

Uso del agua en la alfalfa (*Medicago sativa*) con riego por goteo subsuperficial

Water use in alfalfa (*Medicago sativa*) with subsurface drip irrigation

José Alfredo Montemayor Trejo^a, Herman Walter Aguirre Aguiluz^a, Jesús Olague Ramírez^a, Abel Román López^b, Miguel Rivera González^b, Pablo Preciado Rangel^a, Isabel del Rocío Montemayor Trejo^c, Miguel Ángel Segura Castruita^a, Jorge Arnaldo Orozco Vidala^a, Pablo Yéscas Coronado^a

RESUMEN

Con el objetivo de analizar la eficiencia en el uso del agua con el sistema de riego por goteo subsuperficial y por gravedad, durante el año 2004 se realizó la investigación en la Comarca Lagunera de los estados de Coahuila y Durango, México. Se estableció un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones y tres tratamientos de separación de cintas de riego de 0.8, 0.9 y 1.0 m, y como testigo se evaluó el método de riego por gravedad. Se utilizó el método de regresión lineal simple entre las variables días después de siembra y lámina de agua aplicada, para obtener modelos de aplicación de agua con riego por goteo subsuperficial (RGS) y riego por gravedad. La variedad de alfalfa establecida fue la WL 712 con una densidad de siembra de 40 kg ha⁻¹; el gasto de la cinta fue de 3 L/h por metro lineal con orificios espaciados a 30 cm y espesor de 10,000 micrones. La lámina de riego aplicada fue de 1.39 m en el sistema por gravedad y 1.16 m con riego por goteo subsuperficial. Los consumos de agua promedio diario de los modelos presentaron diferencias $t_{(\alpha=0.05)}$ y fueron 0.417 y 0.299 cm día⁻¹ en gravedad y RGS. El rendimiento de materia seca en siete cortes y la eficiencia en el uso del agua fueron de 24.08 t ha⁻¹, 2.04 kg m⁻³ en subsuperficial y 18.46 t ha⁻¹, 1.33 kg m⁻³ en gravedad ($P<0.05$).

PALABRAS CLAVE: Alfalfa, Evapotranspiración, Eficiencia en el uso del agua, Riego por goteo subsuperficial.

ABSTRACT

The present study was carried out at the Comarca Lagunera, located astride the States of Coahuila and Durango, Mexico, in 2004 in order to analyze water use efficiency in two irrigation systems, subsurface drip and border, in alfalfa. A completely randomized block design with four replications and three treatments for distance between irrigation tapes at 0.8, 0.9 and 1.0 m was established. Border irrigation was used as control. A simple regression method between the variables days after planting and water flow was used for evaluating the amount of water applied in both systems. WL 712 alfalfa variety was planted at 40 kg ha⁻¹ seeding density; water flow rate in tapes was 3 L h⁻¹ m⁻¹ with emitters spaced at 0.3 m and 10,000 μ thick. Irrigation depth was 1.39 m in border and 1.16 m in subsurface drip irrigation. Daily average water consumption showed significant difference between irrigation systems, Tukey ($\alpha=0.05$) exhibiting values of 18.46 t ha⁻¹, 1.33 kg m⁻³ in border and 24.08 t ha⁻¹, 2.04 kg m⁻³ in subsurface drip.

KEY WORDS: Alfalfa, Evapotranspiration, Water use efficiency, Subsurface drip irrigation.

La alfalfa es considerada la principal especie forrajera que se cultiva en el mundo, en México, el área que se cultiva es alrededor de 338,000 ha con rendimiento promedio nacional de 75.6 t de

Alfalfa is considered the main cultivated forage species worldwide. In Mexico, area planted to this specie totals 338,000 ha averaging 75.6 t ha⁻¹ yr⁻¹ fresh forage yield⁽¹⁾. In the Comarca Lagunera,

Recibido el 23 de septiembre de 2008. Aceptado para su publicación el 6 de enero de 2010.

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

^b Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua Suelo Planta Atmósfera CENID-RASPA del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, INIFAP.

^c Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario N° 1. Ej. La Partida.

forraje verde por hectárea por año⁽¹⁾. En la Comarca Lagunera que comprende los estados de Coahuila y Durango, la superficie cultivada ha sido incrementada durante los últimos años; a principios de los años noventas se cultivaban aproximadamente 22,000 ha y para el 2006 45,000, alimentándose más de 400 mil cabezas de ganado lechero de la región⁽²⁾. En investigaciones realizadas en la Comarca Lagunera con respecto a la utilización del agua en la producción de alfalfa, se encontró que es necesaria una lámina de riego de 1.4 a 1.5 m por año, con rendimientos entre 14 y 16 t⁻¹ ha⁻¹ año⁻¹ en base a peso seco^(3,4).

Las crecientes demandas de consumo de agua para el uso doméstico, industrial y agrícola han generado la necesidad de investigar y adoptar nuevas tecnologías que permitan un mejor aprovechamiento de este recurso. En los últimos años se ha trabajado para adoptar una nueva tecnología de riego, llamado sistema de riego por goteo subsuperficial (RGS), que se define como la forma de aplicar agua a los cultivos en forma subterránea mediante emisores con gastos uniformes, que ha reducido el gasto hasta en un 40 % comparado con otros sistemas de riego, y emplea cintas de goteo enterradas en el suelo, lo cual permite conservar el agua e incrementar significativamente la producción y calidad de los cultivos^(5,6). Este sistema de riego, evita la saturación del agua en el suelo y el estrés por déficit de humedad al cultivo antes de la aplicación del siguiente riego. Estas condiciones son comunes cuando los cultivos se riegan con el método de riego por inundación de agua o también llamado riego superficial. El déficit de humedad, provoca un cierre estomático, reduciendo por lo tanto la transpiración y asimilación de CO₂, originando como consecuencia, una menor producción de materia seca⁽⁷⁾.

El crecimiento de la alfalfa, es afectado por la baja concentración de oxígeno en el suelo, causado por la alta saturación de agua al aplicarla con el riego por inundación. Caso contrario ocurre cuando se aplican las cantidades de agua de acuerdo a la evapotranspiración del cultivo, dado que existe una relación lineal entre la materia seca y la evapotranspiración⁽⁸⁾. El RGS, permite un ahorro

located astride the States of Durango and Coahuila in Mexico, area planted to alfalfa has increased in the last few years, from approximately 20,000 ha at the beginning of the 1990s to some 45,000 ha in 2006, used for feeding some 400,000 dairy cows⁽²⁾. In studies carried out at the Comarca Lagunera on water use for producing alfalfa, a water application depth between 1.4 and 1.5 m yr⁻¹ was found necessary for producing between 14 tm ha⁻¹ and 16 tm ha⁻¹ dry forage^(3,4).

A growing demand for household, industrial and rural water use has created a demand for studying and adopting new technologies in order to increase efficiency of use. In the last few years efforts have been directed to the adoption of a new irrigation technology, known as the subsurface drip system (SSD), defined as a method for applying water to crops under the soil surface through emitters with uniform flow, using up to 40 % less water than with other irrigation systems. Water in SSD is carried out in tapes buried in the soil which favor water conservation and increase significantly crop production and quality^(5,6). This irrigation system allows avoiding both, water saturation in soils, and stress due to moisture deficit in crops before the next watering. These conditions are common in border, or surface, irrigation. Moisture deficit produces closing of the stomas, reducing transpiration and CO₂ assimilation, therefore resulting in lower dry matter production⁽⁷⁾.

Alfalfa growth is affected by low oxygen concentration in soil, caused by great water saturation in surface irrigation. The opposite happens when water is applied in response to crop evapotranspiration (ET), owing to a direct relationship between dry matter production and evapotranspiration⁽⁸⁾. SSD allows 30 to 50 % water saving with respect to surface and sprinkler irrigation, since uses low water volumes⁽⁹⁾ and that border irrigation shows greater losses due to deep percolation and evaporation. In SSD the soil surface remains practically dry, reducing direct evaporation and weed proliferation^(3,10). Recent studies on ET show that it is 81 mm greater in surface than in subsurface drip systems⁽¹¹⁾.

Changes in crop yield are dependent on surface soil moisture uniformity and soil moisture

de agua de 30 y 50 % con respecto al riego por aspersión e inundación, debido que la aplicación de agua en el RGS es de bajo volumen⁽⁹⁾, además de que la pérdida de agua por evaporación directa del suelo y por percolación profunda es mayor en el sistema de inundación; en el RGS la capa superior del suelo permanece prácticamente seca, disminuyendo la evaporación directa desde el suelo y la proliferación de malezas^(3,10). Estudios recientes de la evapotranspiración, demostraron que ésta fue 81 mm mayor en los goteros superficiales con respecto los subsuperficiales⁽¹¹⁾.

La variación en los rendimientos de los cultivos depende de la uniformidad de la humedad en la superficie y la variación del contenido de humedad del suelo⁽¹²⁾. El RGS permite una alta eficiencia en el uso del agua, con un ahorro del 46 % en el volumen utilizado y un incremento de forraje seco en la alfalfa del 33 % con respecto al riego por inundación⁽¹³⁾. Entre las ventajas adicionales que ofrece este sistema se encuentra la aplicación de agroquímicos por medio de inyección; permitiendo ahorro en mano de obra y un mejor aprovechamiento de los nutrimentos por el cultivo^(14,15). El objetivo de esta investigación fue analizar la producción de materia seca, lámina de agua aplicada y eficiencia en el uso del agua con riego subsuperficial y por gravedad en el cultivo de alfalfa.

La Comarca Lagunera se ubica entre los meridianos 101° 41' y 104° 61' de longitud oeste y los paralelos 24° 59' y 26° 53' de latitud norte. Cuenta con una extensión montañosa y una superficie plana donde se localizan el área agrícola, así como la zona urbana. La extensión territorial asciende a 47,887 km² y está a 1,100 msnm. Su clima es seco desértico, con lluvias en verano e invierno fresco. La humedad relativa en la región varía, 31 % en primavera, 47 % en verano, 58 % en otoño y 40 % en invierno. La precipitación pluvial media anual es de 258 mm y la evaporación media total es de 2,000 mm anuales, lo que hace que la relación precipitación - evaporación sea de 1:10; la temperatura media anual es de 21 °C con intervalos de 33.7 °C como máxima, y 7.5 °C como mínima. Las heladas se presentan de noviembre a marzo, aunque en algunas ocasiones se presentan en forma

variación⁽¹²⁾. SSD allows for high efficiency in water use, saving 46 % of water volume and increasing dry alfalfa yield by 33 % when referred to border irrigation⁽¹³⁾. Among the additional advantages provided by SSD, agrochemicals can be applied in the water flow, reducing labor requirements and favoring nutrient consumption efficiency^(14,15). The objective of the present study was to analyze dry matter production, irrigation depth and water use efficiency in both SSD and surface irrigation for producing alfalfa.

The Comarca Lagunera is located between 101° 41' W and 104° 61' W longitude and 24° 59' N and 26° 53' N latitude. Its surface shows mountain ridges and flat surfaces where agriculture is carried out and population centers are located. Total area amounts to 47,887 km² at 1,100 m asl. Its climate is characterized as dry desert with summer rainfall and cold winters. Moisture varies between 31 % in spring, 47 % in summer, 58 % in autumn and 40 % in winter. Average annual rainfall is 258 mm and average total evapotranspiration totals 2,000 mm, therefore the rainfall:ET ratio is 1:10. Average annual mean temperature is 21 °C, average high temperature 33.7 °C and average low temperature 7.5 °C. Frosts are common between November and March, although in some years frosts begin in October and in others end in April⁽¹⁶⁾. Water availability at the local Irrigation District totals a 2,530 million m³ water volume, of which 1,278 are provided by surface sources and 1,252 by subterranean sources. Surface water resources, mainly from the Nazas river, are stored chiefly in two dams, "Lázaro Cárdenas" and "Francisco Zarco", having 3,343 and 438 million m³ storage capacity, respectively⁽²⁾. Crop production uses 86.4 % of available water, animal production 2.8 %, and the remainder is used by other activities. Subterranean water is pumped from 2,502 deep wells, causing a 1.7 m annual depletion on average of the water table and 1,252 million m³ of pumped water are used in agriculture⁽¹⁷⁾.

The present study was carried out between January and December 2004 at "El Cercado", a small farm located at km 7.5 of the old Torreón - San Pedro road. The SSD system was set in 2 ha of the

temprana en octubre y de forma tardía en el mes de abril⁽¹⁶⁾. El Distrito de riego cuenta con un volumen total de agua disponible que en promedio alcanza 2,530 millones de m³, de los cuales 1,278 corresponden a fuentes de agua superficiales y 1,252 a fuentes subterráneas. Los volúmenes de agua superficial son aprovechados en la agricultura por medio de obras de almacenamiento entre las que destacan las presas “Lázaro Cárdenas” y “Francisco Zarco”, con una capacidad total de almacenamiento de 3,343 y 438 millones de m³, ambas almacenan agua del río Nazas⁽²⁾. La distribución aproximada por uso del volumen total es de 86.4 % para la agricultura, 2.8 % para la actividad pecuaria y el resto es utilizado en otras actividades. El agua subterránea que es utilizada en la agricultura asciende a un volumen total anual de 1,252 millones de m³ extraídos mediante la explotación de aproximadamente 2,502 pozos profundos en toda la región y que provocan un abatimiento anual promedio de 1.7 m⁽¹⁷⁾.

El trabajo se realizó en los meses de enero a diciembre del 2004 en la pequeña propiedad “El Cercado”; ubicada en el km 7.5 de la antigua carretera Torreón - San Pedro. El sistema de riego por goteo subsuperficial se estableció en una superficie de 2 ha, donde el suelo se caracteriza por una textura franco arcillo arenosa (Cuadro 1): la cual fue determinada por el método del Hidrómetro de Bouyoucos, en el laboratorio del Instituto Tecnológico de Torreón (ITT). Antes de la siembra se eligieron seis puntos de muestreo al azar en el lote experimental, donde se tomaron muestras de suelo a profundidades de 0-30 y 30-60 cm; posteriormente se formaron tres muestras compuestas para cada profundidad y se determinó la densidad aparente (Da), capacidad de campo (CC) y punto de marchites permanente (PMP), estas características fueron determinadas con el método de la parafina y el de la olla de presión. La siembra se realizó en suelo seco el 21 de enero 2004, con el híbrido WL 712 en una densidad de siembra de 40 kg ha⁻¹ de semilla peletizada. Posteriormente se aplicó el riego de siembra por gravedad para lograr la germinación a todos los tratamientos. La cosecha se realizó en forma manual en cada unidad experimental al inicio de floración

property and soils in this area can be characterized as having a clay sandy loam texture (Table 1), determined through a Bouyoucos hydrometer at the Instituto Tecnológico de Torreón (ITT) laboratory. Prior to planting, six sampling points were set at random in the experimental plot, and soil samples were taken in each spot at 0-30 cm and 30-60 depths and later three samples for each depth were prepared by mixing. Apparent density (AD), field capacity (FC) and wilting point (WP) were determined through the paraffin and pressure cooker method. Planting was carried out by setting pelletized seeds of the WL 712 alfalfa hybrid at a density of 40 kg ha⁻¹ in dry soil on January 24, 2004. Afterwards, soil was watered by flooding to foster germination in all treatments. Harvest was performed by hand in each experimental unit at beginning of flowering, and fresh weight was recorded. Dry matter was determined by sampling cut forage and drying the sample in a Binder forced air stove model BD at 60 °C until constant weight.

Evaluated treatments were three distances, 0.8, 0.9 and 1.0 m, between irrigation tapes buried at 0.4 m. Surface irrigation was used in control plots. A completely randomized block experimental design with four replications was used. Area of each experimental unit was 1,200 m². Flow rate in tapes was 3 L h⁻¹ m⁻¹, and 0.25 mm wide emitters were spaced at 0.3 m. Assessed variables were dry matter

Cuadro 1. Propiedades físicas del suelo en el lote experimental

Table 1. Soil physical properties in the experimental plot

| Physical characteristics | Layer (cm) | |
|--------------------------|------------|-------|
| | 0-30 | 30-60 |
| Sand, % | 16.04 | 10.76 |
| Lime, % | 45.28 | 52.56 |
| Clay, % | 38.68 | 36.68 |
| AD, gr cm ⁻³ | 1.3 | 1.3 |
| Water saturation, % | 41 | 42 |
| FC, % | 37.8 | 37.5 |
| PWP, % | 21.6 | 20.4 |

AD= apparent density; FC= field capacity; PWP= permanent wilting point.

del cultivo para cada corte, y se registraron los pesos de forraje en verde. Para calcular la materia seca se tomó una muestra y se secó en estufa de aire forzado marca Binder modelo BD a 60 °C hasta alcanzar peso constante.

Los tratamientos evaluados fueron tres separaciones de cinta de riego 0.8, 0.9 y 1.0 m a una profundidad promedio de 0.4 m y un testigo de riego por gravedad. El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con cuatro repeticiones con unidades experimentales de 1,200 m². El gasto de la cinta fue de 3 L/h por metro lineal, con orificios espaciados a 0.30 m y de un espesor de 0.25 mm. Las variables evaluadas fueron rendimiento de materia seca, lámina de riego aplicada y eficiencia en el uso del agua. El volumen de agua aplicada en el sistema de goteo subsuperficial, fue registrado con un medidor volumétrico de una capacidad de 1 a 5 L/segundo, instalado en la tubería principal del sistema de riego. Para la aplicación de láminas y tiempos de riego en el sistema de RGS se utilizó la ecuación de Boswell⁽¹⁸⁾ modificada al sistema métrico decimal y se expresa como: $Tr = [(S * E_t) / (Q * E_a)]$. Donde: T_r =tiempo de riego en horas, S =separación de cintas en metros, E_t =evapotranspiración del cultivo metros día⁻¹, Q =gasto de la cinta por metro lineal en metros cúbicos por hora y E_a =eficiencia de aplicación. La evapotranspiración del cultivo fue estimada con la evaporación de un tanque tipo "A" multiplicada por un coeficiente de 0.75^(19,20). Una vez calculados los tiempos de riego para cada tratamiento, estos fueron programados en un controlador tipo "timer", para obtener una mejor precisión de los inicios y paros del sistema, auxiliándose también con válvulas tipo solenoides en las secciones de riego. La eficiencia del uso del agua (eua) definida como la producción de materia seca por unidad de volumen de agua aplicada (kg m⁻³), fue calculada para cada uno de los tratamientos y se realizaron los análisis de varianza entre cada corte, así como la producción total de biomasa de los siete cortes y el volumen total de agua aplicado. Para estimar el consumo promedio diario de agua por el cultivo en ambos sistemas de riego, se utilizó el método de regresión lineal simple y se correlacionó los días después de siembra *versus* lámina de agua aplicada, y lámina evaporada de un

yield, water application depth and water use efficiency. Water volume applied in the SSD treatments was measured with a volumetric gauge having 1 to 5 L sec⁻¹ capacity, installed in the main pipe of the irrigation system. Boswell's equation⁽¹⁸⁾ adapted to the metric system and expressed as $Tr = [(S * E_t) / (Q * E_a)]$ was used for estimating water application depth and watering times for SSD; where Tr =watering time period, S =distance between tapes in meters, E_t =crop evapotranspiration as m d⁻¹, Q =flow rate in tapes as m³ h⁻¹ m⁻¹ and E_a =water application efficiency. Evapotranspiration was estimated through evaporation in a type "A" tank multiplied by a 0.75 coefficient^(19,20). Once the time periods for each treatment were determined, these were fed to a timer type controller for obtaining greater precision, aided by solenoid type valves in each irrigation section. Water use efficiency (WUA), that can be defined as the amount of dry matter produced by each applied water volume unit (kg m⁻³), was estimated for each treatment, and variance analyses were performed between cuts, as well as for total biomass production and total applied water volume. For estimating daily average water consumption in both irrigation systems, a simple regression method was used and days after planting were correlated *vs* water application depth, and water depth evaporated in a type "A" tank placed *in situ*. This depth was recorded only between the first and seventh cuts. The model can be expressed as $Y_{ij} = \beta_1 X_i + \beta_0 + e_{ij}$, where Y_{ij} =applied depth in cm, X_i = days after planting, β_1 =straight line slope in cm d⁻¹, β_0 =intercept at origin in cm and e_{ij} =errors of model with zero average and variance equal to one. For differentiating models statistically, β_1 parameters (straight line slope or daily average water use) were compared through Student's "t" ($P=0.05$) test, estimated in two periods, from planting to first cut (crop establishment) and from the first to the seventh cut.

Dry matter production from planting to first cut was performed on d 103, and average yield for the three tape distances was 4.66 t ha⁻¹, presenting a 2.12 t ha⁻¹ statistical difference in respect of control yield which was 2.54 t ha⁻¹, or 83 % less. When comparing yield differences between tape distances,

tanque tipo “A” ubicado *in situ*, esta lámina fue solo registrada del primero al séptimo corte. El modelo se expresa como: $Y_{ij} = \beta_1 X_i + \beta_0 + e_{ij}$ donde Y_j = lámina aplicada (cm); X_i = días después de siembra; β_1 = pendiente de la recta (cm día⁻¹); β_0 = intercepto en el origen (cm) y e_{ij} = errores del modelo con media cero y varianza uno. Para diferenciar los modelos estadísticamente, se compararon los parámetros β_1 pendiente de la recta o consumo promedio diario, mediante una prueba de “t” ($P=0.05$) de Student, lo anterior fue realizado en dos etapas: desde la siembra hasta el primer corte, conocida como establecimiento del cultivo y del primero al séptimo corte.

La producción de materia seca desde la siembra al primer corte, se realizó a los 103 dds, el rendimiento medio de las tres separaciones de cinta fue de 4.66 t ha⁻¹, se encontró una diferencia estadística de 2.12 t con respecto al riego por gravedad que fue de 2.54 t, y que representó un 83 % más de forraje seco. En las separaciones entre cintas, los resultados obtenidos, mostraron una relación lineal con tendencia negativa con respecto a la separación de las cintas de riego; es decir a mayor separación menor producción. De esta forma el menor rendimiento de 3.88 t ha⁻¹ fue para la separación de 1.0 m y el mayor de 5.57 t fue para la separación de 0.8 m, ($P<0.05$); en las separaciones de 0.9 y 1.0 m se encontraron rendimientos estadísticamente iguales, sin embargo, estos fueron superiores al obtenido en el sistema de riego por gravedad (Cuadro 2). Este comportamiento se explica por el estrés hídrico generado en la planta debido a la menor disponibilidad de agua, provocado por la mayor distancia de las raíces de la planta hacia los puntos de emisión de la cinta^(21,22), y se manifiesta también en la estructura del dosel del cultivo: éste presenta una apariencia de “ondas” que se generan por la diferencia de alturas entre plantas, las cuales, son de mayor altura en los puntos de emisión de la cinta y de menor altura en las plantas ubicadas en el centro entre la separación de las hileras. Para suelos francos se recomienda una separación de 0.8 m entre cintas y se sugiere modificar la separación para otras texturas⁽²³⁾; mientras que otros⁽²²⁾ reportan efectos en rendimiento de alfalfa por la separación de la cinta y no por la profundidad,

results showed a linear relationship with negative trend in respect of tape distance, that is to say, fewer yields at greater distance. Like this, the lower yield, 3.88 t ha⁻¹, corresponded to 1.0 m distance and the greater, 5.57 t ha⁻¹, was found at 0.8 m distance ($P<0.05$). Between 0.9 m and 1.0 m tape distances were similar, however, yields in these treatments were greater than in control (Table 2). This can be explained through hydric stress in plants owing to greater distance from roots to emitters in tapes^(21,22) that can be seen in crop canopy structure, as waves due to difference in plant height between plants, higher near tapes and lower at the middle distance between tapes. In loams, a 0.8 m distance between tapes is recommended, which should be changed for other soil textures⁽²³⁾. Other authors⁽²²⁾ report effects on alfalfa yield due to distance between tapes and not for depth, reporting dry matter yields up to 12.75 t ha⁻¹ dry for four cuts, at 1.0 m distance between tapes buried at a 0.45 m depth.

Water use efficiency in crop establishment varied in function of tape distance and irrigation system. Distances of 0.8 and 0.9 m were non significant ($P>0.05$) with values of 1.13 and 0.92 kg m⁻³, respectively (Table 2). In reference to border irrigation, water use efficiency was 0.51 kg m⁻³ on average, lower than 0.94 kg m⁻³ found for SSD,

Cuadro 2. Comparación de medias de rendimiento en materia seca y eficiencia en el uso de agua de la siembra al primer corte

Table 2. Comparison between average dry matter yield and water use efficiency from planting to first cut

| Treatments | Dry matter (t ha ⁻¹) | WUE (kg m ⁻³) |
|-------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 0.8 m | 5.57 a | 1.13 a |
| 0.9 m | 4.54 ab | 0.92 a |
| 1.0 m | 3.88 b | 0.79 b |
| Border irrigation | 2.54 c | 0.51 c |
| SSD | 4.99 a | 0.94 a |
| VC, % | 11.9 | 12 |
| vase | 0.494 | 0.1 |

WUE= Water use efficiency; SSD= Subsurface drip irrigation; VC= Variation coefficient; vase= Square root of the mean square error.

abc Values with the same letter are not different ($P=0.05$).

con rendimientos de hasta 12.75 t ha^{-1} de materia seca para cuatro cortes de alfalfa, en separaciones de cinta de 1.0 m y 0.45 m de profundidad.

La eficiencia en el uso del agua durante el establecimiento del cultivo, los cocientes obtenidos variaron en función de la separación de cintas y tipo de sistema de riego, las separaciones de 0.8 y 0.9 m fueron iguales ($\alpha = 0.05$) con valores de 1.13 y 0.92 kg m^{-3} (Cuadro 2). Con respecto al sistema de gravedad, la media obtenida fue de 0.51 kg m^{-3} y fue menor a la media encontrada en RGS de 0.94 kg m^{-3} , lo que indica que con el mismo volumen de agua, se produjo en el primer corte 84 % más de forraje con el sistema de riego subsuperficial. Trabajos previos realizados en Wadsworth, Nevada durante 1984 y 1985⁽²⁴⁾ indican que para producir una tonelada de materia seca de alfalfa, se requieren de 15.5 a 21.3 cm t^{-1} de lámina de riego. En el presente trabajo la separación de 0.8 m entre cintas, requirió de 8.8 cm t^{-1} para la producción del primer corte, mientras que para el riego por gravedad fue de 19 cm t^{-1} . Trabajos desarrollados con RGS durante 1997 y 1998 reportan eficiencias del uso del agua de 4.9 a 16.8 cm t^{-1} de materia seca, con diferencias estadísticas entre los ciclos del cultivo⁽²⁵⁾.

De la siembra al primer corte, se aplicaron siete riegos en el sistema por gravedad: el primero un día después de la siembra (dds), y posteriores a los 9, 15, 24, 34, 53 y 79 dds, con una lámina de agua acumulada de 50 cm. En el sistema subsuperficial fueron seis por gravedad: el primero un día después de la siembra, y posteriores a los 9, 15, 24, 34 y 53 dds con una lámina de 38 cm; y durante los 23 a los 91 dds se aplicó una lámina de 12 cm con subsuperficial, la cual fue aplicada en promedio, cada tercer día, con tiempos de 2 a 4 horas.

Los modelos de regresión obtenidos desde la siembra al primer corte, se presentan en la Figura 2. En el análisis de varianza, los modelos resultaron altamente significativos $t(P=0.01)$ con coeficientes de determinación (R^2) de 0.96 y 0.99 para subsuperficial y gravedad. El consumo promedio diario fue de 0.55 cm día^{-1} en gravedad y 0.43 cm

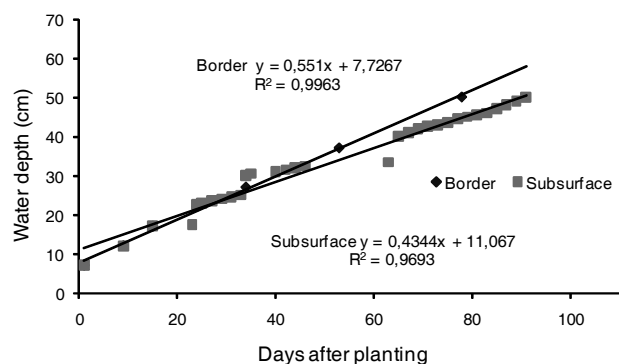
therefore 83 % more forage can be obtained with this system than with border for the same water consumption. In studies carried out at Wadsworth, Nevada, USA⁽²⁴⁾, it is mentioned that between 15.5 and 21.3 cm t^{-1} water depth is required for producing 1 t of dry matter in alfalfa. In the present study, only 8.8 cm t^{-1} were required with SSD tapes distanced at 0.80 m in the first cut, while 19.0 cm t^{-1} were required in border irrigation for producing the same amount of dry matter. Other studies on SSD carried out in 1997 and 1998⁽²⁵⁾ report water use efficiencies between 4.9 and 16.8 cm t^{-1} , showing statistical differences.

Between planting and first cut, seven watering were carried out in border irrigation at 1, 9, 15, 24, 34, 53 and 79 d after planting, and accumulated water depth totaled 0.5 m. In SSD six border watering were performed at 1, 9, 24, 34 and 53 d after planting, totaling a 0.38 m water depth and from d 53 to 91, subsurface drip watering were applied between 2 and 4 h every other day, totaling a 0.12 m water depth.

The regression models obtained from planting to first cut are shown in Figure 2. Models were highly significant in variance analysis, $t(P=0.01)$, and determination coefficients (R^2) obtained were 0.96

Figura 1. Láminas de agua acumuladas en riego subsuperficial y por gravedad en alfalfa durante su establecimiento

Figure 1. Accumulated applied water depth in both subsurface drip and border irrigation systems in alfalfa establishment



día⁻¹ en RGS, ($P > 0.05$) (Cuadro 3). Trabajos elaborados en los ciclos de 1999 y 2000 en el estado de Kansas, EE.UU. reportan promedios diarios de 0.38 y 0.4 cm día⁻¹ con RGS⁽²²⁾. Para el valle de Santo Domingo, BCS, se reportan consumos de 0.2 a 0.3 cm día⁻¹ durante los meses de enero a marzo y hasta 0.7 cm día⁻¹ en julio en la alfalfa, e indican que estas variaciones dependen del clima, variedad, tamaño y densidad de plantas⁽²³⁾.

Del segundo al séptimo, los cortes se realizaron a los 125, 156, 187, 248, 278 y 308 dds. En el Cuadro 4 se presenta el comportamiento de los rendimientos de la materia seca para cada tratamiento; en el segundo corte los rendimientos en el sistema de RGS fueron más estables e iguales, el más alto de 4.5 t ha⁻¹ se obtuvo en la separación de 0.9 m y una media de 4.09 t ha⁻¹ con RGS que resultó superior al rendimiento obtenido en el

and 0.99 for SSD and border irrigation, respectively. Average daily water consumption was 0.55 and 0.43 cm d⁻¹ for border and SSD, respectively. Comparison between these slopes was not significant (Table 3). Studies carried out at Kansas, USA report an average daily consumption between 0.38 and 0.4 cm for SSD in alfalfa. In a study carried out at the Santo Domingo Valley, BCS, Mexico, average daily water consumption was between 0.2 and 0.3 cm from January to March and up to 0.7 cm in July, and mention that these variations are due to climate, variety and plant size, and density.

The second cut was performed on d 125 after planting, the third on d 156, the fourth on d 187, the fifth on d 248, the sixth on d 278 and the seventh on d 308. Dry matter yield performance for each treatment can be seen in Table 4. In the second cut, dry matter yield in the SSD treatments

Cuadro 3. Comparación de pendientes de los modelos de aplicación de agua obtenidos en riego por gravedad y subsuperficial de la siembra al primer corte

Table 3. Slope comparison in water application models in subsurface drip system (SSD) and border irrigation systems between planting and first cut

| Model | SE β_1 | Slope | tc | t |
|-------------------------|--------------|------------------------------|---------|------|
| $Y_s = 0.434X + 11.067$ | 0.07 | β_{1s} vs β_{1g} | 1.64 ns | 2.45 |
| $Y_g = 0.551X + 7.726$ | 0.015 | | | |

s= SSD; g= border; SE= standard error; tc= estimated t value; t= t value at 0.05 probability; ns= non significant.

Cuadro 4. Comparación de medias de rendimiento en materia seca de alfalfa del segundo al séptimo corte

Table 4. Comparison between dry matter average yields (t ha⁻¹) from the second to the seventh cut

| | Cut | | | | | |
|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|
| | II | III | IV | V | VI | VII |
| 0.8 m | 3.83 a | 3.14 ab | 3.18 a | 2.96 a | 2.95 a | 3.14 a |
| 0.9 m | 4.51 a | 2.83 b | 3.37 a | 3.26 a | 2.42 b | 3.09 a |
| 1.0 m | 3.94 a | 3.52 a | 3.10 a | 3.04 a | 2.67 ab | 2.23 b |
| Border | 2.85 b | 2.71 b | 2.41 b | 1.92 b | 3.01 a | 3.00 a |
| SSD | 4.09 a | 3.16 a | 3.21 a | 3.08 a | 2.68 ab | 2.82 a |
| VC, % | 10.98 | 10.11 | 5.71 | 6.18 | 6.10 | 3.7 |
| vase | 0.416 | 0.308 | 0.172 | 0.172 | 0.168 | 0.106 |

SSD= subsurface drip irrigation; VC= variation coefficient; vase= square root of the mean square error.

abc Values with the same letter are not different (Tukey's test at $P=0.05$).

sistema por gravedad de 2.85 t ha⁻¹, esta diferencia representó 43.5 % más de biomasa. Los rendimientos del tercero, cuarto y quinto corte en el sistema de RGS, fueron en promedio de 3.16, 3.21 y 3.08 t ha⁻¹ y estadísticamente mayores a los obtenidos en riego por gravedad, con valores de 2.71, 2.41 y 1.92 t ha⁻¹; entre las separaciones de cintas el rendimiento más alto fue en la de 1.0 m con 3.52 t ha⁻¹ en el tercer corte, y en la 0.9 m para el cuarto y quinto corte con valores de 3.37 y 3.26 t ha⁻¹. En los cortes seis y siete, los rendimientos resultaron iguales en ambos sistemas de riego, la producción promedio en RGS fue de 2.68 y 2.82 t ha⁻¹ y por gravedad de 3.01 y 3.0 t ha⁻¹, debido posiblemente a las precipitaciones registradas durante estos periodos (45 mm), lo que provocó que los rendimientos se uniformizaran en ambos sistemas de riego; también se presentaron problemas de taponamiento en los orificios de las cintas, principalmente en las separaciones de 0.9 y 1.0 m, para lo cual se aplicó ácido sulfúrico al 3%, lo que puede explicar la sensible baja de producción en estos cortes.

La comparación de medias de materia seca acumulada durante el año correspondiente a siete cortes, se presenta en el Cuadro 5. En RGS fueron producidas 24.08 t ha⁻¹ y por gravedad 18.46 t, la diferencia de 5.62 t, representó un incremento de 30 % más de forraje. Los rendimientos más altos de 24.79 y 24.06 t fueron obtenidos en las separaciones de cinta de 0.8 y 0.9 m, y se encontraron diferencias entre las separaciones de 0.8 y 1.0 m, un rendimiento de 2.4 t ha⁻¹ superior en cintas a 0.8 m, que representó el 9.6 % más de producción entre ambos tratamientos.

La eficiencia en el uso del agua como resultado de la producción acumulada de los siete cortes y lamina total aplicada, se muestra en el Cuadro 5. Las separaciones entre cintas de 0.8 y 0.9 m presentaron resultados iguales con valores de 2.14 y 2.07 kg m⁻³, ambos fueron diferentes al valor de 1.93 kg obtenido en la separación de 1.0 m. En el sistema por gravedad, la eficiencia fue 1.3 kg m⁻³ y menor a la media de las separaciones de cinta, que fue de 2.0 kg. Estos resultados expresados en términos de lámina para la producción de una tonelada de materia

was similar, being the higher 4.5 tm ha⁻¹ at 0.9 cm distance. Average dry matter yield for the three SSD treatments was 4.09 t ha⁻¹, 43.5 % more than the 2.85 t obtained in border irrigation. Yields obtained in the third, fourth and fifth cuts in SSD were on average, 3.16, 3.21 and 3.08 t ha⁻¹, respectively, statistically greater than those obtained in border irrigation, 2.71, 2.41 and 1.92, respectively. For tape distance, the higher yield was found at 1.0 m in the third cut, 3.52 t ha⁻¹, and at 0.9 m, 3.37 and 3.26, in the fourth and fifth cuts, respectively. Yields were similar (*P*>0.05) for both irrigation systems in the sixth and seventh cuts. Yields for SSD were 2.68 and 2.82 t ha⁻¹, respectively and 3.01 and 3.26 t for border, respectively. These results could be due to 45 mm rainfall that fell in that period, which masked differences between irrigation systems. Also, clogs in emitters, especially in the 0.9 and 1.0 m distances, which required treatment with H₂SO₄ at 3 % for unblocking, could have had negative effect.

Comparison between averages of dry matter yield accumulated in the seven cuts is shown in Table 5. Total accumulated average dry matter yield for SSD was 24.08 t ha⁻¹ and for border irrigation 18.46 t, for a difference of 5.62 t between systems, or 30 %. The greater yields were 24.79 t and 24.06 t obtained

Cuadro 5. Comparación de medias de rendimiento en materia seca acumulada y eficiencia en el uso agua en siete cortes de alfalfa

Table 5. Comparison of average accumulated dry matter yield and water use efficiency for seven cuts in alfalfa

| Treatments | Dry matter (t ha ⁻¹) | WUE (kg m ⁻³) |
|-------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 0.8 m | 24.79 ^a | 2.14 ^a |
| 0.9 m | 24.08 ^{ab} | 2.07 ^a |
| 1.0 m | 23.39 ^b | 1.93 ^b |
| Border irrigation | 18.46 ^c | 1.30 ^c |
| SSD | 24.08 ^a | 2.04 ^a |
| VC, % | 3.10 | 3.46 |
| vase | 0.69 | 0.065 |

WUE= water use efficiency; SSD= subsurface drip irrigation; VC= variation coefficient; vase= square root of the mean square error. abc Values with the same letter are not different (*P*=0.05).

seca, corresponden a 4.68, 4.82, 5.18 y 7.52 cm t⁻¹, para los tratamientos de 0.8, 0.9, 1.0 m de separación y el sistema de gravedad. Se reportaron valores de eficiencia de 4.9 a 16.8 cm t⁻¹, durante un periodo de estudio de dos años en alfalfa con RGS(25).

En el sistema por gravedad se aplicó una lámina desde la siembra al séptimo corte de 139 cm: la lámina promedio entre cortes fue de 12 cm, los cuales variaron de acuerdo a las condiciones del clima; en el RGS las aplicaciones de agua fueron en promedio cada tercer día, y variaron de 0.4 a 1.0 cm día⁻¹ con una lámina total de 116 cm, y la evaporación en el mismo periodo fue de 154 cm.

Los modelos de regresión obtenidos en riego subsuperficial, gravedad y evaporación, mostraron una correlación altamente significativa con coeficientes de determinación de 0.96, 0.98 y 0.96 (Figura 2). Con relación a consumo, se encontraron diferencias entre subsuperficial vs gravedad y vs evaporación, no así para gravedad vs evaporación (Cuadro 6); se consumieron 0.299 cm día⁻¹ en subsuperficial y 0.417 cm por gravedad; en un trabajo desarrollado en Kansas USA(22) en los ciclos de 1999 y 2000, se encontraron consumos promedio diarios de 0.38 y 0.4 cm con RGS. Por otra parte, en el modelo de evaporación obtenido, se encontró

at 0.8 and 0.9 m distances, respectively. Significant differences were found for yield between tape distances 0.8 and 1.0 m, 2.4 t ha⁻¹ or 9.6 % greater in 0.8.

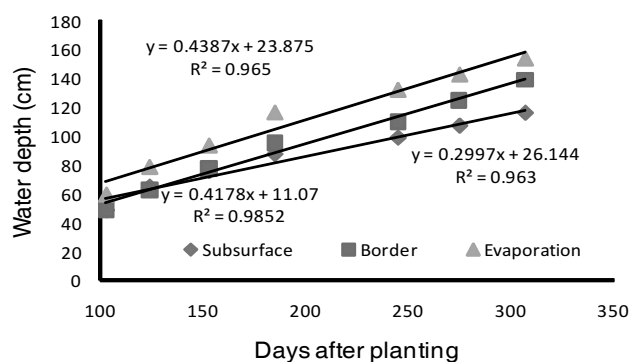
Water use efficiency as a result of accumulated yield in the seven cuts and applied water depth are shown in Table 5. WUE values for 0.8 and 0.9 m tape distances were practically equal, 2.14 and 2.07 kg m⁻³, respectively, although both were significantly different from the 1.93 kg obtained in the 1.0 m distance. In border irrigation WUE was 1.3 kg, lower than the 2.0 kg average for all tape distances. These results expressed as applied water depth needed for producing 1 t of dry matter, are the following, 4.68, 4.82, 5.18 and 7.52 cm t⁻¹ for treatments at 0.8, 0.9 and 1.0 m tape distance and border irrigation, respectively. Values between 4.9 and 16.8 cm t⁻¹ in a two year period were reported for alfalfa under SSD(25).

A 1.39 m water depth was applied in border irrigation for the seven cuts, being 12 cm the average applied water depth between cuts, which varied due to weather. In SSD, water was applied on average every other day and watering varied between 0.4 and 1.0 cm d⁻¹. Total applied water depth in SSD was 1.16 m and evaporation in the same period was 1.54 m.

Regression models obtained for subsurface drip irrigation, border irrigation and evaporation, showed highly significant correlation, with determination coefficients of 0.96, 0.98 and 0.96 (Figure 2).

Figura 2. Láminas de agua acumuladas y evaporada en sistema de riego subsuperficial y por gravedad en el cultivo de alfalfa durante siete cortes

Figure 2. Total applied and evaporated water depth in alfalfa for seven cuts in both subsurface drip and border irrigation



Cuadro 6. Pendientes de los modelos de aplicación de agua y evaporación en riego por gravedad y subsuperficial durante siete cortes

Table 6. Slope in water application and evaporation models in subsurface drip system and border irrigation in seven cuts

| Model | SE β ₁ | Slope | tc | t |
|--------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------|------|
| Y _s =0.299X + 26.14 | 0.027 | β _{1s} vs β _{1g} | 3.38* | 2.45 |
| Y _g =0.417X + 11.07 | 0.022 | β _{1s} vs β _{1e} | 2.97* | |
| Y _e =0.438X + 23.87 | 0.038 | β _{1g} vs β _{1e} | 0.47 ^{ns} | |

e= evaporation; *= statistically significant; SE= standard error; tc= estimated t value; t= t value at 0.05 probability.

que la evaporación promedio diaria fue de 0.438 cm día⁻¹ y al compararlo con los obtenidos en los dos sistemas de riego, se encontró que la lámina promedio diaria en el sistema de gravedad fue inferior en 0.21 mm y de 1.39 mm en RGS. La relación evapotranspiración - evaporación conocida como coeficiente de cultivo (Kc), en el periodo analizado, fue de 0.9 en riego por gravedad y de 0.75 en RGS. Este valor inferior en RGS se explica porque la evaporación directa del suelo es disminuida debido a que su superficie permanece prácticamente seca, y el agua disponible es mejor aprovechada en el proceso de transpiración. El efecto de la profundidad del emisor a 0.15 y 0.3 m en un cultivo de maíz, durante un periodo de 114 días, fue evaluado por Howell *et al*⁽¹⁵⁾ y encontraron que la evaporación fue de 51 mm menor en la profundidad de 0.15 m y de 0.81 mm en la profundidad de 0.3 m, al ser comparada con emisores en la superficie del suelo.

Se concluye que la lámina de riego durante el establecimiento del cultivo fue igual en riego subsuperficial y por gravedad. Sin embargo, el rendimiento de materia seca al primer corte y la eficiencia en el uso del agua fueron superiores en RGS. En el primer corte la producción de materia seca estuvo asociada inversamente a la separación de las cintas de riego, es decir, a menor separación mayor producción. Los modelos obtenidos de agua aplicada por gravedad y RGS, mostraron un alto coeficiente de determinación, pero no se encontraron diferencias entre los consumos de agua diarios en el establecimiento. La producción de materia seca acumulada en los siete cortes y la eficiencia de uso de agua fue mayor en RGS, y los más altos rendimientos se obtuvieron en la separación de 0.8 m. En los modelos de agua aplicada y evaporada del primero al séptimo corte, los consumos diarios de agua fueron menores en el sistema de RGS y no se encontraron diferencias entre la lámina diaria evaporada y lámina aplicada por gravedad.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del Sr. Salvador Álvarez Díaz productor cooperante por las facilidades y

Comparisons between daily uses are shown in Table 6 and significant differences were found for subsurface drip *vs* border and *vs* evaporation, but not so for border *vs* evaporation. Water use was 0.229 cm d⁻¹ in SSD and 0.417 cm in border irrigation. In a study carried out in Kansas⁽²²⁾, USA, in 1999 and 2000, average water consumption for SSD went from 0.38 to 0.4 cm d⁻¹. On the other hand, the evaporation model shows that average daily evaporation was 0.438 cm d⁻¹ that when compared to the average daily applied water depth was 0.21 mm less in border irrigation and 1.39 mm in SSD. The lower value found in SSD is due to the fact that soil surface remains dry in this irrigation system, thus reducing evaporation and allowing therefore, better transpiration. Emitter depth effect at 0.15 and 0.3 m in maize in a 114 d period was assessed by Howell *et al*⁽¹⁵⁾ who reported that evaporation was 51 mm less at 0.15 m and 0.81 mm less at 0.3 than when emitters were placed in soil surface.

It can be concluded that water depth applied at crop establishment was the same in both irrigation systems. However, dry matter yield in the first cut and water use efficiency were greater in SSD. In the first cut, dry matter yield was inversely linked to distance between tapes, that is to say, at greater distance, fewer yields and vice versa. Models obtained for applied water depth in both SSD and border irrigation, showed a high determination coefficient, but no difference was found for daily water consumption during crop establishment. Both, accumulated dry matter yield for the seven cuts, and water use efficiency were greater in SSD and the higher yields were found in the 0.8 m distance. In models of applied water from the first to the seventh cut, daily water consumption was lower in SSD, and daily applied water depth between both irrigation systems was similar.

ACKNOWLEDGMENTS

To Mr. Salvador Alvarez, cooperative producer and owner of the property where this study was performed for his constant support, and Ing. Jesús

apoyos proporcionados para la realización del presente trabajo; así como al Ing. Jesús Castruita López responsable técnico de dicho predio por su colaboración en el manejo del cultivo.

Castruita López, technical advisor to this farm, for his efficient collaboration in crop management.

End of english version

LITERATURA CITADA

1. Centro de Estadística Agropecuaria. Sistema de información agropecuaria de consulta (Ver 1.1 SIACOM). 2001.
2. SAGARPA. Anuario Estadístico de la Producción Agropecuaria en la Región Lagunera. Lerdo, Durango. 2006.
3. Godoy AC, Torres ECA, Reyes JI, Valdez RVM. Sistemas de irrigación y eficiencia en el uso del agua. Informe técnico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Matamoros, Coahuila. 1998.
4. Inzunza IMA. Requerimientos hídricos de la alfalfa en la fase productiva. Demostración técnica de riegos en alfalfa. SARH, INIFAP CENID- RASPA. Gómez Palacio, Durango. 1996.
5. Camp CR, Lamb FR, Evans RG, Phene CJ. Subsurface drip irrigation -Past, Present, and Future. 4th Decennial Nat Irrigation Symp. Phoenix, AZ. 2000:676.
6. Camp CR. Subsurface drip irrigation: A review. Trans ASAE 1998;41(5):1353-1367.
7. Clark GA, Smaistra AG. Design considerations for vegetable crop drip irrigation systems. Hort Technol 1996;(6):155-159.
8. Sheaffer CC, Tanner CB, Kirkhan MB. Alfalfa water relations and irrigation. Agronomy 1988;(29):373-409.
9. Barth HK. Resource conservation and preservation through a new subsurface irrigation system. Microirrigation for changing world: Conserving resources/ Preserving the environment. Proceed Fifth Intern Microirrigation Cong. Orlando, Florida. 1995:168-174.
10. Montemayor TJA, Aguirre AHW, Huerta RA, Olague RJ, Castruita LJ. Consumo de agua en la alfalfa durante el establecimiento con riego subsuperficial [resumen]. XVII Semana Internacional de Agronomía. Gomez Palacio Dgo. 2005:417-420.
11. Steven RE, Howell TA, Schneider AD. Energy and water balances for surface and subsurface drip irrigated corn. Microirrigation for changing world: Conserving resources/ Preserving the environment. Proceed Fifth Internat Microirrigation Cong. Orlando, Florida. 1995:135-140.
12. Munk D, Hutmacher B. Pre-Plant irrigation in a water short year. California Cotton Rev. Univ California, Coop Ext. USA. 2001:61.
13. Godoy AC. Problemas asociados con la disponibilidad del agua. In: Tecnología de riego en nogal pecanero. Libro científico N°1. Primera ed. INIFAP. CIFAP - Comarca Lagunera. 2000:43-48.
14. Phene CJ, Davis KR, Hutmacher RB, McCormick RL. Advantages of subsurface irrigation for processing tomatoes. Acata Horti 1987;(200):101-103.
15. Howell TA, Schneider AD, Stewart BA. Subsurface and surface micro irrigation of corn - U. S. Southern high plains. Micro irrigation for a changing world: conserving resources/preserving the environment. Proceed Fifth Internat Microirrigation Cong. Orlando, Florida. 1995:375-381.
16. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Kopen. UNAM - Instituto de Geografía. México DF. 1973.
17. Comisión Nacional del Agua. Programa hidráulico regional 2002 - 2006. Región VII. Cuencas Centrales del Norte. Resumen ejecutivo. México, DF. 2004.
18. Boswell JM. Microirrigation design manual. Fourth ed. El Cajon, CA USA: Hardie Industries; 1990.
19. 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, FAO. Roma. 1974:(24).
20. Locascio SJ, Smajstrla AG. Fertilizer timing and pan evaporation scheduling for drip irrigated tomato. Micro irrigation for a changing world: Resources / Preserving the Environment. Proceed Fifth Internat Microirrigation Cong. Orlando, Florida. 1995:175-180.
21. Clark GA, Stanley CD, Zazueta FS. Qualitative sensing of water movement from a point- source emitter on sandy soil. Eng in Agr 1993;(9)3:299-303.
22. Mahbub-ul A, Todd T, Steven S, Danny R. Subsurface drip irrigation for alfalfa. Am Water Res 2002;(38):1715-1721.
23. Meza CJA, Navejas JJ. Tecnología para producir alfalfa con riego por goteo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noroeste. 2002.
24. Jensen EH, Miller WW. Effect of irrigation on alfalfa performance. Univ Nevada. Coop Ext. Fact Sheet. 1988:88-20.
25. Jerry N, Jay D, Don B. Subsurface drip irrigation of alfalfa in Nevada. California/Nevada Alfalfa Symposium. Nevada Coop Ext, Univ Nevada. Reno Nevada. 1988.