et al., 2001). Por otra parte, los resultados de ENL fortalecen la anterior clasificación, e incluso es más baja que la que se ha reportado en otros estudios (Carmi et al., 2006).

Aún cuando las variables de calidad del forraje no presentaron diferencias significativas que indiquen la influencia de los factores en estudio, es probable que las diferencias entre los niveles hayan sido pocas, que no permitieron detectar diferencias contrastantes. Al respecto Marsalis et al. (2010) concluyeron que un rango más amplio de densidades de población, así como láminas más grandes [como las utilizadas por Jahanzad

et al. (2013)], se deben estudiar para ayudar en la asignación de los niveles óptimos. No obstante, las características o propiedades del suelo deben considerarse en el estudio de la humedad, ya que éstas influyen en el comportamiento del agua en el suelo (Segura et al., 2005), así como en la dinámica de los nutrimentos, y éstos a su vez en el desarrollo de los cultivos (Brady y Weil, 2008).

---

## CONCLUSIÓN

---

Los resultados de este estudio demostraron que el híbrido AN-447 tuvo resultados consistentes en una región árida y con un sistema de riego por goteo subsuperficial durante los dos ciclos de cultivo. El mayor rendimiento en forraje verde y materia seca se obtuvo con una lámina de riego al 100% de evapotranspiración potencial en combinación con una baja densidad de población de plantas (80000 plantas/ha); sin embargo, el uso eficiente del agua de este tratamiento fue estadísticamente menor que el de los tratamientos con un mayor número de plantas, lo que dependió del número de plantas y el volumen de agua utilizado. Por otra parte, la calidad del maíz forrajero se clasifica como baja cuando se produce bajo estas condiciones. En este sentido, la variación de láminas de agua de riego es el principal factor que influye en las variables de rendimiento del maíz forrajero y en consecuencia en su calidad. Sin embargo, las combinaciones de láminas de riego y densidad de plantas que se plantearon en este estudio fueron menores que las reportadas en la literatura; es decir, la lámina de riego es el principal factor en la respuesta del cultivo, ya que se asocia a una respuesta fisiológica de las plantas de maíz por la suficiencia de agua en el suelo. En estudios donde se relacionen láminas de riego con densidades de población, sería conveniente considerar a las características del suelo del área de estudio. Esto ayudaría a la comprensión del comportamiento de la humedad y del cultivo.

---

## REFERENCIAS

---

- Al-Kaisi, M.M. y X. Yin (2003). Effects of nitrogen rate, irrigation rate, and plant population on corn yield and water use efficiency. *Agronomy Journal* 95: 1475-1482.
- Allen, R.G. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (Vol. 56). Food & Agriculture Org.
- Bame, I.B., J.C. Hughes, L.W. Titshall y C.A. Buckleyb (2014). The effect of irrigation with anaerobic baffled reactor effluent on nutrient availability, soil properties and maize growth. *Agricultural Water Management* 134: 50-59.
- Boon, E.J.M.C., P.C. Struik, F.M. Engels y J.W. Cone (2012). Stem characteristics of two forage maize (*Zea mays* L.) cultivars varying in whole plant digestibility. IV. Changes during the growing season in anatomy and chemical composition in relation to fermentation characteristics of a lower internode. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* 59: 13-23.

- Brady, N.C. y R.R. Weil (2008). *The Nature and Properties of Soils*. 14 ed. Pearson-Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.
- Carmi, A., Y. Aharoni, M. Edelstein, N. Umiel, A. Hagiladi, E. Yosef, M. Nikbachat, A. Zenou y J. Miron (2006). Effects of irrigation and plant density on yield, composition and *in vitro* digestibility of a new forage sorghum variety, Tal, at two maturity stages. *Animal Feed Science and Technology* 131: 120-132.
- Cox, W.J. y D.J.R. Charney (2005). Row spacing, plant density, and nitrogen effect on corn silage. *Agronomy Journal* 93: 597-602.
- Fan, X.-W., F.-M. Lia, Y.-C. Xionga, L.-Z. Ana y R.J. Longa (2008). The cooperative relation between non-hydraulic root signals and osmotic adjustment under water stress improves grain formation for spring wheat varieties. *Physiol. Plant* 132: 283-292.
- García, E. (1998). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Ind, México, DF.
- Gholamhoseini, M., M. AghaAlikhani, S.M. Mirlatifi, S.A.M. Modarres S. (2013). Weeds - Friend or foe? Increasing forage yield and decreasing nitrate leaching on a corn forage farm infested by redroot pigweed. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 179: 151-162.
- Gregory, P.J. (2004). Agronomic approaches to increasing water use efficiency. En: Bacon, M.A. (ed.), pp. 142-167. *Water Use Efficiency in Plant Biology*. Blackwell Publishing Ltd.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias) (1999). Componentes tecnológicos para la producción de maíz y sorgo. Folleto técnico CIAN-SAGARPA. Matamoros, Coahuila.
- INEGI (2013). Mapa digital de México V6. Disponible en <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/> (revisado Febrero 2014) (en Español).
- Islam, M.R., S.C. Garcia y A. Horadagoda (2012). Effect of irrigation and rates and timing of nitrogen fertilizer on dry matter yield, proportions of plant fractions of maize and nutritive value and *in vitro* gas production characteristic of whole crop maize silage. *Animal Feed Science and Technology* 172: 125-135.
- Jahanzad, E., M. Jorat, H. Moghadam, A. Sadeghpour, M.R. Chaichi y M. Dashtaki (2013). Response of a new and a commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting density. *Agricultural Water Management* 117: 62-69.
- Kazumba, S., L. Gillerman, Y. de Malach y G. Oron (2010). Sustainable domestic effluent reuse via subsurface drip irrigation (SDI): alfalfa as a perennial model crop. *Water Science and Technology* 61: 625-632.
- Lithourgidis, A.S., I.B. Vasilakoglou, K.V. Dhima, C.A. Dordas y M.D. Yiakoulaki (2006). Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research* 99: 106-113.
- Marsalis, M.A., S.V. Angadi y F.E. Contreras G. (2010). Dry matter yield and nutritive value of corn, forage sorghum, and BMR forage sorghum at different plant populations and nitrogen rates. *Field Crops Research* 116: 52-57.
- Matheus L., J.E. (2004). Evaluación agronómica del uso de compost de residuos de la industria azucarera (biofertilizante) en cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Bioagro* 16: 219-224.
- MINITAB Inc. (2013). Minitab Inc. Quality Plaza # 1829. Pine Hall Rd State College. PA 16801-3008, USA.
- Montemayor T., J.A., J. Olague R., M. Fortis H., S.R. Bravo S., J.A. Leos R., E. Salazar S., J. Castruita L., J.C. Rodríguez R. y J.A. Chavarría G. (2007). Consumo de agua en maíz forrajero con riego subsuperficial. *TERRA Latinoamericana* 25: 163-168.
- Montemayor T., J.A., J.L. Woo R., J. Munguía L., R. López A., M.A. Segura C., P. Yescas C. y J.E. Frías R. (2012). Producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivada con riego sub-superficial y diferentes niveles de fósforo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 1321-1332.
- NRC. (2001): Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Academy Press, Washington, DC, USA, p. 381.
- Núñez H., G., R. Faz C., M.A. Tovar G. y A. Zavala G. (2001). Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. *Técnica Pecuaria en México* 39: 77-88.
- Oktem, A., M. Simsek y A.G. OKTEM (2003). Deficit irrigation effects on sweet corn (*Zea mays saccharata* Sturt) with drip irrigation system in a semi-arid region: I. Water-yield relationship. *Agric. Water Manage.* 61: 63-74.
- Olague R., J., J.A. Montemayor T., S.R. Bravo S., M. Fortis H., R.A. Aldaco N. y E. Ruiz C. (2006). Características agronómicas y calidad del maíz forrajero con riego sub-superficial. *Tec. Pec. Méx.* 44: 351-357.
- Panda, R.K., S.K. Behera y P.S. Kashypa (2004). Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. *Agricultural & Food Engineering* 66: 181-203.
- Raven, J.A., L.L. Handley y B. Wollenweber (2004). Plant nutrition and water use efficiency. En: Bacon, M.A. (Ed.), *Water Use Efficiency in Plant Biology*. Blackwell Publishing Ltd., pp. 171-197.
- Steven, R.E., R.P. Troy y T.A. Howell (2006). Controlling water use efficiency with irrigation automation: Cases from drip and center pivot irrigation of corn and soybean. Southern Conservation Systems Conference, Amarillo, Texas. pp. 57-66.
- Rostamza, M., M.R. Chaichi, M.R. Jahansouz y A. Alimadadi (2011). Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. *Agricultural Water Management* 98: 1607-1614.
- Sánchez H., M.A., C.U. Aguilar M., N. Valenzuela J., B.M. Joaquín T., C. Sánchez H., M.C., Jiménez R., C. Villanueva V. (2013). Rendimiento en forraje de maíces del trópico húmedo de México en respuesta a densidades de siembra. *Rev. Méx. Cienc. Pec.* 4: 271-288.
- Segura C., M.A., M.C. Gutiérrez C., C. Ortiz, S. y P. Sánchez G. (2005). Régimen de humedad y clasificación de suelos pomáceos del valle de Puebla-Tlaxcala. *TERRA Latinoamericana* 23: 13-20.
- SMN (2012). Estaciones meteorológicas de Coahuila, México. Disponible en [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=42&Itemid=75](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75) (revisado en Febrero 2014) (en Español).
- Vasilakoglou, I., K. Dhima, N. Karagiannidis y T. Gatsis (2011). Sweet sorghum productivity for bio-fuels under increased soil salinity and reduced irrigation. *Field Crops Research* 120: 38-46.
- Wang, Y. y M. Frei (2011). Stressed food-The impact of abiotic environmental stresses on crop quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 141: 271-286.