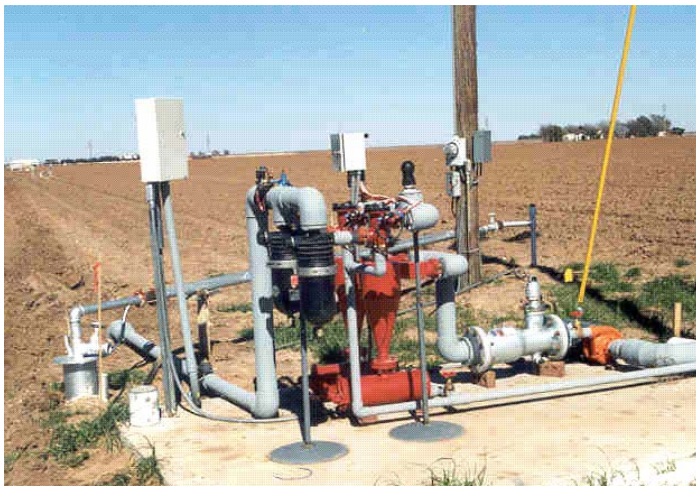


**PRODUCCIÓN DE ALFALFA CON RIEGO
POR GOTEO SUBSUPERFICIAL O
SUBTERRÁNEO**



CONTENIDO

Parte I: Entendiendo el Sistema de Riego por Goteo Subterráneo	2
Introducción	4
Operación del Sistema de Riego por Goteo Subterráneo (RGS)	5
Ventajas del Riego por Goteo Subterráneo (RGS)	5
Inconvenientes del RGS	7
Componentes de un Sistema RGS	8
Conclusión	10
Referencias	10
PREGUNTAS FRECUENTES ACERCA DEL RIEGO POR GOTEO	12
Parte II: <u>PRODUCCIÓN DE ALFALFA CON RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL O SUBTERRÁNEO</u>	16
INTRODUCCIÓN	19
Desarrollo histórico	19
Movimiento del agua en el suelo	20
Comparación del riego por goteo subsuperficial y el superficial	21
Diseño hidráulico	22
Componentes principales de un sistema de riego por goteo subsuperficial o subterráneo	22
Características hidráulicas de las líneas regantes	24
Relación carga-gasto	24
Coeficiente de variación del gasto del emisor	25
Longitud máxima de las líneas regantes	27
Tipo de líneas regantes en riego por goteo subsuperficial	30
Selección del gasto del emisor	30
Espaciamiento entre emisores y regantes	31
Profundidad de instalación de las líneas regantes	32
Preparación del suelo e instalación de las regantes	34
Pendiente del terreno	35
Cuándo y cuánto regar	36
Necesidades de filtración	37
Riesgo de taponamiento físico	37
Riesgo de taponamiento biológico	38
Evaluación del sistema de riego	39
Producción de alfalfa y eficiencia en el aprovechamiento del agua	42
CONCLUSIONES	44
Agradecimientos	45
Literatura citada	45

Parte I
Entendiendo el Sistema de Riego por Goteo
Subterráneo

Entendiendo el Sistema de Riego por Goteo Subterráneo

Juan Antonio Chávez Durón [Compilador]



**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y
PECUARIAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL DEL NOROESTE
CAMPO EXPERIMENTAL COSTA DE ENSENADA**

Introducción

Los valles agrícolas localizados dentro de la cuenca Guadalupe son Ojos Negros, Guadalupe y La Misión. En estos valles se siembran cultivos hortícolas, forrajeros, floricultura y se desarrolla la vitivinicultura (en Guadalupe) más importante de México. Además, la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada, tiene instalada dos acueductos (uno en Guadalupe y otro en La Misión) para surtir a la ciudad de Ensenada, con un volumen de extracción de 12.8 Mm³ anuales. Para asegurar la sustentabilidad de los valles y las actividades que ahí se desarrollan, se tiene que mejorar la eficiencia de riego en los cultivos actualmente sembrados. Entre los principales se encuentra la alfalfa, por los grandes volúmenes de agua que requiere. De implementarse el sistema de riego subterráneo, se abatirían el consumo de agua por el cultivo de la alfalfa en un 20 al 40%. Esto significaría un ahorro de 3.8 a 7.6 millones de m³ de agua anuales, considerando una superficie de siembra de 1,500 hectáreas. Por otra parte, el incremento en los costos de la energía eléctrica y la sobreutilización de los mantos acuíferos ha llevado a un incremento en los costos de bombeo del agua. Por lo tanto, el uso eficiente del agua disponible es esencial para producir cultivos de altos requerimientos de agua como la alfalfa. La alfalfa es un cultivo importante en el estado de Baja California, así como en la región Costa de Ensenada, pues es el principal forraje utilizado en la alimentación del ganado, tanto de leche como de carne. Sin embargo, la alfalfa utiliza una gran cantidad de agua. El uso consuntivo alcanza los 120 cm en el año y hasta 200 cm en el desierto. El riego por goteo subterráneo (RGS) es una tecnología bien establecida y es una alternativa viable que ofrece el potencial para reducir la cantidad de agua utilizada para irrigar la alfalfa. Los módulos demostrativos a nivel comercial en Baja California Sur, Sonora, y en la Laguna llevados a cabo por el INIFAP, consistentemente han aumentado la eficiencia en el uso del agua, abatiendo los costos de energía eléctrica hasta en un 40% y aumentando el rendimiento de forraje de una 10 al 15%. Existen además experiencias en Estados Unidos (California, Arizona) donde igualmente se ha mostrado un incremento en el rendimiento de la alfalfa debido al uso de RGS cuando se comparó al riego por surco o por aspersión, además de que se han encontrado que las enfermedades de las hojas de la alfalfa se reducen en comparación a alfalfas regados con riego por aspersión y por tanto el forraje producido es de mayor calidad.

El riego de goteo subterráneo es la aplicación frecuente lenta de agua al perfil de suelo por emisores colocados a lo largo de una línea de entrega colocada bajo la superficie de suelo. Aunque el RGS sea uno de los métodos modernos más viejos de irrigación, avances relativamente recientes en tecnología de plásticos y de equipo lo han hecho más económico y duradero.

Operación del Sistema de Riego por Goteo Subterráneo (RGS)

Los sistemas de RGS son diseñados para aplicar pequeñas cantidades del agua en forma frecuente. El sistema debe funcionar lo bastante a menudo para evitar oscilaciones grandes en el contenido de humedad del suelo. El objetivo es mantener el contenido de humedad del suelo en un nivel que es óptimo para el crecimiento de la planta y desarrollo de la raíz. Por lo tanto, es importante que el riego con el RGS sea programado usando dispositivos como equipo de medición de humedad del suelo o de la evapotranspiración, o estaciones meteorológicas al contrario de otros métodos de riego como calendarios fijos que no son basados en las necesidades del cultivo.

Ventajas del Riego por Goteo Subterráneo (RGS)

La investigación ha mostrado que el RGS tiene muchas ventajas; algunos de ellos son descritos a continuación.

Eficiencia de Aplicación de Agua y Uniformidad

La eficiencia de aplicación de agua es la proporción de la cantidad del agua colocada en la zona de raíz del cultivo y usado por un cultivo en relación con la cantidad total de agua que se aplicó al campo. Los sistemas de goteo subterráneo manejados correctamente humedecen la zona de raíz uniformemente en todas las partes del campo mientras que al mismo tiempo mantiene la superficie del suelo seco reduciendo pérdidas de agua debido a la evaporación. Una superficie de suelo seca también reduce el crecimiento de malezas y permite el tráfico de implementos aún durante el riego. La investigación también ha demostrado que las pérdidas por filtración profunda y por escorrentía pueden ser reducidas con estos sistemas de goteo subterráneo.

Eficiencia de Uso de Agua

La Eficiencia de Uso de Agua (EUA) es la producción de un cultivo por unidad de agua aplicada. La EUA tiene varias implicaciones importantes relacionadas con la sustentabilidad de la agricultura, el suelo y la conservación de agua, y la producción de alfalfa en la Costa de Ensenada. Estas implicaciones serán más importantes en el futuro al aumentar la competencia por recursos de agua para uso agrícola y urbano. En algodón, se encontró que de ocho métodos de irrigación, el RGS tenía la más alta EUA. En otros trabajos de investigación en maíz con riego por goteo subterráneo se encontró que las producciones máximas fueron conseguidas con el 75 por ciento de evapotranspiración (ET). La evapotranspiración es la pérdida combinada del agua por la evaporación de la superficie del suelo y de la transpiración de las plantas. También se encontró que el tomate casi dobló el rendimiento sobre los métodos de irrigación convencionales cuando el RGS en combinación con prácticas de fertilización apropiadas. Finalmente, otro estudio que se está realizando para evaluar la eficiencia del RGS contra irrigación de surco de alfalfa. En los dieciocho primeros meses de operación, las producciones fueron 22 por ciento mayores en los campos irrigados con el goteo subterráneo, en comparación con el surco, usando el 6 por ciento menos de agua. Años subsecuentes las producciones han sido el 26 a 35 por ciento más altas en los campos con RGS con tasas similares de aplicación de agua.

Menor Consumo de Energía del Bombeo

Los sistemas de RGS funcionan con presiones inferiores que los sistemas de irrigación presurizados convencionales. Los fabricantes de los productos del RGS de cinta/tubo generalmente recomiendan presiones de operaciones en el rango de 8-20 libras por pulgada cuadrada (lpc). La presión de operación en la bomba es más alta que la presión en la cinta/tubo ya que esto implica el levantamiento del bombeo y pérdidas de fricción en tubos y accesorios. Dependiendo del terreno irrigado, la presión de operaciones del sistema aún es inferior que sistemas convencionales presurizados. Un análisis económico conducido por Bosch et al. (1992) indica que los sistemas subterráneos de baja presión tienen gastos de energía inferiores que sistemas de riego de pivote central porque estos tienen exigencias de presión más altas. Los sistemas de pivote central también bombean dos veces más agua por hectárea por día y tienen menor eficiencia de aplicación de agua.

Inconvenientes del RGS

Costo Inicial del Sistema

Los sistemas de RGS son generalmente más caros de instalar que otros tipos de sistemas de irrigación. Los gastos pueden extenderse de 15,000 pesos a 35,000 pesos por hectárea. Varios parámetros que afectan considerablemente el costo del RGS son: el grado de filtración necesario para el agua; vida esperada del sistema y espaciado de los laterales. Los sitios con el agua limpia necesitan filtros menos complicados y por consiguiente menos caros, en comparación con sitios que tienen agua más sucia. La vida esperada del sistema es dependiente del diseño, operación y mantenimiento de todos los componentes del sistema. Los representantes de la industria indican que los sistemas correctamente diseñados y mantenidos deberían durar hasta 15 años. Sistemas incorrectamente diseñados, operados y con deficiente programa de mantenimiento son sujetos a tapamiento e intrusión de raíz y tendrá una vida más corta.

El espaciado de los laterales también afecta el costo del sistema. El espaciado de los laterales es dependiente del cultivo que va a ser sembrado, la química y textura del suelo, Los sistemas con el espaciado de laterales más amplio son menos costosos para instalar y mantener que sistemas con el espaciado más estrecho.

Germinación

La germinación de semilla con sistemas de RGS es muy específica según el sitio y puede o no ser posible según la profundidad de la semilla, la textura del suelo, espaciado de los laterales, y gasto de los emisores. Para muchos cultivos será necesario un sistema de irrigación alterno para la germinación.

Manejo de la Salinidad

En zonas con problemas de salinidad, los RGS normalmente concentran la sal en los bordes externos del bulbo húmedo. Lo que esto significa es que las concentraciones de sal serán mayores cerca de la superficie del suelo, entre medio de las cintas/tubos, o cerca del fondo del bulbo húmedo. Los productores tendrán que tener esto en mente e idear estrategias

para lidiar con el exceso de concentraciones de sales en el suelo.

Componentes de un Sistema RGS

Laterales o cinta de riego

El componente clave de un RGS es el lateral o cinta de riego que es colocado en la zona de raíz del cultivo y entrega el agua al cultivo. Cintas y tubos son dos productos disponibles para su uso como laterales. Las cintas son más delgadas que la tubería y vienen en grosores de 4 a 20 mil. Las cintas generalmente cuestan menos que los tubos y son comúnmente usados en cultivos anuales. Los tubos vienen en grosores de 20 a 45 mil y por consiguiente son más caros. Los tubos son comúnmente usados en instalaciones permanentes debido a que su esperanza de vida es más larga.

El agua es enviada por el lateral hacia el perfil del suelo por los emisores que están localizados dentro del lateral. Los emisores vienen en varias formas y tamaños y pueden ser fabricados como orificios directamente en la cinta durante la fabricación, o puede ser fabricado como una unidad separada y luego pegadas o insertadas en la cinta/tubo durante el proceso de fabricación.

Ningún método es necesariamente mejor que el otro; cual seleccionar depende del uso intencionado, así como de otras consideraciones como el precio, propensión al tapamiento, fiabilidad y vida esperada. El diámetro de el la cinta/tubo desempeña un papel importante en que distancia los laterales pueden enviar eficazmente el agua. Las tasas de flujo del emisor son comúnmente especificados en el gasto de agua por longitud de lateral (p.ej gpm por 100 pies de cinta/tubo), o gasto de agua por emisor (p.ej gph por emisor). Entre otros factores, el flujo de emisor debería ser seleccionado basado en características de suelo, disponibilidad de agua y calidad, y necesidades de la planta. Hay propiedades adicionales para el emisor y la cinta/tubo como características de flujo de presión, uniformidad de distribución, y el coeficiente de la variación de fabricación, que debe ser considerada en la fase de diseño del sistema de irrigación. El diseño del RGS es complicado, productores considerando el sistema del RGS deberían de hablar de estas propiedades con especialistas calificados.

Filtración

La filtración de agua es muy importante y desempeña un papel importante en la determinación de la vida esperada de un RGS. La filtración quita las partículas suspendidas del agua que por otra parte podría tapar los laterales. Todos los sistemas RGS requieren un equipo de filtración. El grado de la filtración requerido depende de la composición química y física del agua. En general, el agua superficial requiere un mayor grado de la filtración que el agua subterránea. El agua relativamente limpia puede pasar con un filtro de cedazo o de discos, mientras el agua más sucia puede requerir filtros de medios. Los filtros deben tener la capacidad suficiente para tratar la cantidad de agua requerida por el sistema de irrigación para asegurar una filtración apropiada.

Capacidades de Inyección de Agroquímicos

La capacidad de inyección de agroquímicos es importante para los sistemas de RGS. Primero, los productos deben ser inyectados periódicamente para mantener el sistema en función. Según la calidad del agua de riego, la inyección de ácido o cloro pueden ser necesarios en forma continua o intermitente. Acidificar el agua baja su pH y previene que sustancias químicas se precipiten y tapen la cinta/tubería. El cloro puede también sea necesario para prevenir el crecimiento de algas o bacterial dentro del sistema de riego. Los inyectores también pueden ser usados para administrar fertilizantes y/o pesticidas directamente en la zona de raíz del cultivo en forma muy uniforme.

La investigación ha demostrado que los nutrientes en la zona de raíz aumentan la eficiencia del nutriente. Esto resulta en una reducción en los precios de aplicación de fertilizantes y también reduce el potencial de pérdidas por percolación de nutrientes.

Componentes del Sistema RGS Adicionales

Flujómetros: Los flujómetros son necesarios para supervisar la cantidad del agua que se aplicada a un campo. Si el gasto de agua cambia a partir de un período de tiempo al otro, esto puede ser una indicación de problemas como tapamiento o roturas de las cintas de riego.

Manómetros: Los Manómetros son necesarios para asegurar que el sistema funciona a la presión diseñada para la cinta/tubería utilizada. Además, los manómetros son usados para determinar el estado operacional del sistema de irrigación. Si el la presión cambia de la

presión normal a que está trabajando el sistema de riego y el operador no ha hecho ningún cambio puede haber problemas como aquellos señalados anteriormente.

Reguladores del sistema: Otra ventaja del RGS es la posibilidad de automatización en varios grados de complejidad para el funcionamiento del sistema. Si el productor lo desea, el sistema puede ser encendido y apagado manualmente. Los productores que desean más automatización pueden elegir de un amplio espectro según su nivel de comodidad. Los reguladores de sistema pueden encender y apagar el sistema varias veces en el día, o en cualquier día de la semana; o el sistema puede ser automatizado al grado que el riego es automáticamente ajustado basado en información meteorológica en tiempo real. Además, parámetros del sistema de tales como el gasto, la presión, pH del agua, tasas de inyección de fertilizantes, etc. pueden ser monitoreados y la información enviada en cualquier momento mediante una computadora y módem. Los ajustes de sistema de irrigación pueden sea cambiado en el sitio o remotamente por el uso de una computadora.

Algunos otros componentes necesarios son válvulas aliviadoras de presión y de vacío, válvulas check, válvulas de prevención de retorno, válvulas de control de campo, y reguladores de presión.

Conclusión

Los desafíos y las oportunidades de usar RGS son muchos. El RGS tiene potencial para aumentar el rendimiento de los cultivos, aumentar la conservación de agua y suelo, mejorar la calidad de cultivo, y reducir la degradación ambiental. Sin embargo, las ventajas no pueden ser conseguidas sin un cambio en nuestro modo de pensar sobre la irrigación eficiente y una buena voluntad de adaptarse y aprender nuevo tecnologías. Cuando los recursos de agua agrícolas se hagan cada vez más escasos en el futuro, el RGS puede presentar una solución parcial con algunos desafíos asociados con la agricultura de riego.

Referencias

Bosch, D.J., Powell, N.L., and Wright S. (1992). An economic comparison of subsurface microirrigation with center pivot sprinkler irrigation. *J. Prod. Agric.*, Vol. 5, no. 4.

House, E.B. (1920). Irrigation by means of under ground porous pipes. Colorado Experiment Station Bulletin. 14 pp.

Hutmacher, R.B., Phene, C.J., Mead, R.M., Clark, D., Shouse, P., Vail, S.S., Swain, R., van Genuchten, M., Donavon, T., and Jobes, J. (1992). Subsurface Drip Irrigation Of Alfalfa In The Imperial Valley. Proceedings of the 22nd California/Arizona Alfalfa Symposium, pp. 20-32. University of California and University of Arizona Cooperative Extension.

Introduction to T-Tape. (1992). T-Systems International Inc. 7545 Carroll Road, San Diego CA.

Lamm, F.R., Spurgeon, W.E., Manges, H.L., and Rogers, D.H. (1992). Drip Irrigation For Corn: A Promising Prospect. Irrigation Journal, 3, pp. 12-16.

Nevada Water Facts. (1992). Department of Conservation and Natural Resources, Division of Water Planning. Carson City, Nevada.

Phene, C.J., McCormick, R.L., Miyamoto, J.M., Meek, D.W., and Davis, K.R. (1985). Evapotranspiration and Crop Coefficient of Trickle Irrigated Tomatoes. In Proceedings of the 3rd International Drip/Trickle Irrigation Congress, Fresno, CA. November, 1985. ASAE Publication No. 10-85 (2): 823-831.

Phene, C.J., Davis, K.R., McCormick, R.L., Hutmacher, R.B., and Pierro, J. (1988). Water Fertility Management for Subsurface Drip Irrigated Tomatoes. In Proc. Int. Symp. On Integrated Management Practices for Tomato and Pepper Production in the Tropics, 325-338. Shanhua, Taiwan, ROC.

Phene, C.J., Hutmacher, R.B., Ayars, J.E., Davis, K.R., Mead, R.M., and Schoneman, R.A. (1992a). Maximizing Water Use Efficiency With Subsurface Drip Irrigation. International Summer Meeting of the American Society of Agricultural Engineers. Paper No. 922090. St. Joseph Michigan.

Phene, C.J., Hutmacher, R.B., and Davis, K.R. (1992b). Subsurface Drip Irrigation: Cotton Does Not Need To Be A High Water User. Cotton Engineering Systems Conference, pp. 489-493.

PREGUNTAS FRECUENTES ACERCA DEL RIEGO POR GOTEO

1. ¿Que es la T-cinta?

La T-cinta es una manguera de riego de goteo de alta calidad con emisores integrados. Está diseñado para entregar el agua con uniformidad alta a cultivos que son plantados en surcos. Está formado por una tira de plástico de polietileno delgado pero fuerte, que es hecho en diámetros de 3/8" (9.5 mm), 5/8" (16 mm), 7/8" (22 mm) o 1-3/8" (de 35 mm) "y pegado" en la costura. Este "pegamento" de polietileno también forma una pista de flujo dentro de la costura.

2. ¿Por qué es referido como "cinta"?

Porque consiste en un tubo plegable que "se infla" cuando es presurizado "y se desinfla" cuando la presión disminuye o desaparece. Cuando no tiene presión se puede enrollar en forma similar a una cinta.

3. ¿Cómo trabaja la T-cinta?

- ✓ El agua es enviada del tubo de suministro principal al surco de flujo, también conocido como el Canal Regulador de Flujo Turbulento a través de interrupciones en el pegamento que se mencionan como entradas.
- ✓ Este canal de flujo turbulento está diseñado para regular exactamente el flujo del agua en el canal y mantener excelente uniformidad reduciendo la susceptibilidad de la cinta al taponamiento.
- ✓ El agua sale del canal de regulación por una salida dividida que está diseñada para impedir la intrusión de raíz, proporcionando un flujo de goteo verdadero sin salir a chorros.

4. ¿Cómo calculo el gasto por emisor?

Use la fórmula siguiente:

$$\frac{Q100 \times 60}{1200} \times Se = \text{gph por emisor}$$

Donde: Q100 = Galones por minuto por 100 pies

60 = Minutos en una hora

1200 = Pulgadas en 100 pies

Se = Espaciado entre emisores en pulgadas

Ejemplo (para 504-08-670):

$$\frac{0.670 \times 60}{1200} \times 08 = 0.27 \text{ gph por emisor}$$

5. ¿Cómo determino cual producto de T-cinta usar?

Mientras existen Sitio Web (en Internet) que proporcionan pautas generales, le sugerimos ponerse en contacto con su distribuidor de T-cinta para determinar el producto que le conviene según el tipo de cultivo y las condiciones de suelo.

6. ¿Cuál es la distancia máxima que puedo extender la T-cinta?

Usando nuestro Modelo 1100 (diámetro de 1-3/8" (de 35 mm)) es posible extender una distancia de 1/2 milla (2,640 pies (805 m)) con una uniformidad de emisión del 90 %. Otros modelos pueden ser extendidos de 130 pies (40 m) a 1/4 de milla (1320 pies (402 m)). La longitud de cinta variará según el diámetro de la T-cinta y la pendiente del terreno.

7. ¿Qué espaciados de emisor están disponibles en la T-cinta? El espaciado estándar de emisor para cultivos de surco es como sigue:

Medida EUA: 4, 8, 12, 16, 18, 24 pulgadas

Métrica: 10, 20, 30, 40, 45, 60 cm

8. ¿A qué presión trabaja la T-cinta?

Para el modelo 504 el rango de presión es de 4 a 8 psi (0.30 a 0.55 BAR).

Para modelos 306, 506 y 708 el rango de presión es de 4 a 10 psi (0.30 a 0.70 BAR).

Para todos los otros es de 4 a 15 psi (0.30 a 1.05 BAR).

9. ¿Puede la T-cinta ser reciclada?

Sí. La T-cinta está hecha del polietileno que puede ser reciclado en productos útiles como contenedores de cuarto de niños, bandas de frenado, bancos de parque y recipientes de polietileno. La cinta debe pasar por un proceso de lavado amplio y caro que lo libra de suciedad y residuos químicos.

10. ¿Puedo comprar la T-cinta directamente de la fábrica?

No. tenemos una red de distribuidores en todo el mundo que proveerán a productores de la T-cinta más una variedad de otros productos y servicios para asistirle con sus necesidades de riego de goteo.

INSTALACIÓN

11. ¿Debería instalar la cinta con los emisores hacia arriba o hacia abajo?

Los emisores siempre deberán ser instalados hacia arriba. Las palabras "Este lado" así como identificación del producto están impresas directamente en la T-cinta. Si los emisores son instalados hacia abajo hay una posibilidad de tapamiento debido a que cualquier arena fina o arcilla se precipitarán al fondo de la cinta tapando los orificios.

12. ¿Debería yo instalar la T-cinta encima o debajo de la tierra?

Esto depende del tipo de cultivo y de las prácticas de manejo. La T-cinta es comúnmente enterrada en profundidades de 1 a 24 pulgadas (2.5 a 60 cm). Este resultará en las siguientes ventajas:

- ✓ Menor daño en campo por animales y trabajadores
- ✓ Mantiene la T-cinta en la posición apropiada ya que no es movida por viento o fluctuaciones de temperaturas.
- ✓ Causa menos evaporación superficial del agua, productos químicos y fertilizantes.
- ✓ Colocaciones más uniformes del agua, materiales de protección del cultivo y nutrientes en la zona de raíz de planta.

13. ¿Hay equipo disponible para enterrar la T-cinta?

Sí. Hay varios fabricantes de equipo de instalación y recuperación de cinta de goteo de alta calidad. El equipo va de una configuración muy básica a diseños muy sofisticados que incorporan varias funciones como capas de acolchados y plantadores.

14. ¿Está bien instalar la T-cinta bajo acolchados plásticos?

Sí. La cinta de goteo ha sido usada bajo acolchado plástico durante muchos años. Se tienen que tomar ciertas precauciones:

Cuando se esté usando acolchado de plástico opaco hay que ser cuidadoso de no cortar la cinta cuando se esté plantando por el acolchado.

Cuando se esté usando acolchado de plástico claro existe la posibilidad de quemado de la T-cinta por los rayos del sol enfocados por gotitas de agua formadas en la parte inferior del plástico. Es aconsejable enterrar completamente la cinta cuando sea usado bajo el plástico claro.

15. ¿Los rollos de T-cinta son fáciles de manejarse?

Sí. Los rollos de T-cinta pesan entre 25 a 85 libras (11 a 39 kilogramos) según el diámetro de cinta y grosor de la pared. El diámetro máximo de carrete es de 20 pulgadas (51 cm).

16. ¿Cómo conecto la T-cinta a mis líneas de agua? ¿Cómo cierro los finales de la T-cinta?

Varias compañías hacen accesorios de calidad para utilizarse con productos de cinta. Su distribuidor de T-cinta proporcionará éstos para usted. Hay una línea extensa de accesorios y una variedad de modos de unir la T-cinta a sus líneas de agua según el tipo de tubo usado. Hay modos alternativos de unirse sin accesorios usando la pequeña tubería de polietileno de diámetro y asegurando con lazos de alambre. Los finales pueden estar cerrados doblando la cinta y asegurando con una manga corta de la misma cinta.

MANTENIMIENTO

17. ¿Qué problemas tienen que ver con la cinta de goteo?

La cinta de goteo está hecha de material de polietileno delgado y es susceptible a daño por bordes filosos en el equipo de instalación, de palas, y de insectos y roedores. El buen mantenimiento del agua es esencial cuando se use cualquier producto de riego de goteo debido a que todos los productos de goteo consisten de cámaras diminutas que son susceptibles a la obstrucción.

18. ¿Taparé la T-cinta?

Cualquier producto de riego de goteo se tapará si la fuente de agua no es filtrada o si el producto no es limpiado con agua con regularidad o si no se tiene un programa de mantenimiento adecuado.

19. ¿Cómo mantengo el sistema de goteo para prevenir el taponamiento?

La limpieza periódica con agua de los filtros, tuberías subterráneas, y cinta laterales ayudará a prevenir problemas potenciales asociados con el taponamiento de los emisores. Un programa de mantenimiento que consiste en tratamientos con ácido y cloro durante la temporada mantendrá a las cintas laterales libre de contaminantes.

20. ¿Será la compactación de suelo un problema para la cinta enterrada?

Esto no es un problema si la cinta es instalada y usada correctamente. Cuando la cinta es instalada debajo de la superficie del suelo la herramienta de instalación "rebana" la tierra depositando una capa de suelo suave encima de la cinta que finalmente se acomodará. Si este suelo consiste en arcilla pesada es aconsejable correr el sistema en seguida de modo que la cinta forme "un túnel" cuando se expanda con la presión del agua. Este túnel se queda abierto para permitir la expansión de la cinta cuando se presurice.

Si se permite que el suelo se seque en exceso encima de la cinta y ocurre la compactación es posible que la cinta no sea capaz de expandirse adecuadamente.

21. ¿Cómo se puede prevenir la intrusión de raíz?

La intrusión de raíz puede ser minimizada o prevenida evitando estrés hídrico durante la estación de crecimiento. Las raíces también pueden ser suprimidas inyectando el ácido o usando herbicidas que matan las raíces alrededor de los emisores sin dañar la planta.

22. ¿Cuál es la ingestión de tierra y como puede ser prevenido?

La ingestión de tierra ocurre cuando la tierra entra en la cinta por los emisores. Este es debido al vacío que es causado por la presión negativa que pasa dentro del lateral cuando el agua dreña cuesta abajo una pendiente. La presión negativa ocurre si no hay ningún medio de introducir el aire en el lateral para prevenir un vacío. Las válvulas de alivio de aire/vacío deberían ser instaladas en todos los puntos altos en un sistema. La ayuda de válvulas de alivio de aire/vacío previene la ingestión de suelo permitiendo al aire en las tuberías prevenir vacíos y agotando el aire para evitar burbujas de aire atrapadas.

23. ¿Cuándo debería usarse el ácido en un sistema de riego de goteo?

La acidificación del agua de irrigación puede ser necesaria para tratar precipitados de hierro o calcio. Estos precipitados pueden obstruir las aberturas de emisor.

ACCESORIOS

24. ¿Que es la manguera Layflat (aplastada)?

La manguera Layflat es una tubería de vinilo plegable que está conectada con una válvula de control y está puesta a lo largo del borde de un campo. Esta manguera lleva el agua a la cinta de goteo o laterales que están conectados con esta. La manguera está hecha de material tejido con una cubierta de vinilo en colores como azul, verde y gris. El tamaño va de 1-1/2" a 8" (3.8 a 20 cm). Es llamada "layflat" porque esta se infla cuando es presurizada, pero permanece aplastada cuando no está presurizada. El equipo agrícola puede pasar arriba de la manguera layflat sin dañarla. La manguera es fácilmente enrollada al final de la temporada de cosecha y movida a otra posición. La manguera Layflat por lo general dura de 3 a 5 años antes de tener que ser sustituida.

25. ¿Cuál es MANGUERA OVAL O TUBO LLANO?

Manguera Oval y Tubo Llano son marcas registradas para una manguera de polietileno plegable que es usada en lugar de la manguera layflat. Esta manguera no sufre un colapso completamente como la manguera de layflat, pero se hace un oval cuando no está presurizada. Los tamaños van de 1-1/2" a 6" (3.8 a 15 cm). Este tipo de manguera durará hasta 10 años en uso.

26. ¿Que es la TUBERÍA DE ESPAGUETI?

La Tubería de Espaguete es un nombre para una tubería pequeña de diámetro que es usada para unir la T-cinta a la manguera layflat y al tubo de manguera oval cuando no son deseados los accesorios. Esta tubería es usada en diámetros de 1/8" a 3/8" (0.318 a 0.953cm) y cortada en varias longitudes para regular la presión que entra en las T-cinta laterales.

27. ¿Que son LAZOS DE ALAMBRE?

Los lazos de alambre son pedazos de alambre de acero inoxidable de aproximadamente 4 a 6 pulgadas (10 a 15 cm) de longitud con lazos en ambos finales. Son usados para unir la T-cinta a la tubería de espaguete enrollándose alrededor de la cinta y tubería y enroscándose con un instrumento que engancha en los lazos de alambre.

Parte II

PRODUCCIÓN DE ALFALFA CON RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL O SUBTERRÁNEO



**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 Avalos
Dr. Ignacio Orona Castillo
Dr. Ignacio Sánchez Cohen

Folleto Científico No 13

Gómez Palacio, Durango

Diciembre de 2004

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 disponibilidad 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 productividad del agua.

La presente publicación tiene el objetivo de proveer información básica sobre el 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-RAPSA

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 tres 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 predios de pequeños propietarios (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 una 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 Hawai (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 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 noventa, 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 (Marthuada, 1999).

Movimiento del agua en el 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 arcillosos 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). 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 (Evet et al., 1995).

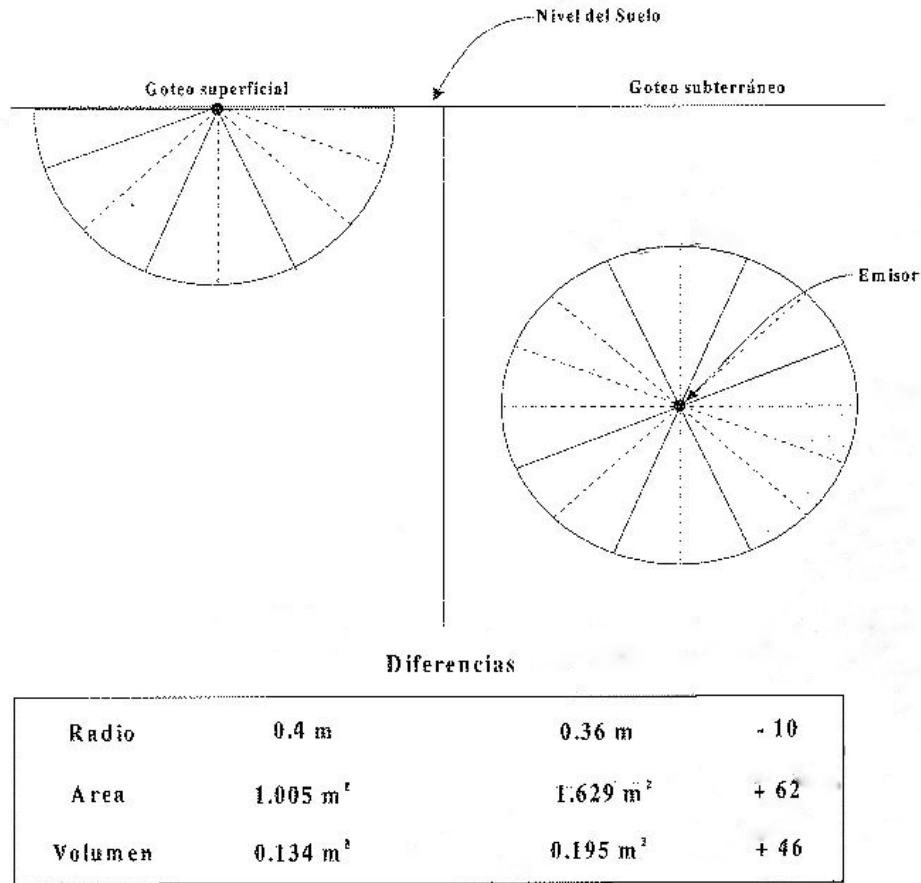


Figura 1. Patrones de humedecimiento en riego por goteo superficial y subsuperficial o subterráneo (adaptado de Ben-asher y Phene, 1993)

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 y 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.

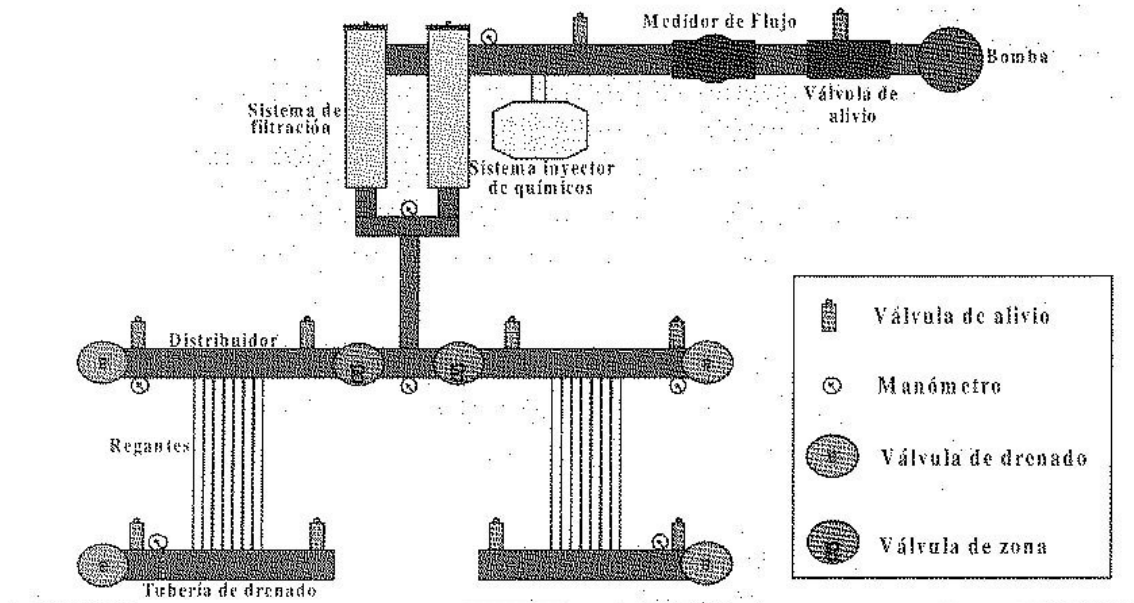


Figura 2. Componentes de un sistema de riego por goteo subsuperficial (adaptado de Lamm et al., 2003)

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:

$$Q = kH^x \quad (1)$$

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 de 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	Exponente <i>k</i>				
	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	16.6	30.9

Fuente: Sánchez (2002)

Coefficiente de variación del gasto del emisor

Herrera et al. (2000) mencionan que si 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:

$$CVq = \left[\frac{STDq}{\bar{q}} \right] * 100 \quad (2)$$

Donde: CVq es el coeficiente de variación del gasto (%), STDq es la desviación estándar del gasto de los emisores (L h⁻¹) y \bar{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 ± 3 CVq).
2. Aproximadamente el 95 por ciento de las observaciones se encuentran comprendidas en el entorno (1±2 CVq).
3. El 68 por ciento de las observaciones realizadas están en el intervalo (1±CVq).

En el cuadro 2 se presentan los valores del coeficiente de variación del gasto y los valores del exponente (x) de la ecuación carga-gastos 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 un tubería similar enterrada a 15 cm de profundidad el incremento fue de solo 6 °C.

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

Cintilla de goteo	CVq(%)	x
T-Systems International (T-Tape)	3	0.05 a 0.52
Netafim (Streamline y Thyphoon)	3	0.44 a 0.48
Rainbird (Raintape TPC)	2	0.40
Roberts Irrigation Products (RO-DRIP)	3	0.52 a 0.57
ToroAg (Aqua-Traxx)	2 a 4	0.50 a 0.54
Chapin Watermatics (Twin-wall)	1 a 3	0.51 a 0.58
Nelson Irrigation Corp (Pathfinder)	2.5	0.48
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 (CVq) 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.

Murguía 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 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 (psi)	Temperatura del agua (°C)			
		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
Raintape	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:

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

Donde: H_{pst} es la pérdida de carga permisible en la sección de riego (m), Q_o 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 (H_{pLr}), la cual para este caso será el 25 por ciento de la carga permisible de la sección de riego.

$$H_{pLr} = H_{pst} * 0.25 \quad (4)$$

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

$$H_{fLr} = \left(\frac{1.22 * 10^{10}}{D^{4.87}} \right) * \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} * L * F \quad (5)$$

Donde H_{fLr} es la pérdida de carga por fricción de la línea regante (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 de 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 (Q_o) por el número de emisores del regante.

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

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

La longitud máxima del regante se obtiene cuando el valor de H_{fLr} es igual o menor que el valor de H_{pLr} .

Cuadro 4. Valores de C (Hazen Williams) para diferentes tubos 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:

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

Donde $L_{\max_{Lr}}$ 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:

$$H_f = \left(\frac{0.95 * Q_o}{k} \right)^{1/x} \quad (8)$$

$$Q_f = 0.95 * Q_o \quad (9)$$

Donde: Q_o 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 u sin regulador

de presión.

Tipo de tubería	Regulador de presión	k_2	k_3
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 tupo 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 mm (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⁻¹m⁻¹ para suelos arenosos y de 1.8 a 2.4 Lh⁻¹m⁻¹ para suelos arcillosos.

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 Lh⁻¹m⁻¹ para suelo de

textura franco arcillo limosa (Phene, 1999) y franco limosa (Neufeld et al., 1988) y de 2.3 a 2.5 Lh⁻¹m⁻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).

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 (L h ⁻¹)
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)	16 – 22	0.15 – 0.35	203 - 610	0.98 – 1.32
Roberts Irrigation Products (RO-DRIP)	16 – 22	0.125 – 0.375	102 - 610	0.41 – 1.29
ToroAg (Aqua-Traxx)	16 – 22	0.1 – 0.375	102 - 610	0.49 – 1.02
Chapin Watermatics (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			1.2 – 2.45
Drip tape manufacturers and Engineers. Inc.	16 - 22	0.125 – 0.375	108 - 438	0.57 – 1.06

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^a) comparó espaciamiento de 0.76, 1.0 y 1.5 m en un suelo franco arenosos, 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 es 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 Lh⁻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. Es modelo es de la siguiente forma:

$$D = (7.464Q^{0.386}T^{0.491}IB^{0.051}Ps^{0.397}) * 2 \quad (10)$$

Donde: D es el diámetro máximo de humedecimiento (cm), Q es el gasto del emisor (Lh⁻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 rastro 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 las 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.	IB (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 limosa	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

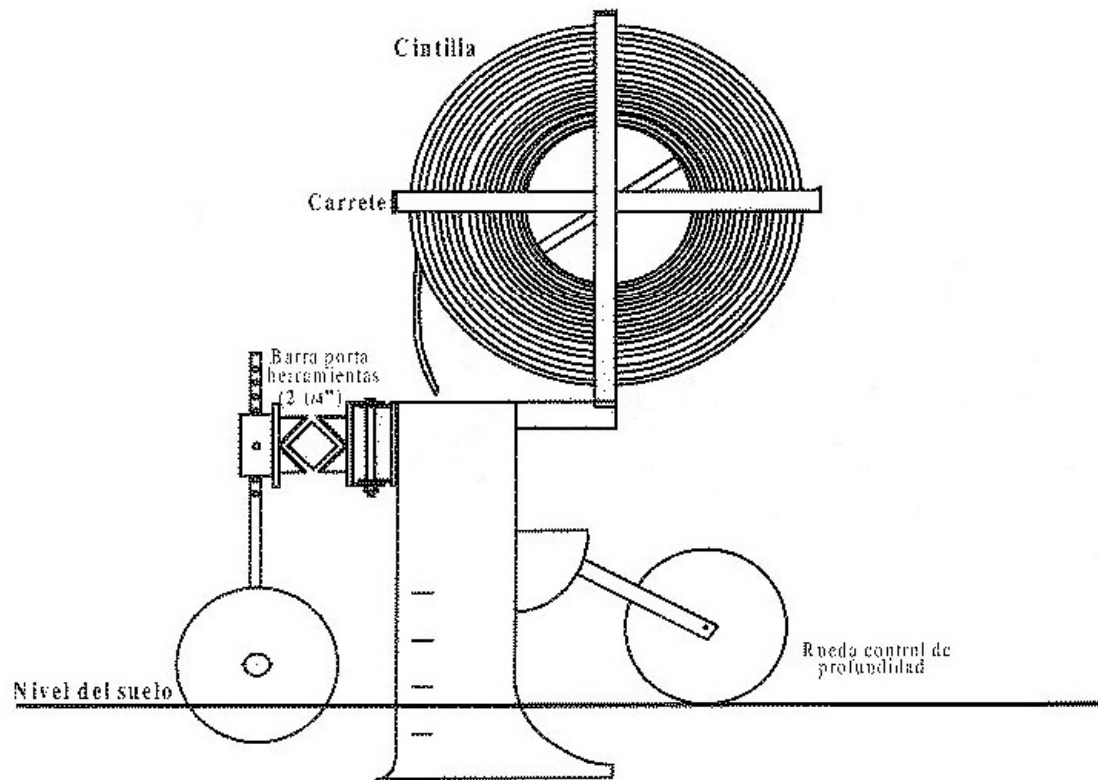
Nota: Se considera un tiempo de riego de cuatro horas y un contenido de humedad del suelo (Ps %) equivalente a un 20 por ciento de abatimiento de la humedad aprovechable y para cintilla de goteo de 1 L h⁻¹ por emisor.

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.

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.



Otra forma de instalar la cintilla es utilizando 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 cintrilla. Al utilizar este equipo es necesario que una persona en la parte posterior de la máquina se asegure que la cintilla no se tense durante su instalación. Las cintas se instalan con los goteros 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).

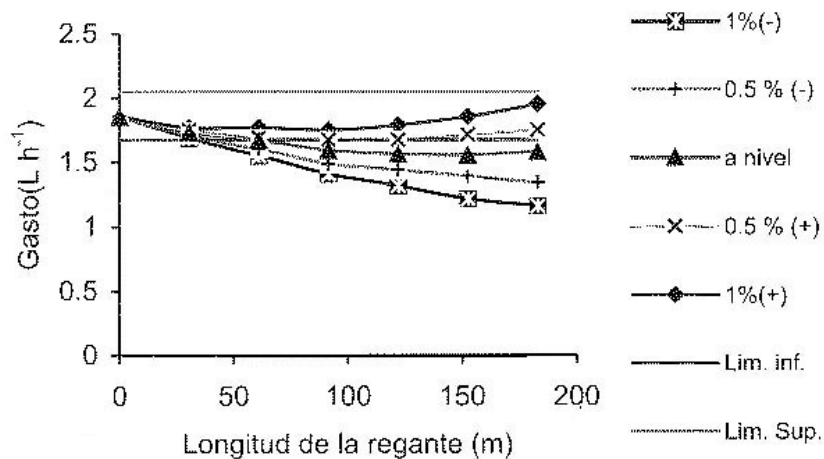


Figura 5. Pendiente óptima en riego por goteo sub-superficial. Adaptada de (Lamm et al., 2003).

Cuadro 8. Métodos de instalación de las líneas regentes en riego por goteo subsuperficial o subterráneo.

Método de instalación	Ventajas	Desventajas
Zanjado manual	- Apropiado para pendientes severa y áreas confinadas	- Lento - Labor intensiva - Se requiere rellenar la zanja
Arado vibrador u oscilador	- Rápido en instalaciones pequeñas y medianas - Disturbio mínimo del suelo - No se requiere llenar la zanja de tierra	- Requiere checar la profundidad de instalación continuamente - No puede usarse en pendientes abruptas > 20 por ciento - Tiende a restirar la cintilla - Apropiado para recorridos cortos
Máquina zanjadora	- Más rápida que la instalación manual - Puede usar una hoja cuchilla de una pulgada para la mayoría de las instalaciones - Profundidad uniforme	- Instalación lenta - Desabarata 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

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-RASAPA 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 (ET_o), la cual se obtiene al multiplicar la evaporación acumulada por el coeficiente del tanque K_t (para el caso de la Región Lagunera K_t = 0.8).

Por otra parte, la mayor eficiencia en el uso del agua se obtuvo al considerar el 70 por ciento de la ET_o. 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 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 ET_o-PPE para obtener los rendimientos máximos, y al 70 por ciento de ET_o-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 salida del 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.

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 Alma et al., 2002 b.

Riesgo 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 partes 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.

$$UE = \left(\frac{1 - STD}{\bar{X}} \right) * 100 \quad (11)$$

Donde: *UE* es la uniformidad estadística (%), *STD* es la desviación estándar de la descarga o gasto de los emisores (Lh^{-1}) y \bar{X} es la media de la descarga de los emisores (Lh^{-1}).

$$UD = \left(\frac{\bar{X}_q}{\bar{X}} \right) * 100 \quad (12)$$

Donde: *UD* es la uniformidad de distribución (%), \bar{X}_q es el gasto medio de los cuatro emisores con menor descarga (Lh^{-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)	$\text{HCO}_3^- > 2 \text{ meq L}^{-1}$ $\text{pH} > 7.5$	1. Inyección continua de ácido: para mantener pH entre cinco y siete. 2. Inyección periódica de ácido: para mantener el pH debajo de cuatro por un tiempo de 30 a 60 minutos diariamente.
Precipitación de hierro (precipitación rojizo)	Concentraciones de hierro superiores a 0.1 ppm	1. Aireación para oxidar el hierro (mejor tratamiento para concentraciones de 10 ppm o más) 2. Precipitaciones 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 a 0.1 ppm	Inyectar 1 ppm de cloro por 1.3 ppm de manganeso delante del filtro.
Bacteria férrica (limo de color rojizo)	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. Inyección de cloro a tasa de 0.5 a 1 ppm continuamente o 20 ppm 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 seleccionaron 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 subsuperficial.

Clasificación	<i>UE</i> (%)	<i>UD</i> (%)
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 evapotranspiración real (*E_{tr}*) y el agua aplicada (*A_a*) mediante el riego, multiplicando el producto por cien (Ecuación 13).

$$EA = \left(\frac{E_{tr}}{A_a} \right) * 100 \quad (13)$$

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 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 en la alfalfa con riego por goteo subsuperficial (G-SUB) al compararlo con aspersión (A) y gravedad (G).

Autor y año	Agua aplicada (cm)		Ahorro de Agua (%)	Rendimiento (t de m.s.h ⁻¹)		Incremento (%)	EAA (kg m ⁻³)	
	G-SUB	G. o A.		G- SUB	G. o A.		G- SUB	G. o A.
Neufeld et al., 1998	47.1 (75%ET)			16.4			3.5	

Sistema de Riego por Goteo Subterráneo

Phene, 1999	190 (1993-1994)	190 (G)	0	16.8	12.1 (G)	38.9	0.9	0.64
Alam et al., 2002	61.5 (5 cortes)	74.7 (A)	17.7	21.5	20.6 (A)	4.3	3.5	2.7
Somohano, 2002	128			24.7			1.9	
Rivera et al., 2004	145.8 (80% ETo) PPe	170 (G)	14.2	23.0	14.4 (G)	59.7	1.6	0.85
Godoy et al., 2004	108	153.8 (G)	29.8	16.1	12 (G)	34.2	1.5	0.77

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 alfalfa.

Autor y año	Tipo de material: Gotero (g) o cintilla (c)	Ep (mm)	Er (cm)	Eg (cm)	Prof. (cm)	Qe (L h ⁻¹)	Textura del suelo	IBe (cm h ⁻¹)	Li (cm h ⁻¹)	Ir
Neufeld et al., 1998	Netafilm (c)	0.375	91	60	45	2.35	Franco limoso	0.8-1.3	0.43	Dos veces al día
Phene, 1999	Ram (g)	20	102	102	70	2	Franco arcilloso limoso	0.8-1.3	0.2	Al abatirse 1 mm de Etr
Alam et al., 2002	Nelson (c)	0.175	100	60.1	30-45	1.4	Franco arenoso	2.5-3.8	0.23	Tres veces por semana
Somohano, 2002	Cintilla	0.250	100	40	30-40	1	Franco arenoso	2.5-3.8	0.25	Riegos a diario
Rivera et al., 2004	T-Tape (c)	0.375	70	20	30	0.5	Franco	1.9-2.5	0.36	Dos veces por semana
Godoy et al., 2004	T-Tape (c)	0.375	100	30	50	0.6	Migajón arcillo arenoso	1.1-1.9	0.3	Cada tercer día

Ep = Espesor de pared, Er = espaciamento entre regantes, Eg = espaciamento entre emisores, Prof. = profundidad de instalación de las regantes, Qe = gasto del emisor, IBe = Infiltración básica estimada de acuerdo a la textura del suelo, Li = lámina de riego infiltrada e Ir = 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 Ciencias 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 especialmente 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 2202_b. Filtration and maintenance considerations for subsurface drip irrigation (SDI) systems. *Irrigation 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. Análisis of susrface 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 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. Zacueta. 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.
- Evet, 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’I Microirrigation Congress*. Ed. F. R. Lamm. 135-140 St. Joseph, Mich. ASAE.
- Figuroa 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.
- Murguía 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 Symposium, 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 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 Temperatura 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. Martinez 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 hídrica 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 in sugarcane. In 31 St. Report. Hawaii Sugar. Technol. Annual Conf. 18-22 Honolulu. Hawaii: Hawaii an Sugar Plants Assoc.