

Efecto de tres profundidades de cinta de riego por goteo en la eficiencia de uso de agua y en el rendimiento de maíz forrajero

Effect of three driptape installation depths on water use efficiency and yield parameters in forage maize (*Zea mays* L.) cultivation

José Alfredo Montemayor Trejo^a, Ángel Osbaldo Gómez Monsivais^b, Jesús Olague Ramírez^a, Alejandro Zermeño González^c, Ernesto Ruiz Cerda^a, Manuel Fortis Hernández^a, Enrique Salazar Sosa^a, Rogelio Aldaco Nuncio^a

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue comparar el efecto de tres profundidades de cinta de riego por goteo sub-superficial, con el sistema de riego por gravedad en surcos, y su influencia en algunas características agronómicas del maíz destinado a forraje, relacionadas con el uso eficiente del agua. El experimento se realizó en el ciclo agrícola verano – otoño del 2002 en la pequeña propiedad “Urquizo” de la empresa Beta Santa Mónica S.P.R. de R.L ubicada en el ejido Santa Mónica, Municipio de San Pedro, Coahuila, México. El diseño experimental fue de bloques al azar con cuatro repeticiones; los tratamientos fueron tres profundidades a las que se colocó la cinta de riego: 0.25, 0.35 y 0.45 m; y como testigo se utilizó riego por gravedad en surcos. El estudio se estableció en un suelo franco, con una humedad aprovechable de 0.2 g cm⁻³. Las variables evaluadas fueron: rendimiento de forraje verde, lamina de agua aplicada, eficiencia del uso del agua, altura de la planta, diámetro de tallo, peso fresco de planta, diámetro y longitud de mazorca, peso de mazorca con hoja y sin hoja. Aunque no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) el mayor rendimiento de forraje verde de 46,200 kg ha⁻¹ se obtuvo con la profundidad de 0.45 m, con una eficiencia en el uso del agua de 2.9 kg m⁻³. La altura de planta fue de 1.72 m en la profundidad de 0.25 m y 1.67 m en el sistema de gravedad, en la cual no se encontró diferencia entre los dos sistemas de riego ($P > 0.05$), así como en el resto de los parámetros evaluados.

PALABRAS CLAVE: Riego sub-superficial, Uso del agua, Zea Mayz L.

ABSTRACT

A comparative study was done between subsurface drip irrigation (SDI) and furrow irrigation systems (FIS) for water use efficiency and yield parameters in forage maize (*Zea mays* L.) cultivation. Field study was conducted during the 2002 summer-autumn growing season in the State of Coahuila, Mexico. The experimental design was a completely randomized blocks with four replicates. Treatments were three SDI with driptape buried at 0.25, 0.35 and 0.45 m depth, as well as a fourth treatment using FIS as a control. Soils were loamy with 0.2 g cm⁻³ available moisture. Measured parameters included: depth of dripline installation; water use efficiency; forage yield; plant height; stem diameter; fresh plant weight; ear diameter; ear length; and fresh ear weight (with and without husk). Irrigation depth in the SDI treatments was 0.47 m vs 0.65 m in the FGI treatment, representing a 28 % water savings. Water use efficiency was significantly higher ($P < 0.05$) in the SDI treatments than in the FGI treatment (2.9 vs. 2.0 kg m⁻³). The highest forage yield (46,200 kg ha⁻¹) was recorded in the SDI 0.45 m treatment, though this was not different ($P > 0.05$) than the FIS treatment (43,800 kg ha⁻¹). Plant height in the SDI 0.25 m treatment (1.72 m) was higher than in the FIS treatment (1.67 m), though not statistically different ($P > 0.05$). No statistical differences between treatments were observed for stem diameter, fresh plant weight, ear diameter, ear length or fresh ear weight (with and without husk).

KEY WORDS: Subsurface drip irrigation, Water use efficiency, Zea Mays L.

Recibido el 26 de mayo de 2005 y aceptado para su publicación el 21 de febrero de 2006.

^a Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón – San Pedro Km. 7.5 Torreón, Coahuila, México. montemayorja@hotmail.com. Correspondencia al primer autor.

^b Programa de Maestría en Ciencias en Irrigación del Instituto Tecnológico de Torreón.

^c Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

El riego por goteo sub-superficial (RGS) es definido como la aplicación del agua bajo la superficie del suelo a través de emisores con gastos uniformes⁽¹⁾. El sistema es diseñado para aplicar bajos volúmenes con altas frecuencias, con el propósito de mantener el contenido de humedad en el suelo en un nivel que permita un crecimiento óptimo de la planta. Cuando se diseña apropiadamente, las aplicaciones de agua son muy uniformes y los requerimientos de agua se ven reducidos hasta en un 40 %⁽²⁾. El sistema ha sido utilizado en la producción de maíz en el este de Kansas⁽³⁾, caña de azúcar en Hawai⁽⁴⁾, algodón en Arizona⁽⁵⁾ y sorgo para grano en Texas⁽⁶⁾; de tal forma que el sistema de riego es económicamente viable para la mayoría de los cultivos^(7,8). Su mayor expansión fue a partir de 1991; en el año 2000 fueron establecidas 80,800 ha en California y 12,120 ha en Florida, despertando el interés de los productores e investigadores.

El riego sub-superficial consiste básicamente en un sistema de filtros, tuberías principales, secundarias y líneas regantes enterradas en el suelo; éstas son parcialmente rígidas o flexibles, también conocidas como "cintillas" colocadas a profundidades desde 0.05 a 0.5 m. En el estado de Kansas, por ejemplo, estos sistemas han sido típicamente usados a una profundidad de 40 cm y en un amplio rango de separación entre emisores. La cintillas llevan el agua hasta el cultivo y posteriormente es dosificada gota a gota en la zona radicular del cultivo mediante orificios regularmente espaciados a 20, 30 cm o mayores, dependiendo del cultivo que se desee establecer. La ventaja de la cinta o tubería enterrada, es que en la superficie del suelo prácticamente no hay humedad, por lo tanto, el proceso de evaporación directa del suelo disminuye, porque el agua está más disponible para la planta⁽⁹⁾. Esto es sumamente benéfico en las zonas áridas, donde la radiación solar, que es la fuente de energía principal para la evaporación, alcanza más de 1000 watt m⁻².

En cultivos tradicionales como el maíz, estos sistemas han sido típicamente usados a una profundidad de 40 cm y en un amplio rango de separación entre emisores y cintas de riego; sin

Subsurface drip irrigation (SDI) is defined as the application of water below soil surface with a uniform use delivery system⁽¹⁾. It is designed to use high-frequency, low-volume water application to maintain soil moisture at levels that allow optimum plant growth. When correctly designed, water applications are extremely uniform and water use can be reduced by up to 40 %⁽²⁾. The SDI system has been used in production of maize in west Kansas⁽³⁾, sugar cane in Hawaii⁽⁴⁾, cotton in Arizona⁽⁵⁾ and grain sorghum in Texas⁽⁶⁾, demonstrating that it is economically viable in most crops^(7,8). Since 1991, its use has increased to the point where in 2000 SDI was installed on 80,800 ha in California and 12,129 ha in Florida; many more producers and researchers are now interested in SDI.

An SDI system includes the basic elements of a filter system, main and submain lines, and drip lines buried in the soil. Known as driptapes, these lines are partially rigid or completely flexible and are placed at depths ranging from 0.05 to 0.5 m. In Kansas, for example, these tapes are normally placed at 0.4 m depth with a wide variation in spacing between them. Driptapes carry water to the crop and deliver it to the root zone in drops through emitters spaced at 20 cm, 30 cm or more, depending on the crop type. A major advantage of using a buried line or tape is that the soil surface remains almost completely moisture-free, greatly reducing evaporation and ensuring that more water is available to the plant⁽⁹⁾. This is extremely beneficial in arid zones where solar radiation, the main energy source causing evaporation, can reach levels of up to 1000 W m⁻².

In maize cultivation, SDI has typically been implemented by installing driplines at 0.4 m depth with a wide range of distances between lines. However, optimum depth depends on soil type, driptape type, root distribution, crop rotation, seed germination, salinity and soil capillarity⁽¹⁰⁾. Research is required on spacing and depth for specific crops and economic analysis is needed of SDI application to determine its viability in specific cases⁽¹¹⁾. The objective of this study was to evaluate the effects in maize cultivation of driptape depth on crop yield parameters and water use efficiency *versus* a furrow irrigation (FIS) system.

embargo la profundidad deseada depende del tipo de suelo, cinta, distribución de la raíz, rotación del cultivo, germinación de la semilla, salinidad y de la capilaridad del suelo⁽¹⁰⁾. Investigaciones futuras entre espaciamentos y profundidades para cada tipo de cultivo y el análisis económico, determinará si el sistema es económicamente viable⁽¹¹⁾. El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de las profundidades de cinta de riego, en los parámetros del rendimiento del cultivo, así como en la eficiencia del uso del agua, con respecto al sistema de gravedad.

El trabajo se desarrolló en el ciclo agrícola verano-otoño del 2002 en la pequeña propiedad "Urquizo" de la empresa Beta Santa Mónica S.P.R. de R.L. ubicada en el ejido Santa Mónica, municipio de San Pedro, Coahuila. Se estableció la variedad de maíz Dekalb 875, en un sistema de siembra en camas a 1.5 m de separación con doble hilera a 0.75 m y una distancia entre plantas de 0.1 m. Al momento de la siembra se aplicaron 450 kg ha⁻¹ de fertilizante con la fórmula 16-16-16 para todo el ciclo del cultivo. El agua utilizada fue de un pozo profundo con clasificación C4-S1 que corresponde a un alto contenido en sales y bajo contenido en sodio de acuerdo a las normas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

El diseño experimental fue de bloques al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron tres profundidades de cinta: 0.25, 0.35 y 0.45 m y un testigo que fue el sistema de riego por gravedad en surcos. El gasto de la cinta fue de 2.98 litros por hora (L h⁻¹) por metro lineal, con orificios espaciados a 0.3 m a una presión de operación de 0.7 kg cm⁻² y espesor de la pared de 0.250 mm. En el sistema de riego sub-superficial se utilizaron dos filtros de arena y un filtro de mallas de 74 micrones, los cuales evitaron el taponamiento de goteros durante todo el ciclo del cultivo. La unidad experimental fue de siete camas con una longitud de 40 m y se instaló una cinta de riego en el centro de cada cama de siembra. La textura del suelo del sitio experimental es franca, con una humedad aprovechable de 0.2 g cm⁻³. Para aforar el agua aplicada, en el sistema de riego sub-superficial se

The study was done during the 2002 summer-fall agricultural cycle on a small parcel belonging to the Beta Santa Mónica, S.P.R. de R.L., company located on the Santa Monica ejido, San Pedro municipality, in the state of Coahuila, Mexico. Maize (*Zea mays* var. Dekalb 875) was planted in beds 1.5 m apart with a double row separated by 0.75 m and 0.1 m spacing between plants. The crop was sown at 450 kg ha⁻¹ and a 16-16-16 formula fertilizer was applied for the entire crop cycle.

The water supply was a deep well classified as C4-S1 (i.e. high salts and low sodium). The flow rate to the driptapes was 2.98 liters per hour (L h⁻¹) per linear meter at an operating pressure of 0.7 kg cm⁻². Driptide wall thickness was 0.250 mm and emitters were located every 0.3 m. The SDI system included two sand filters and 74 micron filters to prevent the driptapes from clogging during the cultivation cycle. Soil texture on site is loamy with 0.2 g cm⁻³ available moisture content.

The experimental design was a random blocks with four treatments and four replicates. The treatments were three depths (0.25, 0.35 and 0.45 m) at which the driptide was buried in the SDI system, and the fourth (control) was a furrow irrigation (FIS) system. Each experimental unit consisted of seven 40 m long beds with a driptide installed in the center of each bed. Water use was gauged with a flow meter in the SDI system and two-inch diameter siphons in the FIS system. Harvest was at 92 d after seeding. Yield analysis was done harvesting ten plants selected from the three central beds of each experimental unit. Yield parameters included percentage dry matter, plant height, stem diameter, fresh plant weight, ear diameter, ear length and weight (with and without husk).

Irrigation depth and frequencies were determined with Boswell's equation⁽¹²⁾, based on an "A" type evaporimeter pan tank and estimating crop evapotranspiration (Et) as 80 % of pan evaporation⁽¹³⁾. Average irrigation frequency was every third day in the three SDI treatments. Water use efficiency (WUE) was calculated by dividing harvested dry matter weight (kg ha⁻¹) by the total volume of water applied to each treatment.

utilizó un medidor de flujo y en el riego por surcos se utilizaron sifones de dos pulgadas de diámetro. La cosecha se realizó a los 92 días después de la siembra; la evaluación del rendimiento se hizo en las tres camas centrales de cada unidad experimental. En diez plantas de cada unidad experimental se midió el porcentaje de materia seca, altura de planta, diámetro de tallo, peso fresco de la planta, diámetro de mazorca, longitud de mazorca y peso de la mazorca con y sin hoja.

Las láminas y frecuencia de riego se determinaron con la ecuación de Boswell⁽¹²⁾, basándose para ello en la evaporación del tanque evaporímetro tipo "A" y estimando la evapotranspiración del cultivo (Et) como el 80 % de la evaporación del tanque⁽¹³⁾. La frecuencia de riegos en promedio fue cada tercer día en el sistema de goteo sub-superficial. La eficiencia del uso del agua (eua) se obtuvo dividiendo el peso de materia seca cosechada (kg ha^{-1}) entre el volumen total de agua aplicado en cada tratamiento.

En el Cuadro 1 se presenta el rendimiento de forraje verde y la eficiencia en el uso del agua con respecto a las profundidades de la cinta. No se observaron diferencias significativas en el peso de forraje, entre los tratamientos de profundidad de la cinta de riego y el riego por surcos. La profundidad de 0.45 m alcanzó un rendimiento de $46,200 \text{ kg ha}^{-1}$ y el sistema de surcos de $43,800 \text{ kg ha}^{-1}$. En un trabajo donde se estudió el efecto de cinco profundidades de cinta 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 m, detectaron diferencias estadísticas en los rendimientos de maíz⁽¹⁴⁾. Otros investigadores evaluaron las profundidades de 0.46 y 0.3 m y separaciones de cinta de 1.5, 1.0 y 0.76 m y encontraron diferencias entre las separaciones, pero los rendimientos de alfalfa fueron similares en las profundidades a las que se enterró la cinta de riego⁽¹⁵⁾. La lámina aplicada en el riego por goteo sub-superficial fue de 0.47 m, mientras que para el sistema de gravedad fue de 0.65 m. Esta reducción de lámina representó un ahorro de agua de un 28 %. Montemayor *et al*⁽¹⁶⁾ obtuvieron un rendimiento máximo de 70 t ha^{-1} de forraje verde con una lámina de 0.45 m. En otro trabajo⁽¹⁷⁾ reportan consumos de 0.42 a 0.53 m de agua en maíz para diferentes frecuencias de riego por goteo sub-superficial. Al utilizar emisores sub-superficiales

No significant differences in forage yield were observed between the three SDI treatments or between them and the FIS treatment (Table 1); the SDI 0.45 m treatment had the highest fresh weight value ($46,200 \text{ kg ha}^{-1}$) and the FIS treatment the lowest ($43,800 \text{ kg ha}^{-1}$). This differs from a study of five driptape depths (0.2, 0.3, 0.4, 0.5 and 0.6 m) in which significant differences in maize yield were reported⁽¹⁴⁾. However, in a study of alfalfa yield comparing installation depths of 0.46 and 0.3 m, as well as driptape separation distances of 1.5, 1.0 and 0.76 m, the two depths produced similar yields⁽¹⁵⁾, similar as in the present study.

The irrigation depth applied in the SDI treatments was 0.47 m, whereas it was 0.65 in the FIS treatment, representing a 28 % water savings (Table 1). The SDI irrigation depth applied coincides with those reported elsewhere. Montemayor *et al*⁽¹⁶⁾ reported a maximum fresh forage yield of 70 t ha^{-1} with a 0.45 m of irrigation depth, and irrigation depths of 0.42 to 0.53 m are reported in a separate study of different SDI irrigation frequencies in maize cultivation⁽¹⁷⁾. In another study an average irrigation of 0.42 m resulted in 51 mm less evaporation for SDI lines installed at 0.15 m and 81 mm less for those at 0.30 m⁽¹⁸⁾. A 25 % reduction in the amount of irrigation was reported by Lamm *et al*⁽²⁰⁾, which translates into a 35 to 55 % savings compared to sprinkler or gravity irrigation systems.

Cuadro 1. Rendimiento de forraje y eficiencia del uso del agua en tres profundidades de cinta de goteo sub-superficial y riego por gravedad en surcos

Table 1. Forage yield and water use efficiency (WUE) in three subsurface drip irrigation (SDI) and one furrow irrigation (FIS) treatments

Treatment (depth m)	Yield (kg ha^{-1})		Volume (m^3)	WUE (kg m^{-3})
	Fresh	Dry		
SDI (0.25)	45,500 ^a	13,650	4,700	2.9 ^a
SDI (0.35)	45,600 ^a	13,680	4,700	2.9 ^a
SDI (0.45)	46,200 ^a	13,860	4,700	2.9 ^a
FIS	43,800 ^a	13,140	6,500	2.0 ^b

^{ab} Different letter superscripts in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$).

a 0.15 y 0.30 m de profundidad con una lámina promedio de 0.42 m se encontró que la evaporación fue de 51 mm y 81 mm menor en las profundidades de 0.15 y 0.30 m⁽¹⁸⁾.

En la eficiencia del uso del agua (eua) en esta evaluación, los valores máximos alcanzados fueron de 2.9 kg m⁻³ (kilogramos de materia seca por metro cúbico de agua) cuando la cinta de riego se enterró a las profundidades de 0.35 y 0.45 m, y 2.0 kg m⁻³ en el sistema de riego por surcos. No hubo diferencia estadística significativa entre las tres profundidades de la cinta de riego, pero si entre éstas y el sistema de riego por surcos. Phene y Ruskin⁽¹⁹⁾ reportan una eua de 2.92 kg m⁻³ en estudios realizados de 1984 a 1990 con riego sub-superficial en cinco lugares en California, mientras que Lamm *et al*⁽²⁰⁾ reportaron una reducción de 25 % en lámina de riego, que se traduce entre un 35 a 55 % de ahorro cuando es comparado con el sistema de aspersión o por gravedad en surcos.

La mayor altura de planta (Cuadro 2) fue de 1.72 m en la profundidad de 0.25 m y de 1.67 m en el sistema de surcos ($P > 0.05$). En el diámetro de tallo y peso fresco por planta, no existieron diferencias estadísticas; sin embargo, el mayor diámetro de 2.12 cm fue en la profundidad de 0.45. El peso fresco por planta fue similar en todos los tratamientos evaluados. Se han reportado diferencias en altura, diámetro y peso de la planta,

Cuadro 2. Altura de planta, diámetro de tallo y peso fresco de la planta en tres profundidades de cinta de goteo sub-superficial y riego por surcos

Table 2. Plant height, stem diameter and fresh plant weight in three subsurface drip irrigation (SDI) and one furrow irrigation (FIS) treatments

Treatment (depth m)	Plant height (m)	Stem diameter (cm)	Fresh plant weight (g)
SDI (0.25)	1.72 a	1.97 a	720 a
SDI (0.35)	1.56 b	2.00 a	712 a
SDI (0.45)	1.59 ab	2.12 a	821 a
FIS	1.67 ab	2.05 a	671 a

^{ab} Different letter superscripts in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$).

WUE was significantly higher ($P < 0.05$) in the SDI treatments (2.9 kg m⁻³ kg dry matter per cubic meter of water) than in the FIS treatment (2.0 kg m⁻³) (Table 1). The SDI values here are similar to those reported by Phene and Ruskin⁽¹⁹⁾, who recorded a WUE of 2.92 kg m⁻³ in studies between 1984 and 1990 using SDI on five sites in California.

The highest plant height value among the SDI treatments was 1.72 m with the 0.25 m treatment, which was not significantly different from the 1.67 m plant height recorded in the FIS treatment (Table 2). Stem diameter was similar between treatments, with the largest stem diameter (2.12 cm) produced in the SDI 0.45 m treatment. Fresh plant weight was also similar between the four treatments. Differences in plant height, diameter and weight have been reported in response to different separation distances between SDI driptapes installed at 0.40 m⁽²¹⁾. No significant differences between treatments were recorded for ear diameter, length or weight (Table 3).

In conclusion, the irrigation depth applied in the subsurface drip irrigation system was 0.47 m, which represents a 28 % water savings over the furrow irrigation system. Water use efficiency increased from 2.0 kg m⁻³ in the FIS system to 2.9 kg m⁻³ with the SDI system. No significant differences between treatments were observed for stem diameter, fresh plant weight, ear diameter, ear length and fresh ear weight (with and without husk).

Cuadro 3. Diámetro, longitud, peso fresco con y sin hojas de la mazorca en tres profundidades de cinta de goteo sub-superficial y riego por gravedad en surcos

Table 3. Ear diameter, length and fresh weight (with and without husk) in three subsurface drip irrigation (SDI) and one furrow irrigation (FIS) treatments

Treatment (depth m)	Ear diameter (cm)	Ear length (cm)	Fresh ear weight (g)	
			w/ husk	w/o husk
SDI (0.25)	4.57	14.82	312	200
SDI (0.35)	4.50	15.25	320	200
SDI (0.45)	4.67	15.26	345	216
FIS	4.37	15.20	283	181

($P > 0.05$).

al evaluar separaciones de cinta sub-superficial de 0.8, 0.9 y 1.0 m en una profundidad de 0.4 m⁽²¹⁾. Tampoco hubo diferencia estadística significativa en diámetro, longitud y peso de mazorca (Cuadro 3).

Se concluye que la lámina de agua aplicada en el sistema de riego sub-superficial fue de 0.47 m, la cual representó un ahorro de 28 % comparado con el sistema de riego en surcos. La eficiencia en el uso del agua se incrementó de 2.0 kg m⁻³ a 2.9 kg m⁻³ con el sistema de riego por goteo sub-superficial. En las variables de diámetro de tallo, peso fresco de la planta, diámetro, longitud y peso fresco de la mazorca con hoja y sin hoja, no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre las profundidades de la cinta de riego y con el riego por gravedad en surcos.

AGRADECIMIENTOS

Al M.C Martín Delgado Ramírez y Ph D. Jorge Luis García Ávila encargados de la división agrícola de la empresa Beta Santa Mónica S.P.R. de R.L.

LITERATURA CITADA

1. ASAE. Standards soil and water terminology. 46th ed. St. Joseph, Mich. USA. Am Soc Agric Engr. ASAE. 1999.
2. Camp CR, Lamm FR, Evans RG, Phenne CJ. Subsurface drip irrigation – past, present, and future. 4th Decennial National Irrigation Symposium, Phoenix AZ. 2000:676.
3. Weis TJ, Spurgeon WE, Manges HL. Water requirement of corn with drip irrigation. Mid-Central Conference, St. Joseph, MO. Am Soc Agric Engr. St. Joseph, MI 1991.
4. Buri W. Designing drip irrigation tubes for row crops. ASAE/CSAE meeting, Spokane, WA. Am Soc Agric Engr. 1993.
5. Bucks DA, Erie LJ, French EF. Trickle irrigation on cotton. *Prog Agr Ariz* 1973;25(4):13-16.
6. Hiler EA, Howell TA. Grain Sorghum response to trickle and subsurface irrigation. *Trans. Am Soc Agric Engrs* 1973;16(4):799-803.
7. Smith RB, Oster JD, Phene CJ. Subsurface drip produced highest net return in Westlands area study. *Calif Agric* 1991;45(2):8-10.
8. Wuertz H, Tollefson S. Subsurface drip irrigation on Sundance Farms, Ltd. *Proceed Subsurface Drip irrigation; Theory, Practices and Application*, Visalia, CA. 1993:83-95.
9. Phene CJ, Davis KR, Hutmacher RB, McCormick RL. Advantages of subsurface irrigation for processing tomatoes. *Acta Hort* 1987;200:101-103.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank Martín Delgado-Ramírez and Dr. Jorge Luis García-Ávila, the heads of the Beta Santa Mónica S.P.R. de R.L. Agricultural Division, for their assistance.

End of english version

-
10. Hanson BR. Drip irrigation of row crops: an overview. *Microirrigation for a changing world: Conserving Resources/ Preserving the Environment. Proceed of the Fifth International Microirrigation Congress*. Orlando, Florida. 1995:651-663.
 11. Charles MB, Stuart WS. Drip and micro irrigation for trees, vines and row crops. *Design and Management (with special sections on SDI). Irrigation Training and Research Center (ITRC)*. California Polytech State Univ. 1999.
 12. Boswell JM. *Microirrigation design manual*. Fourth ed. El Cajon, CA USA: Hardie Industries; 1990.
 13. Doorenbos J, Pruitt WO. Las necesidades de agua de los cultivos. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Colegio de Riego y Drenaje, F.A.O.; Roma*. 1974(24).
 14. Lamm FR, Trooien TP. Effect of dripline on field corn production in Kansas [on line] <http://www.oznet.ksu.edu/sdi/Reports/2003/Depth/A.pdf>. Accessed March 4, 2004.
 15. Mahbub-ul A, Todd T, Steven S, Danny R. Subsurface drip irrigation for alfalfa. *Am Water Res* 2002;(38):1715-1721.
 16. Montemayor JA, Olague J, Rodríguez JC, Fortis M. Consumo de agua en el maíz forrajero bajo sistema de riego sub-superficial [resumen]. VII Simposio Internacional y II Congreso nacional de agricultura sostenible. Monterrey N.L. 2003:50.
 17. Caldwell DS, Spurgeon WE, Manges HL. Frequency of irrigation for subsurface drip-irrigated corn. *Am Soc Agric Engr* 1994;37(4):1099-1103.
 18. Steven RE, Howell TA, Schneider AD. Energy and water balances for surface and subsurface drip irrigated corn. *Microirrigation for a changing world: Conserving Resources/ Preserving the Environment. Proceed Fifth International Microirrigation Congress*. Orlando, Florida. 1995:135-140.
 19. Phene CJ, Ruskin R. Potential of subsurface drip irrigation for management of nitrate in wastewater. *Microirrigation for a changing world: Conserving Resources/ Preserving the Environment. Proceed Fifth International Microirrigation Congress*. Orlando, Florida. 1995:155-167.
 20. Lamm FR, Spurgeon WE, Rogers DH, Manges HL. Corn production using subsurface drip irrigation. *Microirrigation for a changing world: Conserving Resources/ Preserving the Environment. Proceed Fifth International Microirrigation Congress*. Orlando, Florida. 1995:388-394.
 21. Bravo SSR. Efecto de tres separaciones de cinta de riego por goteo subsuperficial en maíz forrajero [tesis maestría]. Torreón, Coahuila, México: Instituto Tecnológico Agropecuario N° 10; 2005.