inifap

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA EN RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA

CENID-RASPA

PRODUCCIÓN DE ALFALFA CON RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL O SUBTERRÁNEO

Una opción para regiones con escasa disponibilidad de agua

M. C. Miguel Rivera González Dr. Juan Estrada Ávalos Dr. Ignacio Orona Castillo Dr. Ignacio Sánchez Cohen

SBN:968-800-586-X

Folleto Científico No. 13

Editor: Ing. Raquel Anguiano Gallegos

PRODUCCIÓN DE ALFALFA CON RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL O SUBTERRÁNEO

Una opción para regiones con escasa disponibilidad de agua

Miguel Rivera González Juan Estrada Avalos Ignacio Orona Castillo Ignacio Sánchez Cohen Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera.

Km 6.5 margen derecha Canal Sacramento Gómez Palacio, Durango. México. Apdo. Postal 41 35150 Cd. Lerdo, Dgo. Teléfonos y Fax: 01 (871) 719-10-76, 719-10-77 y 719-11-34 e-mail: cenid.raspa@inifap.gob.mx

El contenido de esta publicación podrá reproducirse total o parcialmente con fines específicos de divulgación, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente a los autores, al CENID-RASPA y al INIFAP.

ISBN: 968-800-586-X

Presentación

El agua es el elemento esencial para el desarrollo de los procesos fisiológicos de todo ser vivo. Constituye el medio primario para las reacciones químicas y el movimiento de sustancias a través de las diversas partes de las plantas. Este recurso natural es el primer factor que determina el rendimiento de los cultivos; así, un cultivo sin humedad cerrará sus estomas, enrollará sus hojas reduciendo el crecimiento de sus partes afectando notablemente al rendimiento. El objetivo del riego es proveer de agua a los cultivos en cantidad adecuada para evitar daños que repercutan en la disminución del rendimiento. Los productores deben entonces obtener respuestas a los siguientes aspectos: cómo regar, cuánto regar y cuándo regar.

Por otro lado, ante la incertidumbre climática común a las regiones agrícolas del país, el incremento en la productividad de la poca disponibilido de agua para riego, hacen de esta variable el paradigma de la agricultura moderna. De ahí que la tecnificación del riego adquiera relevancia sobre todo en aquellos cultivos de alto requerimiento hídrico como la alfalfa.

El riego subterráneo o subsuperficial constituye una alternativa ecológicamente sustentable, técnicamente factible y económicamente viable. Entre otras ventajas con respecto al riego tradicional, se encuentra que no impide las labores agronómicas durante el riego, menor incidencia de plagas, malezas y enfermedades e incremento en rendimiento y produtividad del agua.

La presente publicación tiene el objetivo de proveer información básica sobre diseño y operación de esta modalidad del riego en el cultivo de la alfalfa a los investigadores, técnicos y productores interesados en incursionar en la tecnificación del riego; señala también algunos aspectos a observar durante el proceso de instalación y propone un método de calendarización del riego, que en su conjunto. optimizan el uso del agua.

Dr. Ignacio Sánchez Cohen Director del CENID-RASPA

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
Desarrollo histórico	2
Movimiento del agua en el suelo	3
Comparación del riego por goteo subsuperficial y el	
superficial	3
Diseño hidráulico	4
Componentes principales de un sistema de riego	
por goteo subsuperficial o subterráneo	4
Características hidráulicas de las líneas	
regantes	6
Relación carga-gasto	6
Coeficiente de variación del gasto del emisor	7
Longitud máxima de las líneas regantes	9
Tipo de líneas regantes en riego por goteo	
subsuperficial	12
Selección del gasto del emisor	12
Espaciamiento entre emisores y regantes	14
Profundidad de instalación de las líneas regantes	15
Preparación del suelo e instalación de las	
regantes	17
Pendiente del terreno	18
Cuándo y cuánto regar	20
Necesidades de filtración	21
Riesgo de taponamiento físico	21
Riesgo de taponamiento biológico	22
Evaluación del sistema de riego	23
Producción de alfalfa y eficiencia en el	00
aprovechamiento del agua	26
Conclusiones	30
Agradecimientos	30
Literatura citada	31

CENID-RASPA

INTRODUCCIÓN

La alfalfa es la principal especie forrajera que se produce en todo el mundo. En México se cultivan alrededor de 338 mil hectáreas. con un rendimiento medio nacional de 75.6 toneladas de forraje verde por hectárea al año (Centro de Estadística Agropecuaria, 2001), en la Región Lagunera (estados de Durango y Coahuila) se siembran anualmente más de 36 mil ha con un rendimiento medio regional similar al nacional de 73.5 t ha-1 (SAGARPA, 2001). Los principales problemas que se tienen con este cultivo en la región son: baja producción, corta vida productiva (no más de 3 años) y alto consumo de agua en riego por gravedad, que son alrededor de 175 cm de lámina de riego promedio por año para predios de pequeños propietarios (Cantú, 2001) y de 270 cm por año para algunos módulos de riego (Cruz y Levine, 1998). Una de las estrategias para aumentar la eficiencia en el uso del agua es la utilización de sistemas de riego más eficientes como lo es el riego por goteo subsuperficial o subterráneo, el cual se define como la aplicación del agua bajo la superficie del suelo a través de emisores, con tasas de descarga generalmente en el mismo rango que el riego por goteo superficial (ASAE, 1996). Los trabajos realizados en la Región Lagunera por el CENID-RASPA durante los últimos años, han mostrado las bondades de este sistema de riego para la producción de alfalfa.

El objetivo principal del presente folleto es dar a conocer a los productores, técnicos e investigadores la experiencia del CENID-RASPA en riego por goteo subsuperficial para la producción de alfalfa, complementada con experiencias nacionales e internacionales.

Desarrollo histórico

El interés en el riego por goteo subsuperficial (G-SUB) se ha incrementado durante las últimas dos décadas como consecuencia de la presión por conservar las fuentes de agua, además de la fácil disponibilidad de los componentes del sistema producto del desarrollo tecnológico que ha tenido. Las primeras referencias del riego por goteo datan de 1860 como un idea surgida en Alemania donde se empleó una especie de riego por goteo subterráneo (Marhuenda, 1999). En Estados Unidos de América (EU), el riego por goteo subsuperficial fue parte del desarrollo del riego por goteo superficial, iniciándose en 1959 en California (Davis, 1967) y Hawaii (Vaziri y Gibson, 1972).

Posteriormente, durante la década de los años sesentas, la aplicación del agua se realizaba a través de polietileno o tubo de PVC con orificios o hendiduras (adheridos o fabricados en el interior del tubo) o bien, a través de emisores discretos pegados en el interior del tubo. Típicamente estos sistemas se operaban a baja presión variando la calidad de agua y su filtración. La mayoría de los problemas de estos sistemas se relacionaron con la baja uniformidad de emisión, su mantenimiento y el taponamiento de emisores debido a precipitaciones químicas e intrusión de raíces. Sin embargo, la disponibilidad del plástico (polietileno) y el cloruro de polivinilo (PVC), permitió el desarrollo del riego por goteo. El interés en el riego por goteo se incrementó durante los años ochentas, especialmente durante la segunda mitad de esta década, cuando se publicaron muchos reportes de investigación y se contó con una gran variedad de productos comerciales. El interés y desarrollo de esta actividad en ambos sectores (comercial y científico) continuaron durante los años noventas, especialmente en regiones con baja disponibilidad de agua. De igual forma, ha existido especial interés en la utilización de aguas residuales con este sistema de riego.

Actualmente, el riego por goteo subsuperficial o subterráneo está ampliamente establecido en una gran cantidad de cultivos en todo el mundo. En EU hay más de 20 mil ha con este sistema de riego, mientras que en España existen alrededor de cuatro mil ha, encontrándose en fase de expansión en muchos países del mundo (Marhuenda, 1999).

INIFAP CENID-RASPA

Movimiento del agua en suelo

Existen dos fuerzas que controlan el movimiento del agua en el suelo: la fuerza capilar, con igual magnitud en todas direcciones y la fuerza gravitacional, la cual se ejerce de manera constante sobre las partículas del agua. La fuerza capilar decrece a medida que el suelo se humedece. Por lo tanto, en un suelo seco la fuerza capilar es mucho más grande que la gravitacional. A medida que el suelo se humedece y los poros del suelo se saturan, la fuerza capilar disminuye, permitiendo que la fuerza gravitacional domine y el agua se mueva principalmente por percolación, la cual se define como la circulación vertical del agua en el suelo a través de la zona de infiltración, posibilitando su llegada a las capas freáticas. De este concepto básico se deduce que el agua aplicada con este sistema de riego debe suministrarse en intervalos cortos de tiempo, con la finalidad que el movimiento del agua en el suelo sea controlado principalmente por las fuerzas de capilaridad.

Comparación del riego por goteo subsuperficial y el superficial

Trabajos experimentales han encontrado que aplicando la misma cantidad de agua en los dos sistemas de riego para un suelo franco arcilloso en el riego por goteo subterráneo, el radio de humedecimiento es un 10 por ciento menor que en el superficial. Sin embargo, el área y el volumen humedecido son un 62 y 46 por ciento mayor que el superficial (Ben-Asher y Phene, 1993 y Phene, 1993). En la Figura 1 se presentan ambos patrones de humedecimiento.

Otros trabajos experimentales que se realizaron en maíz para grano han encontrado que la evapotranspiración del cultivo en riego por goteo subsuperficial se reduce hasta en un 13.9 por ciento en comparación con el goteo superficial, esto es debido a una reducción de la evaporación directa del suelo (Evett *et al.*, 1995).

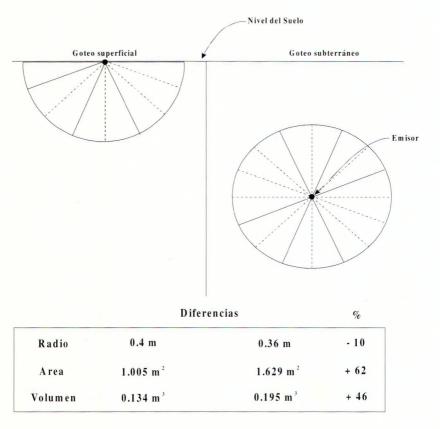


Figura 1. Patrones de humedecimiento en riego por goteo superficial y subsuperficial o subterráneo (adaptado de Ben-Asher y Phene, 1993).

Diseño hidráulico

Componentes principales de un sistema de riego por goteo subsuperficial o subterráneo

En la Figura 2 se muestran los principales componentes que conforman el sistema de riego los cuales se describen a continuación:

- **Filtro** (manual o automático): la limpieza del filtro se realiza en forma manual o automática, el uso de filtros automáticos en paralelo evita suspender el riego en cada fase de lavado.
- Medidor volumétrico: útil para llevar el control de los volúmenes de agua aplicados en cada sección de riego y detectar a tiempo posibles problemas de obstrucciones.
- Válvulas de alivio: se usan para evitar que partículas de suelo entren en los emisores.
- **Válvulas de drenado**: Se colocan en cada extremo de las unidades de riego para drenar y limpiar el sistema.
- Inyector de fertilizantes: permite la aplicación y control de soluciones nutritivas, en las que se controla el pH a valores de 6.0 y 6.5; esto se puede lograr aplicando ácido sulfúrico, fosfórico o nítrico si el pH es alcalino.
- **Manómetros**: permiten medir la presión en diferentes partes del sistema; la disminución del gasto e incremento de la presión indica un problema de taponamiento de los emisores.

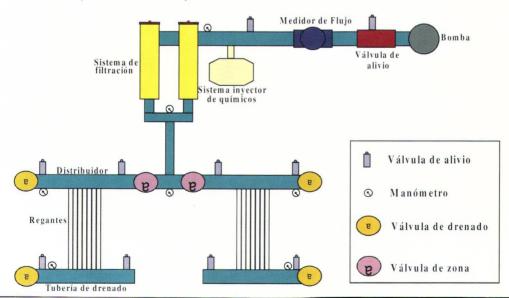


Figura 2. Componentes de un sistema de riego por goteo subsuperficial (adaptado de Lamm *et al.*, 2003).

Características hidráulicas de las líneas regantes

Relación carga-gasto

La relación carga gasto de un emisor de flujo turbulento se caracteriza por una ecuación de tipo exponencial de la forma siguiente:

$$Q = kH^{x}$$

Donde: Q es el gasto, k es una constante que depende de las unidades del gasto y la carga, y principalmente del diámetro del orificio; H es la carga o presión y x es el exponente de descarga del emisor que indica la sensibilidad del dispositivo a los cambios de presión (Cuadro 1).

En la Ecuación 1 el valor de x fluctúa en el rango de cero a uno, aunque son posibles los valores fuera de este rango. En un producto ideal el valor de x es nulo (x = 0). Esto significa que el gasto del emisor es independiente de la presión (condición que permitiría una alta uniformidad de distribución y una longitud grande de las líneas regantes). Un emisor con un valor de x = 0 actúa como un compensador de presión, mientras que un emisor con un valor de x = 1 no es capaz de compensar dicha presión, lo cual significa que cualquier cambio en la presión resulta en un igual cambio en el gasto. Muchas cintillas de goteo tienen un exponente aproximado a 0.5. Como una regla para un diseño hidráulico apropiado, las variaciones en el gasto no deberán ser mayores del 10 por ciento.

Cuadro 1. Porcentaje en el cambio de la tasa de flujo del emisor por concepto del exponente k.

% de cambio	2	Ехр	onent	e k	
	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
10	3.9	4.8	5.9	6.9	7.9
20	7.6	9.5	11.6	13.6	15.7
30	11.1	14.0	17.1	20.2	23.3
40	14.4	18.3	22.3	26.6	30.9

Fuente: Sánchez (2002).

Coeficiente de variación del gasto del emisor

Herrera et al. (2000) mencionan que si se toma una muestra de emisores del mismo tipo y se opera a la misma carga hidráulica, sin que varíe la temperatura del agua, el gasto entregado por cada uno de ellos será distinto. La variabilidad en la fabricación depende del diseño del emisor y del propio proceso de fabricación. Se ha comprobado en una muestra grande de emisores que sus caudales se distribuyen estadísticamente, según una distribución normal. Esta distribución estará, por lo tanto, definida por su media y desviación estándar, lo que permite describir la variación del gasto de los emisores a partir del coeficiente de variación estadístico:

$$CV_q = \left(\frac{STD_q}{\overline{q}}\right) * 100$$

Donde: CV_q es el coeficiente de variación del gasto (%), STD_q es la desviación estándar de el gasto de los emisores (L h⁻¹) y \overline{q} es el gasto medio de los emisores (L h⁻¹).

El significado estadístico del coeficiente de variación es el siguiente:

- 1. Prácticamente todos los caudales observados en el ensayo están comprendidos en el entorno (1 \pm 3 CV_a).
- 2. Aproximadamente el 95 por ciento de las observaciones se encuentran comprendidas en el entorno $(1\pm 2 \ CV_a)$.
- 3. El 68 por ciento de las observaciones realizadas están en el intervalo $(1 \pm CV_a)$.

En el Cuadro 2 se presentan los valores del coeficiente de variación del gasto y los valores del exponente (x) de la ecuación cargagasto para diferentes cintillas de goteo.

Parchomchuk (1976) menciona que la temperatura del agua que fluye en las tuberías de polietileno expuestas a la radiación solar aumenta con la distancia. Este investigador midió un incremento en la

temperatura del agua de 16 °C en una tubería de polietileno de 37 m de longitud expuesta a la radiación solar directa, mientras que en una tubería similar enterrada a 15 cm de profundidad el incremento fue de solo 6 °C.

Cuadro 2. Coeficientes de variación del gasto (CV_q) y los valores del exponente (x) de la ecuación carga-gasto para diferentes cintillas de goteo.

Cintilla de goteo	CV_a (%)	X
T-Systems International	3	0.05 a 0.52
(T-Tape)		
Netafim	3	0.44 a 0.48
(Streamline y Thyphoon)		
Rainbird	2	0.40
(Raintape TPC)		
Roberts Irrigation Productos	3	0.52 a 0.57
(RO-DRIP)		
ToroAg	2 a 4	0.50 a 0.54
(Aqua-Traxx)		
Chapin Watermatics	1 a 3	0.51 a 0.58
(Twin-wall)		
Nelson Irrigation Corp	2.5	0.48
(Pathfinder)		
Queen-Gil	5	0.56
Eurodrip	1 a 2	0.53 a 0.60

Fuente: Hanson et al. (2003).

De acuerdo a la norma mexicana de requisitos mecánicos y funcionales de cintas de goteo para su instalación y operación en campo, Especificaciones y Métodos de Prueba NMX-E-225 (1998) el coeficiente de variación (CV_q) del gasto de emisión no debe exceder del cinco por ciento para la categoría A, ni más del 10 por ciento para la categoría B.

Munguía et al. (2003) realizaron un estudio para determinar la influencia de la temperatura del agua en el régimen hidráulico de ocho cintas de goteo, concluyen que así como resultaron emisores que no son afectados por la temperatura del agua, ya sea por su diseño de su pequeño gotero rígido y pegado a la pared interior de la cinta (Streamline y Hydromatic) o por su diseño de laberinto (T-Tape), también resultaron

INIFAP

emisores fuertemente afectados por la temperatura del agua como es el caso de los emisores de la cinta Roberts. Estos resultados se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Coeficiente de variación (%) de cintas de goteo sometidas a cuatro temperaturas del agua y dos presiones de operación.

Cintas	Presión		Tempertura	del agua (ºC)	
	(psi)	23	28	33	30
T-Tape	8	2.5	2.4	2.5	2.5
	12	2.2	2.0	2.1	1.1
Chapin	8	1.1	1.1	1.1	1.0
	12	1.0	1.0	1.0	1.0
Aqua-Traxx	8	2.4	2.2	2.1	1.8
	12	2.1	1.0	1.9	1.1
Rain-Tape	8	4.9	4.7	4.5	4.4
	12	4.3	4.4	4.5	4.4
Roberts	8	6.0	8.0	7.8	7.8
	12	5.8	6.0	15.3	23.2
Pathfinder	8	1.6	1.6	1.6	1.7
	12	1.7	1.7	1.7	2.4
Streamline	8	2.3	2.3	2.4	2.5
	12	2.6	2.5	2.5	2.4
Hydromatic	8	2.1	2.1	2.0	1.9
	12	2.1	2.0	1.9	2.0

Fuente: Munguía et al.(2003).

Longitud máxima de las líneas regantes

Uno de los aspectos más importantes en el diseño hidráulico del riego por goteo es el determinar la longitud máxima de las líneas regantes, con la cual se determina el tamaño óptimo de la unidad de riego. Para determinar la longitud máxima de la línea regante es necesario conocer la pérdida de carga permisible en la sección o unidad de riego, la cual se determina de la siguiente manera:

$$Hp_{sr} = \left[\left(\frac{1.05 + Qo}{k} \right)^{1/x} - \left(\frac{0.95 + Qo}{k} \right)^{1/x} \right]$$
 3

Donde: Hp_{sr} es la pérdida de carga permisible en la sección de riego (m), Qo es el gasto de diseño (L h-1) y k y x son las constantes de la relación carga-gasto (H-Q).

Una vez conocida la pérdida de carga permisible en la sección de riego se calcula la pérdida de carga permisible de la línea regante (Hp_{Lr}) , la cual para este caso será el 25 por ciento de la carga permisible de la sección de riego.

$$Hp_{1r} = Hp_{sr} * 0.25$$

Posteriormente, se calcula la pérdida de carga por fricción en la línea regante (Hf_{r_s}) utilizando la ecuación de Hazen Williams:

$$Hf_{Lr} = \left(\frac{1.22 * 10^{10}}{D^{4.87}}\right) * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * L * F$$

Donde: Hf_{Lr} es la pérdida de carga por fricción de la línea regente (m), D es el diámetro de la regante (mm), Q es el gasto que conduce la línea regante (L s⁻¹), C es un factor adimensional de fricción que depende del tipo de material de la tubería (Cuadro 3), L es la longitud de la regante (m) y F es el factor que depende del número de salidas.

En esta ecuación se propone una longitud de la línea regante (L); el número de emisores de la línea regante (N) se obtiene al dividir el valor de L entre el espaciamiento entre emisores o goteros (Eg). El gasto de la línea regante (Q) se calcula al multiplicar el gasto de diseño (Qo) por el número de emisores de la regante.

$$F = \left(\frac{1}{m+1}\right) + \left(\frac{1}{2N}\right) + \left(\frac{m-1}{6N^2}\right)^{1/2}$$

Donde: m es un factor que depende de N y F (m = 1.85).

La longitud máxima de la regante se obtiene cuando el valor de Hf_{Lr} es igual o menor que el valor de Hp_{Lr} .

Cuadro 4. Valores de C (Hazen Williams) para diferentes tipos de tubería.

Tipo de tubería	Valor de C
Hierro	100
Aluminio	120
Asbesto-cemento	130
Cobre y polietileno	140
PVC	150

Otra manera de calcular la longitud máxima de la línea regante es utilizando la ecuación propuesta por Peña (1997) que se expresa de la siguiente forma:

$$Lmax_{Lr} = \left[\frac{\left(K_2 * H_f \pm d \right)^{1/3} * D^{16/9}}{\left(K_3 * E_g^{1/3} * Q_f^{2/3} \right)} \right] * E_g$$
 7

Donde: $Lmax_{Lr}$ es la longitud máxima de la línea regante (m), k_2 y k_3 son constantes que dependen si existe o no regulador de presión en la tubería (Cuadro 5), H_f es la carga del último emisor (m), d es el desnivel entre la primera y última salida de la línea regante (m), D es el diámetro interior de la tubería (mm), E_g es el espaciamiento entre emisores o goteros (m) y Q_f es el gasto de la última salida (L h^{-1}).

En esta ecuación el valor de H_f y Q_f se determinan a partir de las ecuaciones 8 y 9:

$$H_f = \left(\frac{0.95 * Qo}{k}\right)^{1/x}$$

$$Q_f = 0.95 * Qo$$

Donde: Qo es el gasto de diseño, k y x son los parámetros de la ecuación carga-gasto.

Cuadro 5. Valores de k_2 y k_3 para la línea regente y el distribuidor con y sin regulador de presión.

Tipo de	Regulador de	k_2	k_3
tubería	presión		
Regante	Sin	0.063	0.615
Regante	con	0.210	0.628
Distribuidor	Sin	0.147	0.623
Distribuidor	con	*	*

Fuente: Peña (1997).

Tipo de líneas regantes en riego por goteo subsuperficial

Los productos que más se utilizan en riego por goteo subsuperficial son: tubería polietileno con goteros insertados en la línea, cintillas de goteo y tubo poroso.

Los productos de polietileno generalmente tienen espesores de pared de 13 a 16 mm. Los emisores se fabrican como parte integral del tubo o se insertan en los laterales. La ventaja de estos productos es que son fuertes y resistentes a plegarse y a daños por roedores; la desventaja principal es su mayor costo. Para las cintas de goteo los espesores de pared varían de 0.1 a 0.5 milímetros (de 4 a 20 mil). Los materiales con espesor de pared de 0.375 a 0.5 mm (15 a 20 mil) se utilizan para cultivos perennes. En el Cuadro 6 se presentan las características hidráulicas de las cintillas de goteo disponibles en el mercado.

Selección del gasto del emisor

La selección del gasto del emisor depende de factores tales como el consumo de agua del cultivo, el tiempo de riego y de la velocidad de infiltración básica o conductividad hidráulica a saturación del suelo (Peña, 1981). En lo que respecta a cintas de goteo para el riego por goteo superficial, Brezler (1977) recomienda utilizar gastos de 3.7 a 4.8 L h⁻¹ m⁻¹ para suelos arenosos y de 1.8 a 2.4 L h⁻¹ m⁻¹ para suelos arcillosos.

12

Cuadro 6. Características de las principales cintillas de goteo disponibles en el mercado (Hanson et al., 2003).

Cintilla de goteo	Diámetro interior (mm)	Espesor de pared (mm)	Espaciam. entre emisores (mm)	Gasto del emisor
T-Systems International (T-Tape)	10 - 35	0.1 - 0.375	102 - 610	0.53 - 1.51
Netafim (Streamline y Thyphoon)	16 - 25	0.15 - 0.375	203 - 762	0.61 - 1.25
Rainbird (Raintape TPC) Roberts Irrigation	16 - 22	0.15 - 0.35	203 - 610	0.98 - 1.32
Productos (RO-DRIP)	16 - 22	0.125 - 0.375	102 - 610	0.41 - 1.29
ForoAg (Aqua-Traxx)	16 - 22	0.1 - 0.375	102 - 610	0.49 - 1.02
Twin-wall)	16 - 22	0.1 - 0.625	51 - 610	0.57 - 2.27
Nelson Irrigation Corp (Pathfinder)	16 - 35	0.2 - 0.375	203 - 610	0.51 - 1.41
Queen-Gil	12.5 - 20.5	0.15 - 0.4	100 - 300 variable	0.2 - 2.7
Eurodrip	16 - 22		variable	12-245
Drip tape manufacturers				; ;
and Engineers. Inc.	16 - 22	0.125 - 0.375	108 - 438	0.57 - 1.06

Tanto en goteo superficial, subsuperficial o subterráneo el gasto seleccionado no deberá ser mayor que la infiltración básica del suelo. Para el caso de la alfalfa regada mediante goteo subsuperficial o subterráneo, se han utilizado gastos de 2.5 a 3.9 L h⁻¹ m⁻¹ para suelo de textura franco arcillo limosa (Phene,1999) y franco limosa (Neufeld *et al.*, 1988) y de 2.3 a 2.5 L h⁻¹ m⁻¹ para suelos de textura franco arenosa (Alam *et al.*, 2002_a y Somohano, 2003), textura franca (Rivera *et al.*, 2001) y migajón arcillosa (Figueroa *et al.*, 2003).

Espaciamiento entre emisores y regantes

La selección del espaciamiento tanto entre emisores como entre líneas regantes es de suma importancia, debido a que influye fuertemente en el costo del sistema de riego. La selección adecuada de los espaciamientos se puede realizar si se conocen las dimensiones de los bulbos de humedecimiento de los emisores. Para el cultivo de alfalfa, por ser un cultivo de cobertura total, el espaciamiento seleccionado entre emisores y líneas regantes deberá permitir humedecer toda el área subsuperficial del suelo. Phene (1999) evaluó, para este cultivo, dos espaciamientos entre líneas regantes (1.02 y 2.04 m) en un suelo arcillo limoso. En sus resultados no encontró diferencia significativa para la producción de forraje; sin embargo, la calidad fue menor en el espaciamiento de 2.04 m. Posteriormente, Alam et al. (2002,)comparó espaciamientos de 0.76, 1.0 y 1.5 m en un suelo franco arenoso, encontrando que el rendimiento se redujo significativamente en el espaciamiento de 1.5 m en comparación con los espaciamientos de 0.76 y 1.02 m.

Por lo general, el espaciamiento entre emisores es menor que el espaciamiento entre líneas regantes. El espaciamiento entre emisores varía en un rango de 0.2 a 0.6 m. En riego por goteo superficial para suelos arenosos y suelos francos se recomiendan espaciamientos entre goteros de 20 a 30 cm y, para suelos arcillosos, de 45 a 60 cm. (Clark et al., 1993).

Rivera (2003) generó un modelo aplicando regresión lineal múltiple para predecir el máximo diámetro de humedecimiento horizontal de los bulbos de mojado en cintillas de goteo. El autor utilizó gastos de 0.5 y 1.0 L h⁻¹ en suelos de textura franco arenosa a franco arcillosa. Este modelo se desarrolló a partir del gasto del emisor, tiempo de riego, infiltración básica del suelo y contenido de humedad del suelo al momento del riego. El modelo es de la siguiente forma:

$$D = (7.464Q^{0.386}T^{0.491}IB^{0.051}Ps^{0.397})*2$$

Donde: D es el diámetro máximo de humedecimiento (cm), Q es el gasto del emisor (L h-1),T es el tiempo de riego (h), IB es la infiltración básica (cm h-1), Ps es el contenido de humedad del suelo al momento del riego (en base a suelo seco en por ciento) y 2 es un factor para obtener el diámetro a partir del radio.

En el Cuadro 7 se muestra una tabla guía en la que se presentan los máximos espaciamientos entre líneas regantes para suelos de diferente textura utilizando este modelo.

Profundidad de instalación de las líneas regantes

En la producción de alfalfa, la profundidad de instalación de las regantes deberá permitir efectuar el barbecho y rastreo además de la rotación de cultivos. Phene (1999) evaluó tres profundidades de instalación de las regantes de 41, 60 y 70 cm. Encontró que las profundidades de instalación de 60 a 70 cm tiene la ventaja de reducir el humedecimiento de la parte superficial del suelo, lo cual minimiza su compactación y el daño de roedores en la líneas regantes. Otra ventaja es que no es necesario suspender el riego durante el corte del cultivo, lo cual propicia un rebrote más rápido y la posibilidad de dar un corte extra. Sin embargo, en el tratamiento donde se instalaron las regantes a 70 cm de profundidad, el consumo de agua del cultivo aumentó en un 27 por ciento con respecto a la profundidad de 41 cm.

Cuadro 7. Espaciamiento máximo entre líneas regantes para suelos de diferentes texturas (Rivera, 2003).

Textura	CC (%)	PMP (%)	Da (g cm ⁻³)	Ps % al 20 % de abatim.de H.A.	<i>IB</i> (cm h ⁻¹)	Espaciam. entre regantes (cm)
Arena	7.85	3.25	1.65	6.93	10	71.1
Arena franca	10.95	4.35	1.65	9.63	7.75	80.4
Franco arenosa	14.4	5.7	1.6	12.66	4.75	87.5
Franco arenosa fina	18.85	7.75	1.55	16.63	3	95.2
Franca	23.1	11.25	1.5	20.73	3	103.9
Franco arcillo arenosa	27.1	14.0	1.45	24.64	3	111.3
Franco limosa	27.6	11.9	1.45	23.98	1.5	106.3
Franco arcillosa	26.8	15.7	1.45	24.58	1.5	107.3
Franco arcillo limosa	28.2	13.75	1.40	25.31	1.5	108.6
Arcillo Iimosa	28.3	18.4	1.35	26.3	0.75	106.4
Arcillosa	29.1	20.45	1.3	27.37	0.75	108.1

NOTA: Se considera un tiempo de riego de cuatro horas y un contenido de humedad del suelo (Ps %) equivalente a un 20 por ciento de abatimiento de la humedad aprovechable y para cintilla de goteo de 1 L h⁻¹ por emisor.

Alam *et al.* (2002_a) evaluaron dos profundidades de instalación de las regantes de 30.5 y 45 cm. No encontraron diferencia significativa en la producción de alfalfa en los dos años de evaluación; sin embargo, la profundidad de instalación de 45 cm en el segundo año de evaluación presentó un incremento de materia seca de 700 kg ha⁻¹.

Casaño (1999) menciona que las líneas regantes en riego por goteo subterráneo se instalan a una profundidad de 30 a 50 cm. Rivera (2003) evaluó la compactación del suelo en riego por goteo subterráneo durante dos años, concluyendo que las líneas regantes deben instalarse debajo de la formación del piso de arado.

INIFAP

Preparación del suelo e instalación de las regantes

Se recomienda efectuar un subsoleo para romper el piso de arado. Posteriormente un barbecho cruzado y un rastreo. La instalación de las cintas de goteo se puede efectuar utilizando un equipo como el que se presenta en la Figura 3.

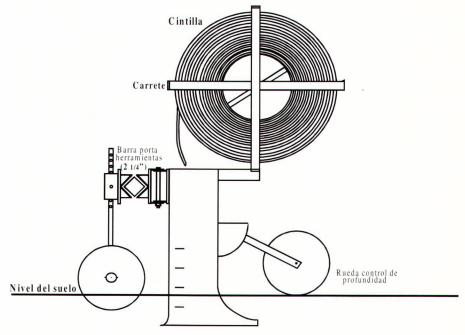


Figura 3. Equipo para la instalación de cintilla de goteo (Geoflow, 2000).

Otra forma de instalar la cintilla es la utilizando de un arado «topo», el cual consta de un carrete donde se coloca el rollo de cintilla y un tubo soldado a la parte posterior de la reja donde se introduce la cintilla. Al utilizar este equipo es necesario que una persona en la parte posterior de la maquina se asegure que la cintilla no se tense durante su instalación. Las cintas se instalan con los goteos hacia arriba, con la finalidad de disminuir los riesgos de taponamiento debido a la precipitación de compuestos químicos.

Existen dos modelos tipo «topo», a los tres puntos del tractor, o un arado topo. En ambos casos se recomienda un tractor de no menos de 60 caballos de potencia que garantice una instalación adecuada (Casaño y López, 1997). En el Cuadro 8 se presentan los diferentes métodos de instalación de las líneas regantes en riego por goteo subterráneo.

Pendiente del terreno

Es necesario considerar que la pendiente del terreno tiene un efecto positivo o negativo en la distribución de la presión y gasto a lo largo de la regante, además de condicionar la longitud máxima de la línea regante. El riego cuesta arriba (pendiente negativa) incrementa la pérdida de presión a lo largo de la línea regante. Si la pendiente cuesta abajo (pendiente positiva) es muy grande, la tasa de flujo al final de la regante podrá ser alta e inaceptable. En la Figura 5 se observa que la pendiente óptima fluctúa entre 0.5 y 1 por ciento cuesta abajo (pendiente positiva). Ambas pendientes resultan en una variación de la tasa de flujo de aproximadamente 10 por ciento para 180 m de recorrido (Lamm *et al.*, 2003).

Cuadro 8. Métodos de instalación de las líneas regentes en riego por goteo subsuperficial o sub-terráneo.

Método de instalación	Ventajas	Desventajas
Zanjado manual	-Apropiado para pendientes severas y áreas confinadas	- Lento - Labor intensiva - Se requiere rellenar la zanja
Arado vibrador u osoilador	-Rápido en instalaciones pequeñas y medianas - Disturbio mínimo del suelo -No se requiere llenar la zanja de tierra	-Requiere checar la pro-fundidad de instalación continuamente -No puede usarse en pendientes abruptas > 20 por ciento -Tiende a restirar la cintilla - Apropiado para recorridos cortos
o Maquina zanjadora	-Más rápida que la instalación manual - Instalación lenta -Puede usar una hoja cuchilla de una pulgada - Desbarata el suelo para la mayoría de las instalaciones - Requiere tapar la z -Profundidad uniforme	- Instalación lenta - Desbarata el suelo - Requiere tapar la zanja
Tractor con implemento de inserción (Fig. 3) de la línea regante	-Rápido - Disturbio mínimo del suelo -No restira la cintilla o tubería -Adaptable para cualquier tractor	-El implemento de instalación se diseña especialmente para este propósito
Tractor con implemento de inserción montado a los tres puntos	-Rápido -Se pueden adaptar cuatro máquinas instaladoras de cintilla	-Apropiado solamente para grandes instalaciones

Fuente: Geoflow, 2000.

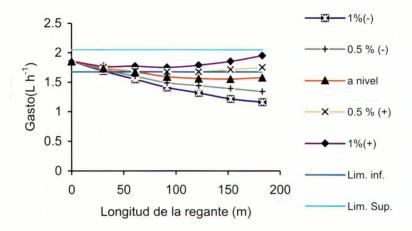


Figura 5. Pendiente óptima en riego por goteo sub-superficial. Adaptada de (Lamm *et al.*, 2003).

Cuándo y cuánto regar

Dos aspectos importantes que impactan en forma directa la eficiencia en el uso del agua y la producción de forraje (materia seca) son el intervalo entre riegos y la cantidad de agua aplicada. Estudios realizados en el CENID-RASPA INIFAP, (Rivera *et al.,* 2003) indican que los rendimientos más altos en alfalfa se obtienen aplicando una lámina de riego equivalente al 80 por ciento de la evapotranspiración de referencia (ETo), la cual se obtiene al multiplicar la evaporación acumulada por el coeficiente del tanque Kt (para el caso de la Región Lagunera Kt = 0.8).

Por otra parte, la mayor eficiencia en el uso del agua se obtuvo al considerar el 70 por ciento de la ETo. Durante el estudio los intervalos entre riegos fueron de dos veces por semana. Sin embargo, los intervalos entre riegos utilizados en trabajos de investigación han sido muy variados. Meza (1999) utilizó intervalos de riego de una vez por semana; otros investigadores tales como Rivera *et al.* (2001), Rivera y Estrada (2002) y Figueroa *et al.* (2003) han utilizado intervalos entre riego de dos veces por semana. En otros trabajos de investigación se

INIFAP CENID-RASPA

han aplicado riegos dos veces al día (Neufeld *et al.*, 1998). Con base en los estudios anteriores se recomienda regar cada tercer día en época de primavera-verano y dos veces por semana de otoño a invierno, aplicando una cantidad de agua equivalente al 80 por ciento de la ETo-PPe para obtener los rendimientos máximos, y al 70 por ciento de ETo-PPe para obtener la mayor eficiencia en el aprovechamiento del agua. Se recomienda que el tiempo de riego no exceda de cuatro horas para garantizar una simetría de los bulbos de humedad.

Necesidades de filtración

La prevención de taponamiento y mantenimiento propio de los sistemas de riego por goteo subsuperficial inicia antes de su instalación. El análisis químico y biológico del agua de riego indicará el tipo de filtro necesario para prevenir taponamiento de los emisores. El monitoreo periódico de los medidores de flujo y presión permiten identificar anomalías en el funcionamiento del sistema que pueden requerir atención. Los riesgos de taponamiento de los emisores son ocasionados por factores físicos, químicos y biológicos.

Riesgo de taponamiento físico

Los riesgos de taponamiento físico se solucionan con filtros de malla. La selección del tamaño de estos filtros considera tres aspectos: tamaño de partícula máxima permitida por el diseño del sistema de riego, la calidad del agua de riego y el gasto del emisor. Si no se dispone del tamaño máximo de partícula permitido por el fabricante del emisor o la cintilla de goteo, una forma práctica es considerar el tamaño máximo de partícula equivalente a una décima parte del diámetro de la salidadel emisor utilizado. De manera general, se recomienda un filtro de malla de 200 mesh para riego por goteo subsuperficial o subterráneo.

Las tasas de flujo en los filtros de malla no deberán exceder de 48.9 L h⁻¹ cm⁻² de área efectiva del filtro. Los filtros de lavado manual se deben limpiar cada vez que la presión se incremente de 3 a 5 PSI.

En el caso de que el agua de riego contenga grandes cantidades de arena, es necesario considerar la instalación de un separador de arena también llamado vortex o hidrociclón. En el Cuadro 9 se presenta el tamaño de los orificios de los filtros de malla.

Cuadro 9. Tamaño de los orificios de los filtros de malla.

Mesh	Milímetros.	Micrones.	Partícula	Diámetro (mm)
40	0.432	432	arena gruesa	0.5 - 1.0
100	0.152	152	arena fina	0.10 - 0.25
150	0.102	102	limo	0.002 - 0.05
200	0.076	76	arcilla	< 0.002
270	0.051	51	bacterias	.0004 - 0.002
400	0.038	38	virus	< 0.0004

Fuente: Adaptada de Alam et al., 2002_b.

Riesgos de taponamiento biológico

Los filtros de arena generalmente se utilizan para filtrar material orgánico. Las tasas de flujo de los filtros de arena no deberán exceder de 6.1 a 6.8 L h⁻¹ cm⁻² de área de filtrado. El uso de los filtros de retrolavado automático en paralelo permite que un filtro se limpie mientras que el otro esté activamente filtrando el agua.

La inyección de cloro asegura que el material biológico no filtrado no se acumule en el sistema. Si la carga biológica no filtrada es baja se inyectará continuamente una concentración de una a dos partes por millón de cloro. Si la carga biológica no filtrada es alta, será necesario un tratamiento de cloro a una concentración de 10 a 30 paartes por millón. La frecuencia y duración de la inyección de cloro se determinará por la severidad del problema.

Cuadro 10. Características de los materiales filtrantes más comunes.

Material	Clase N°	Diámetro efectivo (mm)	Diámetro del poro (mm)	Equivalente a mesh
Granito molido	8	1.50	0.214	70
"	11	0.78	0.111	140
Arena sílica	16	0.66	0.094	170
"	20	0.46	0.066	230
,,	30	0.27	0.039	400

Fuente: adaptado de Alam et al., 2002_b.

En el Cuadro 11 se presenta una guía práctica para el tratamiento del agua de riego a fin de prevenir taponamiento en riego por goteo subsuperficial.

Evaluación del sistema de riego

De acuerdo al ASAE (1998) los parámetros de uniformidad que se usan para evaluar los sistemas de riego por goteo subsuperficial son: la uniformidad estadística (UE) y la uniformidad de distribución (UD) las cuales se calculan utilizando las Ecuaciones 11 y 12.

$$UE = \left(\frac{1 - STD}{\overline{x}}\right) * 100$$

Donde: UE es la uniformidad estadística (%), STD es la desviación estándar de la descarga o gasto de los emisores (L h⁻¹) y \overline{x} es la media de la descarga de los emisores (L h⁻¹).

$$UD = \left(\frac{\overline{x_q}}{\overline{x}}\right) * 100$$

Donde: UD es la uniformidad de distribución (%), $\overline{x_q}$ es el gasto medio de los cuatro emisores con menor descarga (L h⁻¹).

Cuadro 11. Tratamiento al agua de riego para prevenir taponamiento en goteo subsuperficial adaptada de (Hanson *et al.*, 1994).

Problema	Nivel de riesgo	Opción de Tratamiento
Precipitación de carbonatos (precipitado color blanco)	HCO ₃ >de 2 meq L ⁻¹¹	1. Inyección continua de ácido: para mantener pH entre cinco y siete
	C. / an < Ld	 Inyección periódica de ácido: para mantener el pH debajo de cuatro por un tiempo de 30 a 60 minutos diariamente
Precipitación de hierro (precipitado rojizo)	Concentraciones de hierro superiores a 0.1 ppm	 Aireación para oxidar el hierro (mejor tratamiento para concentraciones de 10 ppm o más)
		 Precipitación de cloro: inyectar cloro para precipitar hierro:
		a. Una tasa de inyección de 1 ppm de cloro por 0.7 ppm de hierro
		 b. Inyección de cloro delante del filtro hasta que el precipitado se filtre hacia afuera
		3. Reducción del pH a cuatro o menos por un tiempo de 30 a 60 minutos diariamente
Precipitación de manganeso (precipitado de color negro)	Concentraciones de Manganeso superiores	Inyectar 1 ppm de cloro por 1.3 ppm de manganeso delante del filtro
Bacteria férrica (limo de color rojizo)	a 0.1 ppm Concentraciones de hierro superiores a 0.1 ppm	Libre inyección de cloro a tasa de 1 ppm o inyección continua de 10 a 20 ppm por un tiempo de 30 a 60 minutos diariamente
Bacteria azufrada (limo color blanco algodonado)	Concentraciones de azufre mayores de 0.1 ppm	1. Inyección de cloro continua a tasa de 1 ppm por 4 a 8 ppm de sulfato de hidrógeno 2. Inyección de cloro intermitente a 1 ppm , cloro libre por 30 a 60 minutos diariamente
Limo bacterial, algas		1. Invección de cloro a tasa de 0.5 a 1 ppm continuamente o 20 pm por 20 minutos al final de cada ciclo de riego.
Sulfato de hierro (material semejante a la arena de color negro)	Concentraciones de hierro o azufre superiores a 0.1 ppm	1. Disolución de hierro por inyección continua de ácido para bajar el pH de cinco a siete

La evaluación se realiza de la siguiente manera:

- Se seleccionan 50 emisores al azar por cada unidad de riego
- Se cava alrededor del emisor y se coloca un recipiente debajo del emisor o gotero para poder medir su gasto.
- Se aforan los goteros por un tiempo de dos minutos y se mide el volumen recolectado.
- Se calculan la UE y la UD
- Se comparan los valores obtenidos para UE y UD con los del Cuadro 12 para su clasificación

Equipo necesario para realizar la evaluación:

- Probetas
- Cronómetro (el tiempo para tomar muestras será de dos minutos)
- Manómetro
- Pala para cavar
- Recipientes (para recolectar los volúmenes de agua de los emisores)

Cuadro 12. Criterios para la evaluación del riego por goteo susbsuperficial.

Clasificación	UE (%)	UD (%)
Excelente	> 90	> 87
Buena	80 - 90	75 - 87
Regular	70 - 80	62 - 75
Pobre	< 70	< 62

Fuente: Pitts (1997).

Los parámetros de uniformidad son principalmente afectados por la variación de fabricación y por el taponamiento de los emisores debido a factores físicos, químicos o biológicos. Se recomienda la uniformidad estadística debido a que captura el efecto de estos factores en una medición sencilla, y el efecto de cada factor se puede aislar (ASAE,1998).

Otro parámetro importante de evaluar es la eficiencia de aplicación (EA), la cual se define como el cociente entre la cantidad de agua que requiere el cultivo o evapotraspiración real (ETr) y el agua aplicada (Aa) mediante el riego, multiplicando el producto por cien (Ecuación 13).

$$EA = \left(\frac{Etr}{Aa}\right) * 100$$

Producción de alfalfa y eficiencia en el aprovechamiento del agua

En los Cuadros 13 y 14 se presentan algunas citas bibliográficas de trabajos de investigación donde se ha comparado el riego por goteo subsuperficial contra el riego por gravedad y aspersión (evaluaciones por lo menos de dos años consecutivos). Los rendimientos de materia seca en riego por goteo subsuperficial de los trabajos de investigación realizados en Estados Unidos fluctúan en el orden de 16.4 a 21.5 toneladas de materia seca por hectárea por año los cuales son inferiores al rango que se obtuvo en los trabajos realizados en México (16.1 a 24.7 t ha⁻¹). Esto se debe a que la alfalfa en estas regiones de los Estados Unidos entra en dormancia en los meses fríos, por lo que se da un menor número de cortes (de tres a cinco por año).

Los incrementos de rendimiento del goteo subterráneo contra el riego por gravedad o aspersión son del 4.3 al 59.7 por ciento, que es el valor más bajo para aspersión y el más alto para gravedad. Los ahorros de agua varían en un rango del 14.2 al 29.8 por ciento, siendo el valor más alto reportado por Godoy y Reyes (2004).

La eficiencia en el aprovechamiento del agua para riego por goteo es superior a la obtenida con gravedad o aspersión; ésta fluctúa en un rango de 0.9 a 3.5 kg de materia seca por metro cúbico de agua aplicada.

Cuadro 13. Trabajos de investigación que presentan los incrementos de rendimiento y eficiencia en el uso del agua de la alfalfa con riego por goteo subsuperficial (G-SUB) al compararlo con aspersión (A) y gravedad (G).

Autor	Agua aplicada	licada	Ahorro de	Rendimiento	iento	Incremento	ΕA	A
y año	(cm)	<u></u>	Agua (%)	(t de m.s	s. ha ⁻¹)	(%)	(kg m ⁻³)	m ⁻³)
	G-SUB	G. o A.		G-SUB G.	G. o A.		G-SUB	G. 0 A
Neufeld et	47.1		8	16.4			3.5	
<i>al.</i> , 1998	(75 % ET)							
Phene, 1999	190	190 (G)	0	16.8	12.1 (G)	38.9	6.0	0.64
	(1993-1994)							
Alam et al.,	61.5	74.7 (A)	17.7	21.5	20.6 (A)	4.3	3.5	2.7
2002	(5 cortes)							
somohano,								
2002	128			24.7			1.9	
ivera et al.,	145.8	170 (G)	14.2	23.0	14.4 (G)	29.7	1.6	0.85
2004 (8	(80 % ETo) -							
	PPe							
Godoy et al.,	108	153.8 (G)	29.8	16.1	12 (G)	34.2	1.5	0.77
2004								

ET = evapotranspiración. ETo = evapotranspiración de referencia y PPe = precipitación efectiva.

Cuadro 14. Características principales de los sistemas de riego por goteo subsuperficial para la producción de

Autor y año	Tipo de material: Gotero	Ep (mm)	Er (cm)	Eg (cm)	Prof. (cm)	Oe (L. h ⁻¹)	Textura del suelo	IBe (cm h ⁻¹)	Li (cm h ⁻¹)	<u>_</u>
	(g) o cintilla (c)									
Neufeld	Netafim	0.375	91	09	45	2.35	Franco	0.8-1.3	0.43	dos veces
et al 1988							limoso			al día
Phene		20	102	102	20	7	Franco	0.8-1.3	0.2	Al abatirse
1999	(b)	i					arcillo			1 mm de ETr
							limoso			
Alam	Nelson	0.175	100	60.1	30-45	4.1	Franco	2.5-3.8	0.23	tres veces
et al 2002							arenoso			por semana
Somohano.	cintilla	0.250	100	40	30-40	-	Franco	2.5-3.8	0.25	Riegos a
2003							arenoso			diario
Rivera		0.375	20	20	30	0.5	Franco	1.9-2.5	0.36	dos veces
et al 2004										por semana
Godov		0.375	100	30	20	9.0	Migajón	1.1-1.9	0.3	Cada
et al., 2004	(<u>0</u>						arcillo			tercer día
							arenoso			

de instalación de las regantes, Qe = gasto del emisor, IBe = infiltración básica estimada de acuerdo a la textura del Ep= espesor de pared, Er = espaciamiento entre regantes, Eg= espaciamiento entre emisores, Prof. = profundidad suelo, Li = lámina de riego infiltrada e lr = intervalo entre riegos. En este análisis el agua aplicada comprende la lámina de riego o la evapotranspiración real más la precipitación o precipitación efectiva (PPe) durante el ciclo del cultivo.

La infiltración básica del suelo (IBe) del Cuadro 13 se estimó a partir de los datos de textura del suelo utilizando los valores reportados por Herrera *et al* 2000. En este cuadro se puede observar que al transformar los gastos de los emisores a lámina infiltrada (Li), esta es menor que la infiltración básica del suelo para todos los trabajos de investigación presentados en este cuadro. También se puede observar que el espesor de cintilla de goteo que más se utiliza para goteo subterráneo es la 15 mil (0.375 mm).

CONCLUSIONES

El riego por goteo subsuperficial o subterráneo es sin duda uno de los sistemas de riego mas eficientes para la producción de alfalfa. Los incrementos de rendimiento y la mayor eficiencia en el uso del agua encontrados al compararlo con el riego por gravedad y aspersión lo sitúan como uno de los sistemas de riego del futuro de las regiones con escasa disponibilidad de agua del país.

Aspectos claves al utilizar este sistema de riego es la implementación de medidas preventivas para evitar taponamiento de los emisores así como la adecuada instalación de las líneas regantes en función de las características físicas del suelo.

Es importante continuar con trabajos de investigación en los aspectos de aplicación e impacto de macro y micro nutrientes en la producción de biomasa así como la utilización de aguas residuales con este sistema de riego.

Agradecimientos

Se agradece a todas las personas e instituciones que colaboraron con la realización de este folleto así como a las fundaciones Produce Durango y Coahuila, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), especialmente al Sistema Regional Francisco Villa (SIVILLA), al Patronato para la Investigación Agrícola de la Laguna (PIAL), a Irrilala de la Laguna, Ultra Riegos y muy espacialmente al Ingeniero Mario Valdez Berlanga de la Pequeña Propiedad Nuevo León del Municipio de Francisco I. Madero, Coahuila, por su apoyo incondicional y entusiasmo para la realización de los trabajos experimentales efectuados en su propiedad.

Literatura citada

- Alam M., T.P. Trooien, D. H. Rogers y T.J. Dumler. 2002_a. An efficient irrigation technology for alfalfa. Journal de extension vol 40(3).
- Alam, M., T. P. Trooien, F.R. Lamm y D.H. Rogers 2002_b. Filtration and maintenance considerations for subsurface drip irrigation (SDI) systems. Irrrigation Management Series. Kansas State University.
- ASAE Standards.1996. S526.1 Soil and water terminology. St. Joseph, Mich. ASAE.
- ____1998. EP-458 Field Evaluation of Microirrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers, USA.
- Ben-Asaher, J. y C. J. Phene. 1993. Analysis of surface and subsurface drip irrigation using a numerical model. *In* Subsurface Drip Irrigation-Theory, Practices and Application.185-202. CATI Pub. No. 92-1001. Fresno, California State University.
- Brezler, E. 1977. Trickle drip irrigation: Principles and application to soil water management. Adv. Agron. 29:343-393.
- Cantú B., J. E. 2001. Modelo de producción sustentable de forrajes para producción de leche en regiones con limitantes de agua. Tesis doctoral, Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ). División de Estudios de Postgrado. Universidad Juárez del Estado de Durango.
- Casaño, C. y C. López. 1997. Información general: riego por goteo subterráneo en los cítricos. IRRIMON, S. A.
- Casaño, C. 1999. El riego subterráneo y sus perspectivas. Primer Foro Internacional sobre Financiamiento para la modernización de las áreas de riego. Hermosillo, Sonora. México. Pág. 1-5.
- Centro de Estadística Agropecuaria. 2001. Sistema de información agropecuaria de consulta (Ver 1.1 SIACON).
- Clark, G. A., C. D. Stanley and F.S. Zazueta. 1993. Qualitative sensing of water movement from a point –source emitter on sandy soil. Appl. Eng. in Agr. 9(3) 299-303.

- Cruz G., A y G. Levine. 1998. El uso de aguas subterráneas en el Distrito de Riego 017, Región Lagunera, México. Instituto Internacional del Manejo del Agua. IWMI serie Latinoamericana: No 3. Pag. 1-27.
- Davis, S. 1967. Subsurface irrigation-How soon a reality?. Agricultural Engineering 48(11) pag.654-655.
- Evett, S. R., T. A. Howell and A. D. Schneider. 1995. Energy and water balances for surface and subsurface drip irrigated corn. In Proc. 5th INT'l Microirrigation Congress. Ed. F. R. Lamm. 135-140 St. Joseph, Mich. ASAE.
- Figueroa V., R., B. Ramírez A., S. Berumen P., A. Gallegos P. y E. Castellanos P. 2003. Uso eficiente del agua en la producción de forrajes en la Comarca Lagunera. Memorias de la XV Semana Internacional de Agronomía. FAZ-UJED pág. 46-51.
- Geoflow. 2000. Design and installation manual.
- Godoy A., C y J. Reyes I. 2004. Fertirriego en alfalfa. Memorias de la XVI Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. pag. 212-216.
- Hanson, B., L. Schwankl, S. R. Grattan and T. Pritchard.1994. Drip irrigation for row crops . Water Management Series Publication 93-05. California University de Irrigation Program, Davis 175 pag.
- Hanson, B. R., G. Fipps, E. C. Martín. 2003. Drip irrigation of row crops: What is the state of a the art?. Kansas State University.
- Herrera P., J. C., E. Peña P. y J. M. González C. 2000. Sistemas de riego presurizados. Instituto de Tecnología del Agua (IMTA).
- Lamm, F. R., D. H. Rogers, M. Alam y G. A. Clarck. 2003. Design considerations for subsurface drip irrigation (SDI) systems. Kansas State University.
- Marhuenda B., J. A. 1999. Ventajas y beneficios del riego por goteo subterráneo. Primer Simposium Internacional de Irrigación y Nutrición Vegetal. Tecnología para el Ahorro del Agua y Energía. León, Guanajuato. México. Pag. 1-8.

- Meza C., J. A. 1999. Primer año de evaluación de variedades de alfalfa con riego por goteo. Memorias del Cuarto Simposium Internacional de Ferti-irrigación. Guadalajara, Jalisco. México. Pag. 197.
- Munguía L., J., O. U. Martínez y M. R. Quezada. 2003. Influencia de la temperatura del agua en el régimen hidráulico de ocho cintas de riego por goteo. XII Congreso Nacional de Irrigación. Zacatecas, Zacatecas. México. Pag. 297-307.
- Neufeld, J., J. Davison, D. Breazeale y G. Munk. 1998. Subsurface drip irrigation of alfalfa in Nevada. California/Nevada Alfalfa Simposium, Reno, Nevada.
- NMX-E-225-1988-SCFI. 1988. Requisitos mecánicos y funcionales de cintas de goteo para su instalación y operación en campo especificaciones y métodos de prueba. México, D. F.
- Peña P., E. 1997. Tecnificación del riego presurizado: en Manual para el diseño de zonas de riego pequeñas. Comisión Nacional del Agua (CNA) e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- _____ 1981. Relación entre las características del suelo y el consumo de agua de los cultivos con el diseño hidráulico de los sistemas de riego por goteo. IV Seminario Latinoamericano de Riego por Goteo y Riego Localizado. Venezuela: Pag. 3.2.121- 3.2.143.
- Phene, C. J. 1993. Subsurface drip irrigation on row crops.1993. Proceeding. Microirrigation workshop and Trade Show. Santa María, CA. 29 October pp. 14-32.
- _____1999. Producción de alfalfa con riego por goteo. Memorias del Primer Simposium Internacional de Irrigación y Nutrición Vegetal. León, Guanajuato. México. Pag. 75-83.
- Parchomchuk, J. 1976. Water Temperature effects on emitter discharge rates. Transactions, ASAE. Vol 19: 690-692.
- Pitts, D. J. 1997. Evaluation of micro-irrigation systems. South West Florida Research and Education Center, University of Florida.
- Rivera G., M., I. Orona C., I. Sánchez C., H. Macías R., J. Martínez S. y J. Estrada A. 2001. Obtención de una función de producción del agua para el cultivo de alfalfa mediante riego por goteo

- subsuperficial (cintilla de goteo) en la Región Lagunera. Memorias del XI Congreso Nacional de Irrigación (ANEI). Guanajuato. Guanajuato México. Pág. 165-168.
- Rivera G., M. y J. Estrada A. 2002. Producción de alfalfa mediante riego por goteo subterráneo (dos años de evaluación). Memorias del XXXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. pag. 275.
- Rivera G., M. 2003. Producción de forrajes mediante riego por goteo subsuperficial. Informe de investigación. Fundación Produce Región Lagunera (estados de Durango y Coahuila.).
- Rivera G., M., I.. Sánchez C y J. Estrada A. 2003. Alfalfa production using subsurface drip irrigation. Work Shop San Diego, California. USA.
- Rivera G., M. y J. Estrada A., I. Orona C. y G. González C.. 2004. Funciones de producción hídricas para la alfalfa (Medicago sativa) en riego por goteo subsuperficial o subterráneo. Memorias de la XVI Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. pag.642-646.
- SAGARPA. 2001. Anuario estadístico de la producción agropecuaria y forestal Región Lagunera Coahuila y Durango.
- Sánchez C., I. 2002. Fundamentos para el Diseño de Sistemas de Riego Presurizado. CENID-RASPA INIFAP.
- Somohano M., D. 2003. Sistema de goteo con cinta enterrada para la producción de forrajes. ENGALEC.Torreón, Coah. México.
- Vaziri, C. M. and W. Gibson. 1972. Subsurface drip irrigation for Hawaii an sugarcane. In 31 St. Report. Hawaii Sugar. Technol. Annual Conf. 18-22 Honolulu. Hawaii: Hawaii an Sugar Plants Assoc.

Comité Editorial del CENID-RASPA

Presidente: Dr. Ignacio Sánchez Cohen

Secretario: Ing. Raquel Anguiano Gallegos

Esta publicación se terminó de imprimir en el mes de Diciembre del 2004 en los talleres del Grupo Colorama de Torreón, Coahuila.
Su tiraje consta de 1,000 ejemplares



CENID-RASPA

Km 6.5 margen derecha canal Sacramento Gómez Palacio. Durango. MÉXICO. Apdo. Postal 41, Cd. Lerdo, Dgo. Tels. y Fax: 01 (871) 719-10-76, 719-10-77 y 719-11-34

e-mail: rivera.miguel@inifap.gob.mx