

# CONSUMO DE AGUA EN MAÍZ FORRAJERO CON RIEGO SUBSUPERFICIAL

## Water Consumption by Forage Corn in Subsurface Drip Irrigation

J. A. Montemayor-Trejo<sup>1‡</sup>, J. Olague-Ramírez<sup>1</sup>, M. Fortis-Hernández<sup>1</sup>, R. Sam-Bravo<sup>1</sup>, J. A. Leos-Rodríguez<sup>2</sup>, E. Salazar-Sosa<sup>1</sup>, J. Castruita-López<sup>3</sup>, J. C. Rodríguez-Ríos<sup>1</sup> y J. A. Chavaría-Galicia<sup>1</sup>

### RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar el consumo de agua, el índice de área foliar (IAF) y la producción de forraje en verde y materia seca del maíz forrajero con riego por goteo subsuperficial (RGS). Se establecieron 2 ha de riego por RGS, con el híbrido Aspros 900 y una densidad de 104 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Los tratamientos fueron tres separaciones de cinta de riego (0.8, 0.9 y 1.0 m), enterradas a una profundidad de 0.4 m. Como testigo, se utilizó el sistema de riego por gravedad (RG). La cinta de riego fue de un gasto de 3 L h<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>, con emisores espaciados a 0.3 m. El diseño experimental fue bloques completos al azar, con cuatro repeticiones y unidades experimentales de 1200 m<sup>2</sup>. El riego consistió en reponer 60 y 80% de la evaporación: el primero, hasta 50 días después de la siembra (DDS); el segundo, de 51 hasta 85 DDS. El volumen de agua en RG fue de 6200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, en los tres tratamientos de RGS fue de 4500 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Los resultados mostraron un ahorro de agua de 17 cm (27.4%) y una relación beneficio/costo para RGS de \$1.8, con respecto al RG. El IAF se midió semanalmente en todos los tratamientos con el equipo LAI 2000 Plant Canopy Analyzer (LI-COR). El máximo IAF fue de 5.1, en la separación de 0.8 m, con un rendimiento de materia seca de 20.19 Mg ha<sup>-1</sup> y eficiencia en el uso del agua (EUA) de 4.48 kg m<sup>-3</sup>. En RG los valores para IAF, rendimiento y EUA fueron de 3.4, 8.08 Mg ha<sup>-1</sup> y 1.3 kg m<sup>-3</sup>, respectivamente.

**Palabras clave:** *Zea mays L., cinta de riego, uso del agua.*

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Torreón (ITT). Posgrado (DEPI). Carretera Torreón – San Pedro km 7.5 Torreón, Coahuila, México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (montemayorja@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, Estado de México.

<sup>3</sup> Jefe de Campo de la Pequeña Propiedad "El Cercado". Torreón, Coahuila, México.

Recibido: agosto de 2004. Aceptado: enero de 2006.

Publicado en Terra Latinoamericana 25: 163-168.

### SUMMARY

Water consumption, leaf area index (LAI) and forage production (yield) in green and dry matter of corn under subsurface drip irrigation (SDI) were evaluated. The hybrid Aspros 900 was sown at a density of 104 000 plants ha<sup>-1</sup> in furrows 0.38 m wide in 2 ha with subsurface drip irrigation which was used as a control. The treatments consisted of three separations of irrigation tape (0.8, 0.9, and 1.0 m) at a depth of 0.4 m, which were compared to furrow irrigation. The irrigation tape flow was 3 L h<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup> with emitters spaced every 0.3 m. The treatments were distributed in a randomized block design with four replications. The experimental units were 1200 m<sup>2</sup>. The application of water consisted of restoring the 60 and 80% of the evaporation registered in a Type "A" tank. The former was applied up to day 50 after sowing and the latter from day 51 to day 85. The volume of applied water was 6200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> and it was 4500 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> for each one of the three SDI treatments. The results showed a savings of 17 cm (27.4%) and a Benefit-Cost ratio of \$1.8 for SDI regarding furrow irrigation. LAI was measured weekly by using the LAI 2000 Plant Canopy Analyzer (LI-COR). The maximum LAI obtained was 5.1 corresponding to 0.8 m tape separation with a yield of 20.19 Mg ha<sup>-1</sup> of dry matter and a water use efficiency (WUE) of 4.48 kg m<sup>-3</sup>. In furrow irrigation, values for LAI, yield, and WUE were 3.4, 8.08 Mg ha<sup>-1</sup>, and 1.3 kg m<sup>-3</sup>, respectively.

**Index words:** *Zea mays L., drip tape, water use.*

### INTRODUCCIÓN

En la Comarca Lagunera de Coahuila y Durango se destinan, en promedio, 45 000 ha para la producción de forrajes (alfalfa, maíz y sorgo), las cuales representan 61% de la superficie total regada con agua subterránea (SAGARPA, 1999). Esto, a pesar de ser una región considerada como desértica con problemas severos de

disponibilidad de agua: precipitación media anual de 200 mm y 2000 mm de evaporación. Sin embargo, en el ciclo primavera - verano 2002 se establecieron 13 594 ha de maíz forrajero, con un rendimiento promedio de 44 Mg ha<sup>-1</sup> de forraje verde; de éstas, 10 599 ha se irrigaron con agua del subsuelo, con un promedio de eficiencia de 60%, es decir, 40% del agua aplicada no es utilizada por el cultivo y se escapa a la atmósfera, en forma de vapor (Levine *et al.*, 1998). El aprovechamiento del agua en esta región es deficiente debido, entre otras cosas, a la falta de conocimiento por parte de los agricultores de las nuevas tecnologías de riego, ya que no tienen una percepción clara de la problemática que representa la escasez de agua en esta región, lo que explica la ausencia de una cultura de ahorro y uso eficiente del agua (Fortis *et al.*, 2002). En este sentido, el sistema de riego por goteo subsuperficial (RGS) se propone como una alternativa para resolver, en parte, este problema. El RGS consiste en una serie de tuberías, principales y secundarias, que conduce el agua desde la fuente de abastecimiento hasta el lugar del cultivo. La conducción del agua a la planta se realiza mediante mangueras colocadas en hileras, a una profundidad promedio de 20 a 40 cm (Charles *et al.*, 1999). El agua llega a las raíces en forma subsuperficial, de manera que se evitan las pérdidas directas por la evaporación de la superficie del suelo. Cuando los emisores se colocan en forma subsuperficial, la evapotranspiración es menor de 81 mm (Delphine *et al.*, 2005). Otra ventaja de este método de riego es que permite aplicar los agroquímicos a través del sistema, con lo cual se ahorra mano de obra y se tiene un mejor aprovechamiento de los nutrimentos por el cultivo (Phene *et al.*, 1987; Camp *et al.*, 1997; Howell *et al.*, 1997). Cuando el sistema se opera de manera correcta, se incrementa la conservación del agua, se facilita el manejo de la salinidad y se evitan las pérdidas por percolación. Estas características posicionan a este método como una alternativa viable frente a los actuales métodos de irrigación (Cassel *et al.*, 2001; Oktem *et al.*, 2003; Smith *et al.*, 2005). Investigaciones realizadas en Colby y en Garden City, en el estado de Kansas (EE.UU.), durante 1989-1991, indican que el RGS reduce las necesidades de irrigación en 25%, lo que se traduce en un ahorro de 35 a 55% cuando se compara con la aspersión o irrigación en surcos, los cuales operan con 85 y 65% de eficiencia en la aplicación (Phene *et al.*, 1991; Charles *et al.*, 1999). El objetivo del presente trabajo fue evaluar el consumo de agua, el índice de área foliar (IAF) y el rendimiento

del maíz forrajero, con el sistema de riego subsuperficial con tres separaciones de cinta de riego.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el ciclo agrícola primavera-verano de 2003, en el predio conocido como "El Cercado", perteneciente a un productor cooperante del municipio de Torreón, Coahuila, ubicado en el km 7.5 de la carretera Torreón-San Pedro. El clima de la región es desértico, con lluvias en verano e invierno, con una precipitación promedio de 258 mm; la relación precipitación/evaporación es de 1:10 y la temperatura media anual es de 21 °C, con intervalos máximos de 33.7 °C y mínimo de 7.5 °C. El periodo de heladas se presenta de noviembre a marzo y, ocasionalmente, en octubre y abril (García, 1973). El RGS se estableció en una superficie de 2 ha; los tratamientos fueron tres espaciamientos de cinta de riego, a 0.8, 0.9 y 1.0 m, colocados a una profundidad de 0.4 m en el suelo. A la fecha, no existe un método bien definido para obtener la separación de las cintas, en función de la textura del suelo y tipo de cultivo; el método a utilizar también dependerá del rendimiento esperado y la densidad de plantas (Camp *et al.*, 1997; Charles *et al.*, 1999). El testigo fue el riego por gravedad. La cinta de riego fue de un gasto de 3 L h<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>, con emisores espaciados a 0.3 m. Los tratamientos se distribuyeron en un arreglo en franjas, bajo un diseño de bloques al azar, con cuatro repeticiones, en unidades experimentales de 1200 m<sup>2</sup>. La textura del suelo fue migajón arcillo limosa, con humedad aprovechable de 0.2 g cm<sup>-3</sup>. La siembra se realizó en seco, con una densidad de 104 000 plantas ha<sup>-1</sup> del híbrido Aspros 900, de ciclo corto (90 días) en surcos de 0.38 m de espaciamiento. Este método de siembra permite una mayor distancia entre plantas e incrementa el rendimiento, con respecto al sistema de siembra tradicional (Reta *et al.*, 2002). La dosis de fertilización utilizada fue 142-00-00 kg ha<sup>-1</sup> de N, P y K, dividida en dos partes; en el momento de la siembra, se aplicaron 62 unidades de sulfato de amonio; 39 días después de la siembra, 80 unidades de sulfato de amonio líquido y tres meses antes de la fecha de siembra se aplicaron 100 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol de bovino. Para asegurar la germinación se dieron dos riegos: el primero, inmediatamente después de la siembra, y el segundo, siete días después de la siembra, ambos de una lámina de 0.07 m; previo al primer riego de germinación, se aplicaron 3 L de herbicida pre-emergente atrazina

(6-cloro-N3-etil-N4-isopropil-1,3,5,-tiazina-2,4 diamina) y 1.5 L de pendimetalina en 200 L de agua ha<sup>-1</sup>, para el control de las malezas. La evapotranspiración del cultivo se estimó con la evaporación de un tanque evaporímetro tipo "A"; afectada ésta por un factor de 0.6, hasta 50 días después de la siembra (DDS) y de 0.8, de 51 a 85 DDS, metodología propuesta por Doorenbos y Pruitt (1974) y Thompson *et al.* (2003). El rendimiento más alto de maíz se ha obtenido cuando se aplica el riego a 75% de la evapotranspiración (Bozkurt *et al.*, 2006). Los tiempos de riego se calcularon mediante la ecuación:

$$T = [(SEt) / (Q_1Ea)]$$

donde: T es el tiempo de riego (h), S es la separación de las cintas de riego (m), Q<sub>1</sub> es el gasto de la cinta por metro lineal (m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>) y Ea es la eficiencia de aplicación del sistema, la cual puede ser de 95 a 99% (Lamm y Troien, 2003).

Los volúmenes de agua aplicados fueron iguales en cada tratamiento, pero con diferentes tiempos de riego, los cuales dependieron de la distancia entre las cintas y la evaporación del tanque. Los aforos de agua se determinaron mediante un medidor volumétrico, en el sistema subsuperficial, y a través de sifones, en el sistema de gravedad. Los consumos diarios estimados se calcularon con base en un modelo de regresión lineal, donde la variable dependiente fue la lámina aplicada acumulada durante el ciclo y los días después de siembra fueron la variable independiente. El IAF, expresado como la relación adimensional de los metros cuadrados de follaje por metro cuadrado de superficie de suelo, se midió semanalmente para cada uno de los tratamientos, con el analizador de dosel LAI 2000

(LI-COR). El rendimiento de forraje verde (Mg ha<sup>-1</sup>) se obtuvo al cosechar la superficie total de cada uno de los tratamientos, 92 DDS, y la eficiencia en el uso del agua se obtuvo como el cociente de la producción de materia seca y el volumen de agua total aplicada. Para calcular la rentabilidad de RGS, se utilizó la relación beneficio/costo (Caballer y Guadalajara, 1998), considerando los gastos de inversión y costos de operación del sistema, los costos de producción del cultivo (a precios de mercado) y los ingresos, los cuales se calcularon con base en el tratamiento que obtuvo mayor rendimiento de materia verde, en este caso, el de 0.80 cm de separación de la cinta de riego. Todo el análisis se llevó a cabo con base en un año agrícola, tiempo en que se evaluó el RGS.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Consumo de Agua por el Cultivo

Se aplicaron seis riegos por gravedad; el primero en el momento de la siembra y los riegos de auxilio a 7, 18, 39, 54 y 74 DDS, con una lámina total acumulada de 62 cm. Los dos primeros riegos fueron de una lámina de 7 cm; el primero se aplicó después de la siembra y el segundo, siete días después de ésta. Los riegos posteriores fueron de una lámina de 12 cm. En la Figura 1 se observa que existieron dos intervalos entre riegos, de 21 y 20 días; uno, durante el tercero y cuarto riego, y otro, durante el quinto y sexto riegos. Éstos fueron provocados por una limitada disponibilidad de agua durante el experimento. Largos intervalos entre irrigaciones crean un déficit de humedad en el suelo y, en consecuencia, estrés, lo cual se manifiesta de manera

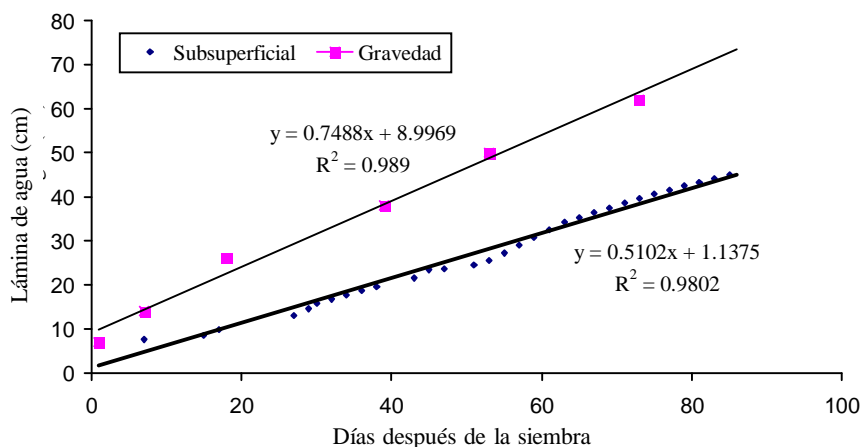


Figura 1. Lámina de agua aplicada durante el ciclo primavera-verano 2003 en el cultivo de maíz forrajero bajo el sistema de riego por goteo subsuperficial y gravedad.

negativa en el rendimiento del cultivo. En el sistema por goteo subsuperficial, la frecuencia de riego fue, en promedio, cada tercer día; frecuencias de riego de 1, 3, 5 y 7 días no mostraron diferencias significativas en la producción de maíz. Las altas frecuencias de riego mantienen un contenido de agua en el suelo constante y pueden incrementar la producción de maíz hasta en 35% (Coelho y Or, 1999). El consumo de lámina acumulada en riego subsuperficial fue de 0.45 m, lo cual representa un ahorro de agua de 27.4%, con respecto al riego de gravedad. Láminas de 0.32 a 0.55 m, en maíz, con diferentes frecuencias de riego y rendimientos de 14.1 Mg ha<sup>-1</sup> de grano (Phene *et al.*, 1991; Camp *et al.*, 1997). En los modelos de regresión obtenidos de lámina acumulada, en función de los días transcurridos durante el ciclo del cultivo, se estimaron los promedios diarios de consumo de agua. Éstos fueron de 0.74 cm, para el sistema de gravedad, y de 0.5 cm, para el riego subsuperficial, ambos con coeficientes de determinación de 0.98.

### Crecimiento del Índice de Área Foliar

La Figura 2 muestra el comportamiento del IAF de los cuatro tratamientos, entre 22 y 78 DDS; en ésta se observa que el efecto de las separaciones de cinta en el IAF inicia a los 29 DDS. El tratamiento de 0.8 m de separación tuvo un crecimiento constante, con respecto al tiempo, durante todo el ciclo del cultivo, alcanzando un valor máximo de 5.1 de IAF, 68 DDS. En el tratamiento de 0.9 m de separación, su crecimiento

fue similar al de 0.8 m; sin embargo, los valores alcanzados fueron inferiores durante todo el desarrollo, con respecto al tratamiento de 0.8 m, el cual presentó un valor máximo de 4.6 a los 68 DDS. Para el tratamiento de 1.0 m, el crecimiento del área foliar fue inferior al de los tratamientos de 0.8 y 0.9 m durante los primeros 50 DDS. Este comportamiento de menor IAF pudo deberse a la mayor separación de las cintillas, lo cual limita la disponibilidad de agua al sistema radical y retarda el crecimiento del cultivo; entre los 56 y 68 DDS se observa un rápido crecimiento y se alcanza un valor de IAF de 4.8. No hubo diferencias estadísticas para los 56, 68 y 78 DDS entre los tratamientos de cinta (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ; DMS = 0.4, 0.77 y 0.64). La floración (95%) ocurrió a los 56 DDS y coincidió con el inicio de una tendencia "estable" o meseta del índice de área foliar; este comportamiento fue similar al obtenido por Guevara y Bárcenas (2005). El IAF obtenido en el sistema de gravedad fue fuertemente afectado por el espaciamiento entre los riegos. En la Figura 1 se observa que, durante el tercer y cuarto riego de auxilio, hubo un intervalo de 21 días, lo que provocó una disminución en el IAF a los 35 DDS, con un valor de 0.8 (Figura 2). El mismo efecto se observó entre el quinto y sexto riego, aplicados a 54 y 74 DDS; su efecto se reflejó a los 68 DDS, con un valor de 2.8 de IAF. El valor máximo de este tratamiento fue de 3.4 y fue estadísticamente menor, comparado con los tratamientos de separación de cinta ( $\alpha \leq 0.05$ ; DMS = 0.66). Asimismo, se observa que las diferencias entre tratamientos, para el IAF, son apreciables a partir de los 29 DDS.

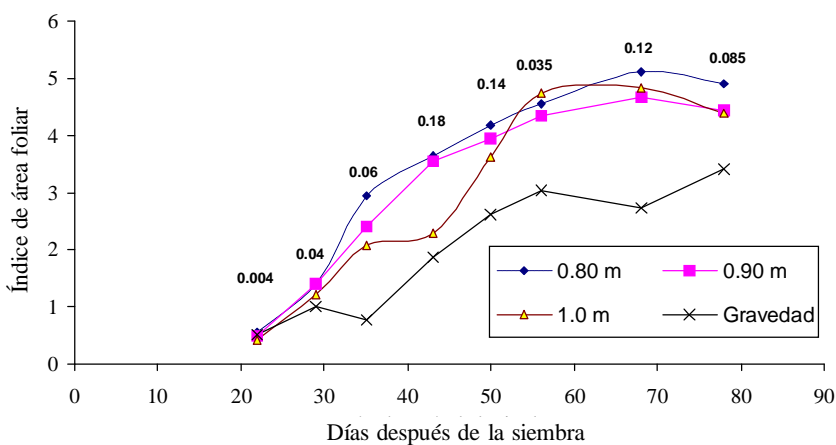


Figura 2. Dinámica de crecimiento del índice de área foliar del maíz forrajero en diferentes espaciamientos de cinta de riego por goteo subsuperficial y riego por gravedad; los valores en cada muestreo representan el cuadrado medio del error.

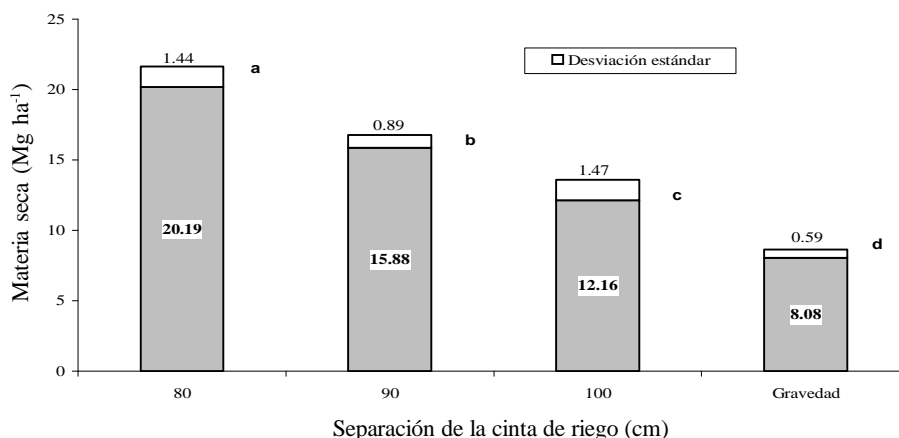


Figura 3. Comparación de la producción de forraje seco en tres separaciones de cinta de goteo subsuperficial y gravedad (Tukey,  $\alpha = 0.05$  y DMS = 2.36).

### Rendimiento de Forraje

La Figura 3 muestra el promedio del rendimiento de materia seca ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) y la comparación de medias entre los tratamientos. El rendimiento máximo de  $20.19 \text{ Mg ha}^{-1}$  fue para el tratamiento de 0.8 m de separación entre cintas de riego, los rendimientos de  $15.88$  y  $12.16 \text{ Mg ha}^{-1}$  correspondieron a los tratamientos de 0.9 y 1.0 m de separación; por último, el rendimiento de  $8.08 \text{ Mg ha}^{-1}$  correspondió al riego por gravedad. Todas las medias fueron estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ; DMS = 2.36). Estos rendimientos en forraje verde corresponden a  $70.19$ ,  $55.37$ ,  $42.4$  y  $27.8 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente, lo que indica que la producción de forraje en el sistema de riego por gravedad fue inferior en 150, 96 y 56%, con respecto a los tratamientos de 0.8, 0.9 y 1.0 m de separación entre cintillas, respectivamente. Rendimientos de forraje similares reportaron Oktem *et al.* (2003), Lamm *et al.* (1992) y Camp *et al.* (1997), quienes indican que éstos dependen de la separación de la cinta, la densidad de plantas y la lámina de agua aplicada. Con estos rendimientos, el consumo de agua obtenido para la producción de materia seca fue de  $4.48$ ,  $3.52$ ,  $2.7$  y  $1.3 \text{ kg m}^{-3}$ , respectivamente. Guevara y Bárcenas (2005) reportaron valores de  $4.5$  a  $4.9 \text{ kg m}^{-3}$ .

El análisis económico indica que los ingresos por la venta del forraje en verde reportan una ganancia de \$49 133.00 para 2 ha, considerando un rendimiento de  $70.19 \text{ Mg ha}^{-1}$  y un precio de venta de \$350.00 por tonelada de forraje en verde. Los costos de producción del cultivo fueron de \$26 330.00 para 2 ha. La relación B/C fue de 1.8, esto indica que por cada peso que

se invirtió en la producción de maíz forrajero con esta tecnología, se recuperan \$0.80.

### CONCLUSIONES

El ahorro de agua en el sistema de riego subsuperficial representó 27.4%, con respecto al sistema de gravedad, y los consumos diarios de lámina aplicada fueron de 0.74 y 0.5 cm, respectivamente. El mayor índice de área foliar alcanzado fue de 5.1, en la separación de 0.8 m entre cintas de riego, sin diferencias estadísticas entre las separaciones de cinta, al final del ciclo del cultivo, aunque sí hubo diferencias con respecto al sistema de gravedad. El efecto de la separación de las cintas se observó, a 29 días después de la siembra, en el comportamiento del índice de área foliar. Se encontraron diferencias estadísticas en la producción de materia seca; la más alta producción ( $20.19 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) se logró en la separación de 0.8 m. La mayor producción por unidad de volumen aplicado de agua fue de  $4.48 \text{ kg m}^{-3}$ . La relación B/C fue de 1.8, lo que significa que por cada peso que se invirtió en la producción de maíz forrajero, con esta tecnología, se recuperó \$0.80.

### LITERATURA CITADA

- Bozkurt, Y., A.Yazar, B. Gençel, and S. M. Sezen. 2006. Optimum lateral spacing for drip-irrigated corn in the Mediterranean Region of Turkey. *Agric. Water Manage.* 85: 113-120.
- Caballer, V. y N. Guadalajara, 1998. Valoración económica del agua de riego. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Camp, C. R., P. J. Bauer, and P. G. Hunt. 1997. Subsurface drip irrigation lateral spacing and management for cotton in the Southeastern Coastal Plain. *Trans. ASAE* 40: 993-999.

- Cassel, F. S., S. Sharmasarkar, S. D. Miller, G. F. Vance, and R. Zhang. 2001. Assessment of drip and flood irrigation on water and fertilizer use efficiencies for sugarbeets. *Agric. Water Manage.* 46: 241-251.
- Charles, M., B. Stuart, and W. Styles. 1999. Drip and micro irrigation for trees, vines and row crops. Design and management (with special sections on SDI). Irrigation Training and Research Center. California Polytechnic State University. San Luis Obispo, CA. USA.
- Coelho, E. F. and D. Or. 1999. Root distribution and water uptake patterns of corn under surface and subsurface drip irrigation. *Plant Soil* 206: 123-136.
- Delphine, L., A. Vidal, M. Smith, and J. Dauzat. 2005. More crop per drop: how to make it acceptable for farmers? *Agric. Water Manage.* 76: 108-119.
- Doorenbos, J. y W.O. Pruitt. 1974. Las necesidades de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Riego y Drenaje 24. FAO. Roma, Italy.
- Fortis H., M., A. Rodante, J. A. Leos y E. Salazar S. 2002. El mercado de los derechos de agua en la Comarca Lagunera. *Políticas Agrícolas* 12: 103-122.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. México, D. F.
- Guevara E., A. y G. Bárcenas H. 2005. Alta densidad de siembra en la producción de maíz con irrigación por goteo subsuperficial. *Agrociencia* 39: 431-439.
- Howell, T. A., A. D. Schneider, and S. R. Evett. 1997. Subsurface and surface microirrigation of corn-Southern High Plains. *Trans. ASAE* 40: 635-641
- Lamm, F. R. and T. P. Trooien. 2003. Subsurface drip irrigation for corn production: a review of 10 years of research in Kansas. *Irrig. Sci.* 22: 195-200.
- Lamm, F. R., W. E. Spurgeon, and H. L. Manges. 1992. Drip irrigation for corn: A promising prospect. *Irrig. J.* 3: 12-16.
- Levine, G., A. Cruz Galvan, D. Garcia, C. Garces-Restrepo, and S. H. Johnson III. 1998. Performance of two transferred modules in the Lagunera Region: water relations. Research Report 23. International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka.
- Oktem, A., M. Simsek, and 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.
- Phene, C. J., K. R. Davis, R. B. Huttmacher, and R. L. McCormick. 1987. Advantages of subsurface irrigation for processing tomatoes. *Acta Hort.* 200: 101-103.
- Phene, C. J., K. R. Davis, R. B. Huttmacher, B. Bar-Yosef, D.W. Meek, and J. Misaki. 1991. Effect of high frequency surface and subsurface drip irrigation on root distribution of sweet corn. *Irrig. Sci.* 12: 135-140
- Reta, S. D., J. Carrillo S., A. Gaytán M., E. Castro M. y J. A. Cueto W. 2002. Guía para cultivar maíz forrajero en surcos estrechos. INIFAP-CIRNOC-CELALA. Matamoros, Coahuila. México.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 1999. Anuario estadístico de la producción agropecuaria en la Región Lagunera. Cd. Lerdo, Durango.
- Smith, R. J., S. R. Raine, and J. Minkevich. 2005. Irrigation application efficiency and deep drainage potential under surface irrigated cotton. *Agric. Water Manage.* 71: 117-130.
- Thompson, T. L., S. A. White, J. Walworth, and G. J. Sower. 2003. Fertigation frequency for subsurface drip-irrigated broccoli. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 910-918.