



**GOBIERNO
FEDERAL**

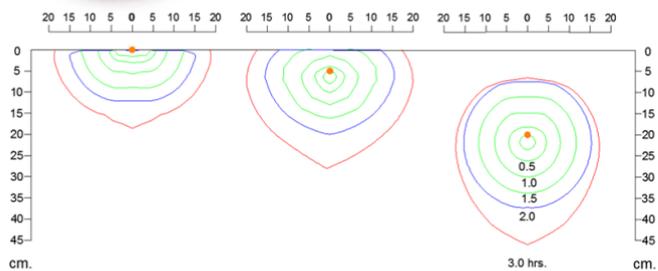
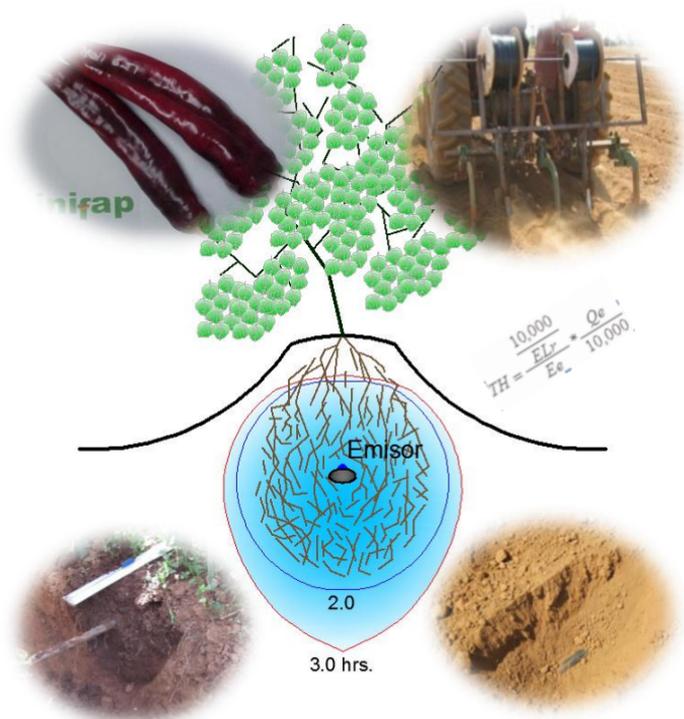
SAGARPA

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

PRODUCCIÓN DE CHILE SECO CON RIEGO POR GOTEO SUB-SUPERFICIAL

Miguel Servín Palestina
Alfonso Serna Pérez
Ricardo A. Sánchez Gutiérrez



CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORTE CENTRO
CAMPO EXPERIMENTAL ZACATECAS

Folleto Técnico No. 41

Noviembre de 2012

ISBN 978-607-425-886-8

**SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN**

Lic. Francisco Javier Mayorga Castañeda
Secretario

Ing. Ignacio Rivera Rodríguez.
Subsecretario de Desarrollo Rural

MSC. Mariano Ruíz-Funes Macedo
Subsecretario de Agricultura

Ing. Ernesto Fernández Arias
Subsecretario de Fomento a los Agronegocios

MC. Jesús Antonio Berúmen Preciado
Oficial Mayor

COORDINACIÓN GENERAL DE GANADERÍA

Dr. Everardo González Padilla
Coordinador General

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y
PECUARIAS**

Dr. Pedro Brajcich Gallegos
Director General

Dr. Salvador Fernández Rivera
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

MSc. Arturo Cruz Vázquez

Coordinación de Planeación y Desarrollo

Lic. Marcial A. García Morteo

Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORTE CENTRO

Dr. Homero Salinas González
Director Regional

Dr. Uriel Figueroa Viramontes
Director de Investigación

Dr. José Verástegui Chávez
Director de Planeación y Desarrollo

M.A. Jaime Alfonso Hernández Pimentel
Director de Administración

CAMPO EXPERIMENTAL ZACATECAS

PhD. Francisco G. Echavarría Cháirez
Director de Coordinación y Vinculación en Zacatecas

**PRODUCCIÓN DE CHILE SECO CON RIEGO POR
GOTEO SUB-SUPERFICIAL**

Ing. Miguel Servín Palestina¹
Dr. Alfonso Serna Pérez¹
Ing. Ricardo A. Sánchez Gutiérrez¹

¹ Investigadores del Campo Experimental Zacatecas

PRODUCCIÓN DE CHILE SECO CON RIEGO POR GOTEO SUB-SUPERFICIAL

**Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias
Progreso No. 5,
Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán,
C.P. 04010 México, D.F.
Teléfono (55) 3871-7800**

ISBN: 978-607-425-886-8

Primera Edición 2012

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la Institución.

Cita correcta:

Servín, P.M., Serna, P.A., Sánchez G.R. 2012, PRODUCCIÓN DE CHILE SECO CON RIEGO POR GOTEO SUB-SUPERFICIAL. Folleto Técnico No. 41. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP, 45p.

Contenido

Introducción	2
Riego Subsuperficial (SGE).....	3
Humedecimiento del perfil del suelo	5
Ventajas y desventajas de los SGE	6
Ventajas.....	6
Desventajas	9
Diseño e instalación de un SGE.....	12
Mantenimiento y operación de un SGE.....	19
Evaluación	22
Material necesario para la evaluación	23
Pasos para la evaluación.....	23
Programación del riego	24
Programación del riego con parámetros climáticos.....	25
Descripción de los tipos de SGE evaluados.	26
Primera Fase.	26
Segunda Fase.....	26
Resultados de la evaluación de los SGE.....	28
Primera Fase.	28
Segunda Fase.....	33
Conclusiones	40
Anexo 1. Ecuaciones para la evaluación de sistema de riego	41

Introducción

La actividad agrícola consume más del 80% del agua disponible a nivel mundial. En México se utiliza el 77%, con 6.3 millones de hectáreas bajo riego en las que la eficiencia es menor al 50% (Sánchez *et al.*, 2002). La agricultura siempre ha sido una depredadora de los recursos hídricos debido al desperdicio de agua aún en sistemas tecnificados, ya que se desconocen los requerimientos hídricos de los cultivos.

En el estado de Zacatecas se cultivaron cerca de 36 mil hectáreas con chile (*Capsicum annum L.*) para secado en el año 2010, lo que implicó una ocupación de cinco millones de jornales y una derrama económica de alrededor de 2 millones de pesos (SIAP, 2011). La región chilera tiene un clima semi-seco con promedios anuales de 400 mm de precipitación pluvial y 1600 mm de evapotranspiración potencial.

Debido a que Zacatecas se sitúa en una región con alto déficit evapotranspirativo se hace necesaria la utilización de riego para la producción de chile. Sin embargo, contar con un sistema de riego tecnificado no garantiza el ahorro de agua, puesto que además es necesaria una buena programación de los requerimientos de riego del cultivo y un buen manejo y operación del sistema de riego. Por ejemplo, los sistemas de riego por goteo en el estado de Zacatecas operan con una eficiencia de aplicación menor al 85% debido a un manejo inadecuado.

La tecnificación del riego plantea tres preguntas básicas: cuánto, cuándo y cómo regar los cultivos para obtener máxima eficiencia y productividad del agua. Las respuestas

a las dos primeras preguntas constituyen el programa o calendario de riegos. En la región, la programación del riego normalmente se ejecuta sin soporte técnico alguno, basado únicamente en la experiencia de los usuarios, por lo que para realizarla de una manera adecuada se requiere una mayor difusión de las técnicas disponibles.

La respuesta a como regar se puede responder de dos formas: el sistema de riego y la forma de aplicar el riego. Los sistemas de riego por goteo pueden alcanzar hasta un 95 % de eficiencia de aplicación, cuando además se elige la mejor forma de colocar el agua en el área radicular de las plantas. El uso del sistema por goteo enterrado (SGE) es una forma de aplicación del agua de riego que se ha utilizado exitosamente en varios cultivos, con la que se logra ahorrar agua eliminando la evaporación directa y los escurrimientos superficiales. Sin embargo, es necesario contar, para su uso, con información obtenida a partir de evaluaciones en las zonas productoras.

En esta publicación se presentan las experiencias obtenidas con el uso de sistemas de riego por goteo enterrado (SGE) en la producción de chile para secado, detallando ventajas y desventajas de uso, así como de diseño, instalación, mantenimiento y operación, con la finalidad de tener éxito al implementar esta tecnología. También se describen los resultados de dos años de evaluación en la producción de chile seco dentro del Campo Experimental Zacatecas.

Riego Subsuperficial (SGE)

El interés en el riego por goteo subsuperficial o subterráneo, que consiste en la colocación de líneas de riego por debajo

de la superficie del terreno, se ha incrementado durante las últimas dos décadas como consecuencia de la presión por conservar las fuentes de agua, además de la disponibilidad en el mercado de los componentes del sistema. Las primeras referencias de este tipo de riego datan de 1860 como una idea surgida en Alemania (Marhuenda, 1999). En Estados Unidos de América el riego por goteo subsuperficial fue parte del desarrollo del riego por goteo superficial, iniciándose en 1959 en California (Davis, 1967) y Hawái (Vaziri y Gibson, 1972).

Durante la década de los años sesentas, la aplicación del agua se realizaba a través de tubos con orificios o hendiduras adheridos o fabricados en el interior del tubo. Otra forma de aplicación fue a través de emisores discretos pegados en el interior del tubo. Generalmente estos sistemas se operaban a baja presión variando la filtración de acuerdo con la calidad del agua. La mayoría de los problemas de estos sistemas se relacionaban con la baja uniformidad de emisión, su mantenimiento y el taponamiento de emisores debido a precipitaciones químicas e intrusión de raíces. Sin embargo, a la larga el desarrollo del plástico (polietileno) y el cloruro de polivinilo (PVC), permitieron el desarrollo del riego por goteo.

El interés en el riego por goteo se incrementó durante los años ochenta, especialmente durante la segunda mitad de esa década, debido a la publicación de múltiples reportes de investigación y a que se contó con una gran variedad de productos comerciales. El interés y desarrollo de esta actividad en ambos sectores (comercial y científico) continuó durante los años noventa, especialmente en regiones con baja disponibilidad de agua. Actualmente, el riego por goteo

subsuperficial o subterráneo está en fase de expansión en muchos países del mundo (Marhuenda, 1999).

Humedecimiento del perfil del suelo

El agua se distribuye a través del suelo debido a la acción de fuerzas gravitacionales y capilares (Brooks *et al.*, 1997). El movimiento vertical se efectúa debido a la fuerza de atracción terrestre o gravitacional y tiende a ser dominante cuando el suelo alcanza su máxima capacidad de retención de humedad (Brady y Weil, 2000). El movimiento lateral del agua y parte del movimiento vertical cuando el suelo está seco o no saturado ocurre debido a las fuerzas de capilaridad (Gavande, 1979; Brady y Weil, 2000), una vez que el perfil del suelo alcanza la saturación el movimiento del agua por capilaridad tiende a ser despreciable (Rivera, 2004 y 2007).

En el riego por goteo, el agua se aplica desde un emisor sobre una superficie generalmente no saturada lo que propicia la formación de un bulbo de humedecimiento cuya forma y dimensiones dependerán del volumen de agua aplicado, de la textura del suelo y su estratificación (Brady y Weil, 2000). La finalidad de este tipo de riego es humedecer la mayor parte de la zona radicular y que la distribución del agua en el bulbo sea por medio de las fuerzas de capilaridad para evitar la percolación del agua del suelo. Para ello se aplican riegos con láminas pequeñas y con menores intervalos entre riegos (Bravo y Mojarro, 2006).

La posición del emisor con respecto al perfil del suelo juega un papel muy importante en las características del bulbo de humedecimiento y el ahorro de agua de riego. A partir de trabajos experimentales en donde se colocaron líneas

regantes sobre la superficie del suelo y enterradas (SGE), se encontró que al aplicar la misma cantidad de agua en un suelo franco arcilloso se obtuvo que el radio de humedecimiento fue un 10 por ciento menor en SGE. Sin embargo, el área y el volumen húmedo fueron 62 y 46 por ciento mayores, respectivamente, que cuando se colocó el emisor sobre la superficie (Ben-Asher y Phene, 1993). Con respecto a la reducción en la aplicación del riego, en trabajos experimentales realizados con maíz para grano se encontró que la evapotranspiración del cultivo en SGE se redujo un 13.9 por ciento en comparación con el goteo superficial, esto debido a una reducción de la evaporación directa del suelo (Evet *et al.*, 1995).

Ventajas y desventajas de los SGE

Las ventajas y desventajas dependen en gran parte del cultivo. Para establecer estos sistemas se deben considerar las variaciones en suelo y climas, además el conocimiento que tienen los productores acerca de los sistemas de riego juega un papel importante en el éxito y fracaso de los SGE (Freddie, 2002). A continuación se describen algunas ventajas y desventajas de estos sistemas.

Ventajas

Uso más eficiente del agua: Se reducen enormemente la evaporación directa del agua del suelo, los escurrimientos superficiales y las percolaciones profundas, mejorando la infiltración y el almacenamiento del agua de lluvia, obteniendo suelos secos con menos costra y volúmenes húmedos compactos.

Menos riesgo de contaminación del agua: Se tiene menos lixiviado de nutrientes y agroquímicos por efecto de percolación profunda o escurrimientos superficiales.

Mejora la oportunidad para el uso de aguas residuales: Aplicaciones de riego de menor volumen y más frecuentes pueden mantener un potencial mátrico constante y bajo, reduciendo los riesgos de salinidad. También se reduce el movimiento de patógenos, y el contacto con animales y humanos.

Mayor uniformidad de aplicación de agua: Una mejor uniformidad en el campo resulta en mejor control del agua, nutrientes y sales.

Mejor salud de la planta: Menos enfermedades fungosas debido a tallos más secos. El sistema también puede utilizarse para algunos tipos de fumigación del suelo.

Mejor manejo de fertilizantes y plaguicidas: La aplicación más oportuna y precisa de fertilizantes y pesticidas, puede resultar en mayor eficacia de uso.

Mejor control de la maleza: Reduce la germinación y crecimiento de malezas principalmente en zonas secas con baja precipitación.

Facilita la operación y administración del predio: Muchas labores de cultivo se pueden hacer durante el riego. Se tiene menos compactación del suelo y reducción de costras causadas por el riego. Las restricciones de aplicación relacionadas con el clima como vientos fuertes, superficies de suelo húmedo y temperaturas de congelación son menos importantes. La fertilización puede aplicarse como riegos

pequeños. También hay menos equipos de riego expuestos a daños vehiculares, y un menor esfuerzo por parte de los trabajadores para realizar labores de cultivo como el deshierbe.

Automatización: Los sistemas se pueden automatizar bajando los costos de amortización debido al incremento en la vida útil de los materiales utilizados.

Disminución de costos de energía: Las presiones hidráulicas de trabajo son mucho menores que en algunos tipos de riego por aspersión. Cualquier ahorro de agua atribuible a SGE también reducirá los costos de energía.

Integridad del sistema: Hay menos piezas mecanizadas en comparación con el uso de rociadores. La mayoría de los componentes son de plástico y están menos sujetos a la corrosión. No es necesario mover el sistema de riego, por lo que las plantas experimentarán menos daño. También se reduce el potencial de daño y/o robo debido al vandalismo.

Flexibilidad de diseño: Se ajusta a diferentes formas y tamaños del terreno, en comparación con sistemas de riego por aspersión y pivote central. No tiene limitaciones por pendiente del terreno.

Longevidad de sistema: Las instalaciones pueden tener una buena amortización cuando el sistema está correctamente diseñado y administrado. Una vida más larga del sistema permite amortizar los costos de inversión durante muchos años reduciendo los costos de producción del cultivo. Además, en algunos casos puede haber menos daño al sistema provocado por animales silvestres o insectos. Sin embargo, se debe considerar que los daños en

estos sistemas requerirán de más esfuerzo para su detección y reparación.

Desventajas

Patrón de mojado más pequeño: El patrón de mojado se puede reducir demasiado en suelos de textura gruesa, resultando en una raíz poco desarrollada, que podría limitar la supervivencia de la planta cuando por fallas en el sistema se tengan intervalos de riego más largos.

Monitoreo y evaluación de riego: Las aplicaciones del agua de riego pueden ser en gran medida invisibles, por lo que es más difícil evaluar su funcionamiento, por ejemplo, la eficiencia y/o uniformidad en la aplicación del agua. Una mala gestión del sistema puede reducir el rendimiento y la calidad los cultivos.

La aplicación puede ser afectada por el suelo: La presión causada por el suelo alrededor de la línea regante puede superar la presión atmosférica y alterar el flujo del emisor. El movimiento de agua es de mayor a menor gradiente de presión, esta presión puede ser muy cambiante debido a la heterogeneidad de los suelos lo que puede ocasionar flujos preferenciales y la reducción en la eficiencia de almacenamiento de humedad en la zona radicular.

Reducción del ascenso de la humedad hacia la superficie del suelo: Dependiendo de las características del suelo y la profundidad de instalación los SGE pueden limitar la geminación y el establecimiento del cultivo. Esto puede agravarse en suelos con grietas verticales. Además de que la salinidad se puede incrementar por encima de la

línea regante, aumentando el peligro de toxicidad por sales en plantas emergentes o recientemente trasplantadas.

Limitación en las operaciones de labranza: La labranza primaria y/o secundaria podría limitarse debido a la colocación de la línea regante.

Restricciones en el desarrollo de la raíz: En algunos cultivos, en las primeras etapas fenológicas el crecimiento radicular limitado puede ser un problema para el aprovechamiento del agua y nutrientes, por lo que se debe considerar la aplicación de riego superficial en dichas etapas.

Problemas en la rotación de cultivos debido a la distancia entre líneas regantes: Al hacer cambio en cultivos anuales la separación puede ser una limitante por los diferentes arreglos topológicos, por lo que se debe tener mucho cuidado en ubicar las líneas regantes al momento de establecer el siguiente cultivo.

Efectos en el desarrollo de la planta: Ciertos cultivos pueden no desarrollarse correctamente bajo los SGE en algunos suelos y climas. Sin embargo, en árboles frutales los SGE pueden ser benéficos debido a una mayor área de mojado.

Costos: Los SGE tienen una elevada inversión inicial en comparación con otras alternativas. Esas grandes inversiones no pueden justificarse en áreas con inseguridad en la disponibilidad de agua.

Problemas de filtración: Como en todos los sistemas de microirrigación, la filtración de agua es una cuestión crítica para asegurar el funcionamiento correcto y longevidad del sistema. Sin embargo, la cuestión puede ser más crítica para los SGE a largo plazo, en donde se desea una vida del sistema de más de diez años. Para los SGE se requiere más recursos de filtración para asegurar una mayor calidad del agua que en algunos sistemas de microirrigación superficiales, ya que no existen oportunidades para limpiar manualmente los emisores.

Otros problemas de mantenimiento: Para estos sistemas puede ser más difícil localizar y reparar fugas causadas por roedores y daño mecánico. Las líneas regantes deben supervisarse para ubicar intrusiones de raíz. En algunos casos es necesario aplicar productos químicos (Treflan), lo que representa un costo adicional para la producción. Las raíces de algunos cultivos perennes pueden comprimir las líneas regante y reducir el flujo. Se deben drenar las líneas regantes periódicamente para eliminar acumulaciones de sedimentos y otros precipitados.

Cuestiones operacionales: La operación y administración requiere de una supervisión más consistente, ya que hay menos indicadores visuales de operación del sistema y de la uniformidad de riego. La programación de riego es necesaria para evitar la aplicación de mayores o menores volúmenes de agua de riego. Es necesario monitorear con medidores de presión y de flujo para un buen funcionamiento del sistema.

Cuestiones de diseño: Se deben considerar drenes laterales al final de las líneas regante así como una buena

distribución de válvulas de admisión y expulsión de aire por que existe la posibilidad de formar vacíos que provoquen la entrada de suelo al interior de la línea regante. Los errores de diseño son más difíciles de resolver ya que la mayoría del sistema está por debajo de la tierra.

Diseño e instalación de un SGE

Para diseñar un SGE se han propuesto varias metodologías que no involucran necesariamente los mismos factores o parámetros. Sin embargo, para un buen diseño es necesario dar respuesta a las preguntas ¿cuánto? y ¿cómo? regar. Dentro del criterio tradicional de aplicación del agua con riego por goteo se considera lo siguiente:

1) Necesidades hídricas del cultivo. Se estiman para un periodo entre riegos, acumulando el uso consuntivo o evapotranspiración diaria del cultivo. El uso consuntivo (U_c) es el volumen de agua utilizada para satisfacer la evaporación directa del agua del suelo, la transpiración de la planta y los procesos asociados a la síntesis y producción de biomasa por parte del cultivo y se expresa en mm/día (Sánchez *et al.*, 2006).

Considerando la fecha de trasplante a partir de la segunda semana de abril y las características climáticas promedio de la región chilera del estado de Zacatecas, se determinó la evapotranspiración máxima del cultivo de chile en mm/día mediante la modelación del Coeficiente del Cultivo (K_c) y datos de evaporación acumulada a intervalos de 20 días. Estos resultados se muestran en el Cuadro 1 para diferentes días después del trasplante (DDT).

La lámina de riego (Lr) inicial comprende los riegos de trasplante (RT), sobre riego 1 (SR1) y sobre riego 2 (SR2). Estos se aplican con intervalos de 2 a 3 días y láminas de riego que acumuladas logran llevar el contenido de humedad del suelo hasta su capacidad de campo, que equivale al 100% de la humedad aprovechable y que es el límite máximo de agua absorbida por el suelo después de que cesa el drenaje vertical.

Cuadro 1.- Uso consuntivo del chile en el estado de Zacatecas

<i>Días después del trasplante</i>	Uc (mm/día)
<i>0-10</i>	Lr inicial (RT,SR1,SR2)
<i>0 -20</i>	4.2
<i>21 -40</i>	4.4
<i>41 - 60</i>	5.1
<i>61 -80</i>	5.1
<i>81 -100</i>	4.5
<i>101-120</i>	4.3
<i>121 - 140</i>	3.5
<i>141-160</i>	2.5

Posteriormente se continua con la programación del riego considerando Uc correspondiente al período en que se vaya aplicar el riego en días después del trasplante (DDT). Por ejemplo, entre los 21 y 40 DDT (Cuadro 1) se aplicará una lámina de 4.4 mm/día, por lo que si se va a regar cada 2 o 3 días estos requerimientos acumularían 8.8 y 13.2 mm, respectivamente, la cual sería nuestra lámina de riego. Para

estimar la lámina neta (L_n) a aplicar, es necesario ajustar con base en la eficiencia de aplicación del sistema de riego que generalmente es del 90%. Además cuando se presenten precipitaciones es necesario restar la magnitud de éstas a los requerimientos de riego acumulados, y en ocasiones muy probablemente no será necesario regar, pues la cantidad de lluvia será suficiente para cubrir los requerimientos del cultivo.

2) Disponibilidad y calidad de agua. Es importante localizar la fuente de abastecimiento en el plano pues de ahí parte la tubería de conducción de agua hasta las unidades de riego. También es importante determinar el gasto disponible, ya que éste determinará el área máxima a regar. Por otro lado, de las características del agua de riego va a depender la selección del tipo de gotero y sistema filtrante. En el caso de contener sólidos suspendidos y/o en solución (contaminantes orgánicos e inorgánicos) se debe conocer perfectamente sus concentraciones, para seleccionar correctamente el sistema de filtrado y el tratamiento del agua adecuado para evitar problemas de obstrucciones, tanto en la tubería como en los goteros.

3) Selección de la cintilla de riego. Este paso se considera como el más importante ya que hacer una adecuada selección de la cintilla de riego asegura el éxito del sistema de riego por goteo. La selección dependerá de las necesidades hídricas del cultivo, disponibilidad y calidad del agua, así como de la textura y estructura del suelo, y la forma y topografía del terreno, además del capital con que se cuente. A continuación se presentan algunas recomendaciones basadas en experiencias de investigación y observaciones de productores. Aunque la selección de la

cinta debe ser un traje a la medida y se recomienda que un técnico especializado apoye en esta decisión.

La cintilla de flujo libre se puede utilizar en terrenos con una pendiente menor al 0.3%, con líneas regantes de 5/8 de pulgada de diámetro y longitudes no mayores a los 100 m. En terrenos con pendientes mayores se recomienda la utilización de cintilla autocompensada, con líneas regantes de 5/8 de pulgada de diámetro y longitudes de hasta 130 m. La diferencia entre una y otra es que la cintilla autocompensada tolera las variaciones de presión manteniendo el mismo flujo de agua en los goteros a pesar del cambio de presión. Por el contrario, en la cintilla de flujo libre la variación de presión afecta considerablemente la descarga de los goteros lo que produce una baja uniformidad de la distribución de la humedad, sobre todo cuando las líneas regantes son muy largas. En los SGE es necesaria la utilización de cintas autocompensadas.

Con un mayor caudal del emisor hay una saturación más rápida en la superficie, lo cual genera un mayor movimiento horizontal del agua en detrimento del vertical, favoreciendo los escurrimientos superficiales incontrolados. En suelos arenosos se recomienda utilizar cintilla con flujo alto y espaciamientos entre emisores (Ee) de 15 y 20 cm. En suelos arcillosos se recomiendan cintillas de flujo bajo y espaciamientos entre emisores de 30 cm. Pero lo más recomendable en los SGE es la utilización de cintilla de flujo medio con separaciones entre emisores de 30 cm.

De acuerdo a la capacidad del suelo para retener humedad, en suelos con baja retención como los arenosos se

recomienda regar con mayor frecuencia (diariamente) y con tiempos de riego cortos. Mientras que en suelos con mayor capacidad de retención como los arcillosos se pueden manejar frecuencias más amplias (3 o 4 días), con tiempos de riego no mayores de 2 hrs. Para esto es necesario considerar la cantidad del agua que está aplicando el sistema de riego. Con respecto a la calidad de agua, si no se cuenta con un buen sistema de filtración no es recomendable el uso de cintillas de flujo bajo para aguas con un alto contenido de sólidos disueltos.

Cintillas disponibles

Para establecer una parcela y garantizar su funcionamiento es necesario conocer el tipo de cinta a utilizar, considerando el precio y la disponibilidad en el mercado. Una vez seleccionada la cintilla es necesario solicitar con su proveedor los datos técnicos. Para los SGE se recomiendan calibres mayores al 6 mil, es decir con un espesor de pared mayor a 150 micrones.

Instalación

Previo a la instalación de la cintilla, se recomienda efectuar un subsuelo para romper el piso de arado y para evitar flujos preferenciales causados por roedores o raíces en descomposición. Posteriormente un barbecho cruzado, un rastreo y realizar el surcado o construcción de camas en donde se colocará la cintilla de riego.

La cintilla se conecta sobre una tubería de distribución de agua al inicio de la sección, y al final de la sección se coloca una tubería de diámetro más pequeño no menor a 32 mm con la finalidad de drenar sólidos suspendidos y evitar taponamientos de emisores en la cintilla (Figura 1).

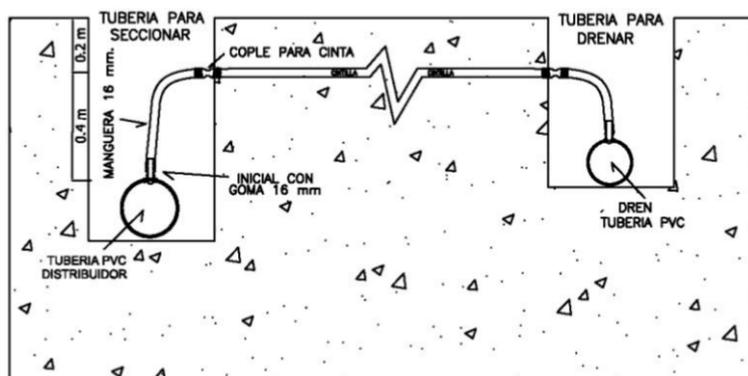


Figura 1.- Diagrama de instalación de cintilla sub-superficial

El tubo de distribución debe enterrarse mínimo a dos veces la profundidad de colocación de la cintilla, para evitar que la manguera se doble y obstruya el paso del agua afectando la uniformidad del riego (Figura 1).

Colocación de cintilla sub-superficial

La instalación de la cintilla de riego se puede realizar con un implemento como el mostrado en las Figuras 2 y 3. El implemento debe contar con un soporte en la parte superior para la colocación de los rollos de cintilla y cincheles que van depositando la cintilla de riego a la profundidad deseada. Para guiar y facilitar la colocación sub-superficial de la cintilla se colocan tubos curvos soldados en los cincheles. Al colocar la cintilla, se debe tener absoluto cuidado de que los emisores queden hacia arriba para evitar taponamientos por el precipitado de sólidos disueltos en el agua.



Figura 2.- Dispositivo mecánico para colocación de cintilla sub-superficial

Para un mejor funcionamiento de los SGE se debe considerar una tubería al final de las líneas regantes de tal forma que la cintilla esté conectada en ambos lados y facilitar el drenado.



Figura 3.- Operación del dispositivo para colocación de cintilla sub-superficial

Mantenimiento y operación de un SGE

Una característica fundamental de cualquier método de riego es proporcionar el agua en la cantidad requerida y distribuirla uniformemente en el suelo. En el caso particular del sistema de riego por goteo, su funcionamiento eficiente requiere que se distribuyan uniformemente tanto el agua como los nutrientes, ya que la fertilización se aplica a través del sistema de riego. Para lograr esto no basta con diseñar adecuadamente el sistema de riego sino que se requiere también operarlo de manera correcta a través del ciclo del cultivo.

Una vez que se conoce la cantidad de agua en litros por segundo (lps) que se utiliza en una sección de riego, es

necesario monitorearla por medio de flujómetros (Figura 4), los que normalmente se instalan en el cabezal de control. Por ejemplo, supongamos que es necesario un gasto de 10 lps para alimentar una sección de riego de 0.71 ha y el flujómetro nos indica un flujo mayor. Lo que se debe hacer es revisar que las demás válvulas de seccionamiento estén cerradas para asegurar que solo llegue agua a la sección que se riegue en ese momento. Si el problema persiste se debe revisar la tubería de conducción y distribución para descartar una fuga de agua.



Figura 4.- Flujómetro de volumen y gasto

En caso de que el gasto sea menor, se debe revisar que la bomba proporcione la presión adecuada mediante un manómetro (Figura 5). La presión deberá estar por encima de la presión de operación de la cintilla para compensar las pérdidas de carga hidráulica a través del sistema de

filtración y la tubería de conducción y distribución. La presión en el manómetro deberá estar arriba de los 15 PSI (libras sobre pulgada cuadrada). Si la presión está por debajo de ésta lectura se debe revisar que ningún objeto obstruya la succión de la bomba o que los filtros estén funcionando adecuadamente de acuerdo con la calidad del agua. En el Cuadro 3, se presentan los tipos de filtrado que deben usarse dependiendo de la calidad del agua.



Figura 5.- Manómetro medidor de presión

Cuadro 3. Tipo de filtrado de agua para sistemas de riego localizado con base en la fuente de agua. (Agricultura de las Américas, 1992).

Fuente del agua	Tipo de Aprovechamiento.	Material de obstrucción común	Tipo de filtro
Subterránea	Pozos cavados	- Arenas - Carbonato de calcio	- Malla
	Pozos perforados	- Arenas - Depósitos calcáreos - Hierro	- Hidrociclón - Malla
Superficial	Ríos, riachuelos	- Algas - Bacterias - Materia orgánica	- Arena - Malla
	Canales	- Algas - Bacterias - Materia orgánica	- Arena - Malla
	Represas	- Algas - Bacterias - Materia orgánica	- Arena - Malla

Evaluación

Para conocer la cantidad de agua que está siendo depositada por el emisor en la zona radicular, es necesario llevar a cabo una evaluación del sistema de riego. De acuerdo al ASAE (1998) los parámetros de uniformidad que se usan para evaluar los SGE son la uniformidad estadística (UE) y la uniformidad de distribución (UD), las cuales se calculan utilizando las Ecuaciones del Anexo 1

Material necesario para la evaluación

- 1.- Probetas
- 2.- Cronómetros
- 3.- Manómetros
- 4.- Recipientes (colectores de agua)
- 5.- Libreta de registro
- 6.- Palas para cavar



Figura 6.- Equipo para evaluación de sistemas de riego

Pasos para la evaluación

Paso 1.- Se seleccionan 50 emisores al azar por cada unidad de riego.

Paso 2.- Se cava alrededor de la cintilla de tal manera que se pueda colocar un recipiente debajo del emisor para coleccionar el agua.

Paso 2.- Se aforan los emisores por un tiempo de 6 minutos y se mide el volumen captado en milímetros. El resultado se divide entre 10 y se obtiene el gasto del emisor en LPH.

Paso 3.- Se calcula UE y UD para compararlos con los datos del Cuadro 4, para su clasificación.

Cuadro 4.- Criterios para la evaluación de los SGE

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.

Programación del riego

La programación del riego involucra la determinación de la cantidad y oportunidad del riego, es decir, cuánto y cuándo regar los cultivos con el propósito de prevenir los efectos adversos del estrés hídrico y el sobre riego. Aun cuando se han propuesto varios métodos para realizar esta tarea, el del balance de agua en el suelo es el método más completo y utilizado, y se basa en la siguiente ecuación.

$$\Delta\theta = R + P - ET - D \quad (3)$$

en donde: $\Delta\theta$ es el cambio del contenido de agua del suelo en un período de tiempo determinado (cm), R la cantidad de agua aplicada mediante el riego (cm), P es la lluvia (cm), ET es la cantidad de agua consumida o evapotranspirada por el cultivo (cm), y D el agua drenada o percolada por debajo de la profundidad de la zona radicular (cm). El término evapotranspiración (ET) se utiliza para referirse al proceso combinado de la evaporación del suelo, de las superficies de las plantas, y de la transpiración del agua a través de sus tejidos (FAO, 1977 y 1989).

Este método supone la determinación de cada uno de los componentes del balance de agua en el suelo para poder estimar el abatimiento de humedad y con ello la cantidad de agua por aplicar al cultivo. Supone también la determinación de la capacidad del suelo para retener el agua, y con ello el momento de aplicación de los riegos con base en un abatimiento máximo de la humedad en el suelo. Sin embargo, no siempre se dispone de la información o la instrumentación necesaria para estimar tales componentes, especialmente ET y D.

Programación del riego con parámetros climáticos

Este método consiste en realizar un balance hídrico en el perfil del suelo, tomando en cuenta, por una parte, las aportaciones de agua del riego y la lluvia, y por otra, la demanda evapotranspirativa del cultivo (Jensen *et al*, 1990). La parte fundamental del cálculo es la determinación de la evapotranspiración a partir de datos climáticos. Para realizar

una programación de riego en Chile se puede consultar la publicación de Servín y colaboradores (2010).

Descripción de los tipos de SGE evaluados.

Las evaluaciones se realizaron en terrenos del Campo Experimental Zacatecas (CEZAC-CIRNOC-INIFAP). Para ello se establecieron varias parcelas experimentales en los ciclos agrícolas 2010 y 2011 con cultivo de Chile mirasol para secado.

Primera Fase.

Esta fase se estableció en un terreno de textura franco-arcillosa. El trasplante se realizó del 24 al 28 de abril, estableciendo tres tratamientos con profundidad de colocación de cintilla de 0, 5 y 20 cm a partir de la superficie del suelo (Cuadro 5).

Cuadro 5.- Tratamientos del experimento del año 2010

<i>Tratamientos</i>	<i>Flujo</i>	<i>Arreglo Topológico</i>	<i>Profundidad (cm)</i>
T1	Bajo	Surcos	0
T2	Bajo	Surcos	5
T3	Bajo	Surcos	20

Segunda Fase

Se estableció en un terreno de textura franco-arcillosa. El Chile mirasol se trasplantó el 16 de abril del 2011, en donde se evaluaron 10 tratamientos, los cuales resultaron de las combinaciones entre arreglos topológicos (surcos y camas), tipo de flujo de la cintilla (flujo alto y medio que corresponden a gastos de 0.54 y 0.84 litros por hora (lph),

respectivamente y dos tipos de acolchado plástico (negro y plata), los tratamientos se muestran en el Cuadro 6.

El contenido de humedad del suelo se monitoreó por medio de reflectometría (TDR; resistencia a la tensión dieléctrica), utilizando una barra con sensores a 15, 30, 45 y 60 cm de profundidad en una unidad experimental por tratamiento. Se tomaron lecturas del contenido de humedad a cada 2 o 3 días con el fin de mantener un abatimiento de humedad del 10%, aproximadamente.

La lectura de contenido de humedad previo al riego (CHPR) se usó para determinar la lámina de agua necesaria (L_r) para restablecer el contenido de humedad a capacidad de campo CC en una zona de control de 60 cm de profundidad (P_r), mediante la ecuación $L_r = (CC - CHPR) \times P_r$. La lámina se corrigió restándole un 30% de la magnitud estimada, esto como resultado del ahorro de agua obtenido al usar riego sub-superficial. Éste dato se obtuvo en el ensayo de 2010 para escenarios de baja disponibilidad de recurso hídrico. Las variables para evaluar los SGE fueron la densidad radicular (DR), incidencia de secadera (IS), lámina de riego acumulada durante la estación de crecimiento (L_{rt}), rendimiento (R) y productividad del agua de riego (PAR).

Cuadro 6.- Tratamientos del experimento del año 2011

<i>Tratamiento</i>	<i>Arreglo Topológico</i>	<i>Flujo de cintilla</i>	<i>Profundidad de colocación de cintilla</i>
Alto 0 cm.	Surcos	Alto	0 cm.
Alto 20 Cm.	Surcos	Alto	20 cm.
Medio 0 cm	Surcos	Medio	0 cm.

Medio 20 cm	Surcos	Medio	20 cm.
Camas a 0 cm	Camas	Alto	0 cm.
Camas a 20 cm	Camas	Alto	20 cm.
Plata Medio	Camas	Medio	0 cm.
Negro Medio	Camas	Medio	0 cm.
Plata Alto	Camas	Alto	0 cm.
Negro Alto	Camas	Alto	0 cm.

Para la DR se obtuvieron tres muestras de suelo por tratamiento a 0-30 y 30-60 cm con una barrena de caja. La muestra se tomó en la misma posición y a la misma distancia del tallo. Las raíces se separaron por flotación (Serna *et al.*, 2011a) y se pesaron en fresco y seco (gr). Una muestra de suelo se secó a peso constante para obtener el contenido de humedad de la muestra y el peso total del suelo se corrigió a peso seco (kg), finalmente la DR se expresó como la relación entre el peso de raíces y el de la muestra de suelo. El rendimiento se estimó en una superficie de 22.8 m² una vez que el fruto se secó en la planta. La PAR se estimó como la relación entre el rendimiento de fruto seco (kg) y la lámina de agua aplicada en cada tratamiento de riego a través del ciclo del cultivo (mm).

Resultados de la evaluación de los SGE

Primera Fase.

Con el uso de SGE el movimiento de agua en suelo presenta patrones muy diversos con respecto al tipo de suelo, manejo y flujo de la cintilla. Estos aspectos se deben

considerar para evitar percolaciones profundas (pérdidas de agua que quede fuera de la zona de raíces). En la Figura 6 se muestra el comportamiento del área del bulbo de humedad en un suelo franco-arcilloso en tres profundidades de colocación de cintilla a través del tiempo.

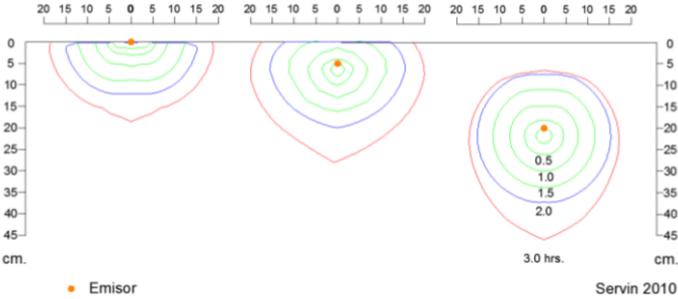


Figura 6. Bulbo de humedad en un suelo franco arcilloso con cintilla a diferentes profundidades.

En el caso del SGE en donde se colocó la cintilla en la superficie del suelo a los 30 minutos de iniciado el riego se observaron escurrimientos superficiales que se incrementaron en el transcurso del riego, lo cual redujo considerablemente la eficiencia de distribución. Por otro lado, el frente de humedecimiento fue menor alcanzándose apenas una profundidad de 20 cm después de 3 horas de riego (Figura 6).

En el SGE con cintilla enterrada a 5 cm de la superficie del suelo la eficiencia de distribución se mejoró, pero la humedad expuesta a la evaporación directa en la superficie del suelo (Figura 6) fue casi la misma que cuando la cintilla se colocó sobre la superficie, lo que incrementa la magnitud de la lámina de riego necesaria para reponer la humedad

hasta CC en la zona radicular. El frente de humedecimiento casi alcanzó los 30 cm después de 3 horas de riego.

El SGE con cintilla enterrada a 20 cm mostró un bulbo de humedecimiento mejor distribuido y con una mayor área que los SGE anteriormente descritos, por lo que la eficiencia de distribución fue la más alta. No hubo humedad expuesta en la superficie del suelo (Figura 6), lo que eliminó la evaporación directa desde la superficie. Sin embargo, para evitar percolaciones profundas por debajo de la zona radicular es recomendable no regar más de dos horas continuas.

La lámina de riego aplicada durante la estación de crecimiento fue diferente ($P < 0.05$) entre los SGE (tratamientos) evaluados (Figura 7). La magnitud de la misma se redujo conforme se incrementó la profundidad de colocación de la cintilla de riego, lo que sugiere una mayor eficiencia de aplicación del agua de riego debido al efecto de la subirrigación, así como una reducción considerable en la evaporación directa del agua del suelo en el SGE con cintilla enterrada a 20 cm de profundidad.

El ahorro en el volumen de agua de riego con respecto a la cintilla colocada sobre la superficie del suelo (P0) fue del 11 % para la cintilla enterrada a 5 cm de profundidad (P5) y del 30 % para la cintilla enterrada a 20 cm de profundidad (P20). Al comparar los resultados obtenidos con lo reportado por Khah *et al.* (2007) quienes establecen un volumen de $5560 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ como el adecuado para producir chile bajo un sistema de riego por goteo, se encontró que la lámina aplicada para P0 fue ligeramente mayor en $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y aquellas aplicadas en P5 y P20 fueron menores en 580 m^3

ha⁻¹ y 1710 m³ ha⁻¹, respectivamente. Por otro lado el volumen aplicado en P20 es ligeramente mayor a los 3101 m³ ha⁻¹ reportados por Serna-Pérez *et al.* (2008) para Chile regado mediante riego parcial de la raíz, por lo que se puede decir que el uso de la subirrigación reduce considerablemente el volumen de agua de riego aplicado. Por otro lado, se encontró que hubo ventajas comparativas como la resistencia a la variación de presión lo que facilitó el manejo en P20.

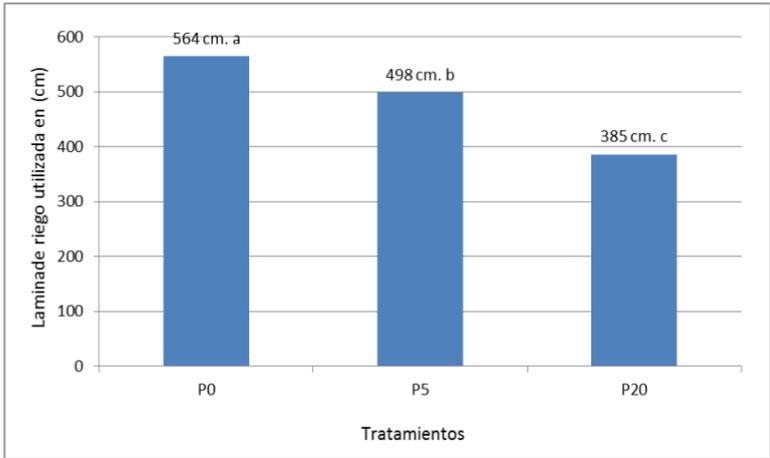


Figura 7. Láminas de riego utilizadas para cada tratamiento o SGE.

El rendimiento de Chile mirasol seco en los SGE con cintilla enterrada a 5 cm y 20 cm de profundidad fue mayor ($P < 0.05$) que el obtenido en el tratamiento con cintilla sin enterrar (Figura 8). Aún cuando los rendimientos de los SGE obtenidos en la primera fase de evaluación (2010) se pueden considerar como medianos, superaron al rendimiento promedio para el Estado que se ha reportado en 1.22 ton ha⁻¹ (SIAP, 2011). En este año no se realizó el conteo de plantas dañadas por enfermedades del suelo o

virosis, pero en un ensayo experimental contigo se encontró en promedio una incidencia del 40% de plantas dañadas por secadera del chile y un 27% de plantas dañadas por amarillamientos (Serna-Pérez *et al.*, 2011b). En el ensayo hubo evidencia visual del daño causado por estas dos enfermedades lo que puede explicar, al menos parcialmente, que los rendimientos obtenidos no hayan sido los esperados.

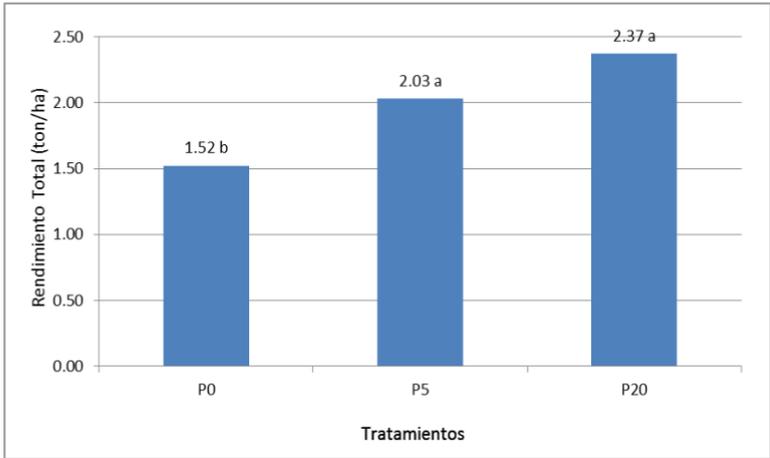


Figura 8. Rendimientos de chile seco (ton/ha) obtenidos para cada tratamiento

La productividad del agua de riego también fue diferente ($P < 0.05$) entre los SGE evaluados en la primera fase del ensayo de campo (Figura 9). La PAR se incrementó acorde a la profundidad de colocación de la cintilla. Lo cual se debió al incremento en el rendimiento (Figura 8) y la reducción de la lámina de riego utilizada por el cultivo (Figura 7), conforme la cintilla se enterró a mayor profundidad en los SGE evaluados. El significado práctico de la PAR es que por cada 10 litros de agua de riego aplicada se produjeron 2.7,

4.07 y 6.16 kg de chile seco en P0, P5 y P20, respectivamente.

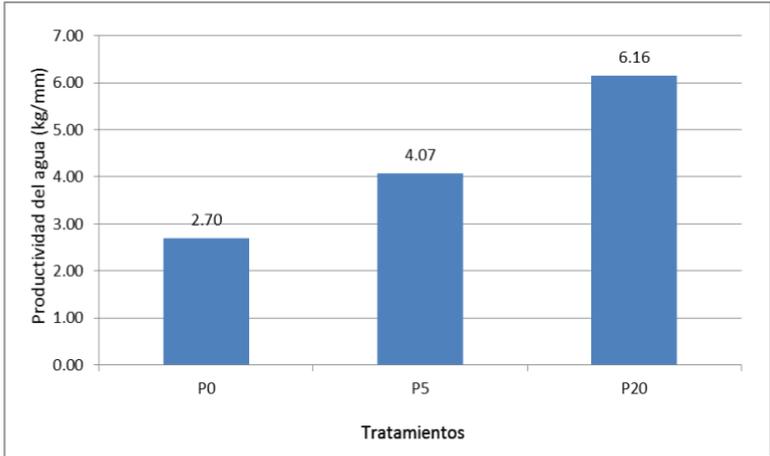


Figura 9. Productividad del agua para cada tratamiento.

Segunda Fase

En la segunda fase del ensayo realizado en campo durante 2011, además de los SGE con cintilla en la superficie y enterrada a 20 cm de profundidad, se evaluaron cintillas con flujo medio y alto combinadas con arreglo en surcos y camas a doble hilera; estas últimas solo con flujo alto. Con fines de comparación y debido a que los acolchados plásticos se recomiendan para el ahorro del agua de riego pues reducen la evaporación directa desde la superficie del suelo, se establecieron además acolchados de color plata y negro combinados con cintilla de flujo medio y alto colocada sobre la superficie del suelo. Todos estos tratamientos ya se

mostraron anteriormente en el Cuadro 6, pero se retoman nuevamente para facilitar la presentación de resultados.

Los tratamientos fueron diferentes ($P < 0.05$) en cuanto a DR. Los más sobresalientes fueron el tratamiento con SGE más cintilla de flujo medio (Medio 20 cm) y todos los tratamientos con acolchados plásticos (Figura 10).

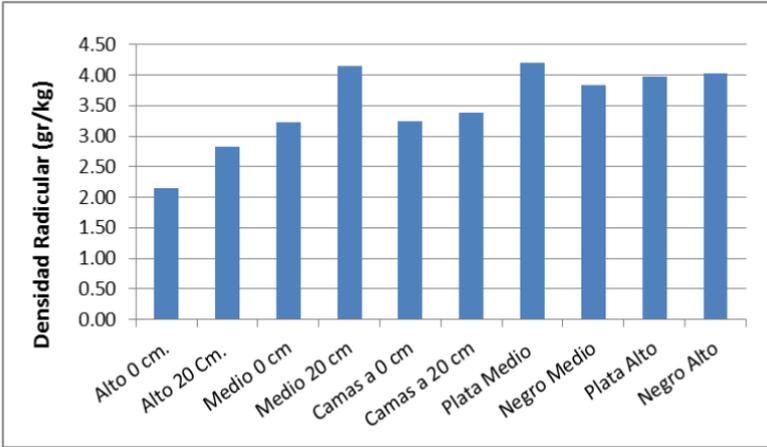


Figura 10. Densidad radicular expresada en gramos (gr) de raíz obtenida por kilogramo (kg) de suelo.

Según Acevedo (1979), el crecimiento radicular está determinado por factores genéticos y del ambiente, y desde un punto de vista físico el crecimiento radicular depende en gran medida de la humedad disponible. Se mencionó en párrafos anteriores que los SGE promueven una mejor distribución del agua en el perfil del suelo al usar cintillas de flujo medio, lo que favorece la formación del bulbo húmedo en la zona de raíces, esta característica explica el porqué el tratamiento Medio 20 cm mostró los valores más altos de DR entre los SGE. En cuanto a los tratamientos con acolchado los valores altos de DR que indican un buen

desarrollo radicular pueden ser atribuidos al efecto benéfico del microclima que se desarrolló en el suelo por efecto de la cobertura plástica (Ramos *et al.*, 2007).

La incidencia de daño por secadera del chile (IS) fue diferente ($P < 0.05$) entre los tratamientos evaluados (Figura 11). Se encontró menor IS en los tratamientos con SGE (Alto 20 cm, Medio 20 cm y Camas a 20 cm). Todos los tratamientos en donde la cintilla se colocó en la superficie del suelo mostraron promedios de IS mayores a los tratamientos de SGE, con los valores más altos en donde además se usaron coberturas plásticas.

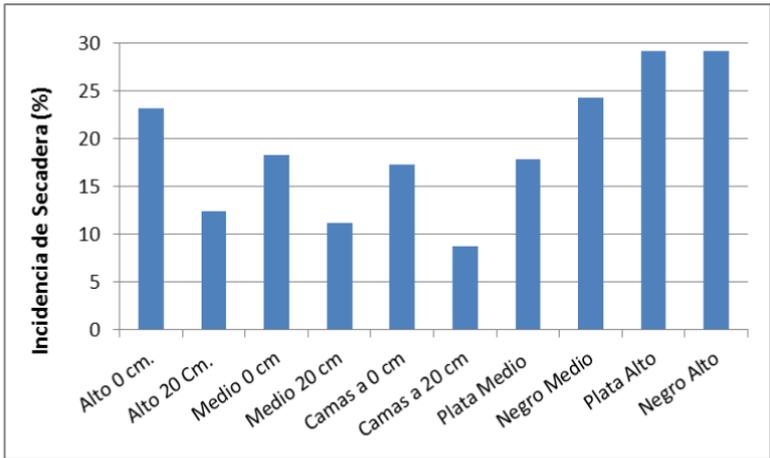


Figura 11. Incidencia de secadera en porcentaje

Las enfermedades causadas por organismos productores de pudriciones de la raíz y corona, como la secadera, afectan significativamente la producción de chile de la región norte-centro de México (Velásquez, 2007). La presencia de encharcamientos o suelo muy saturado en la superficie crea condiciones óptimas para la infestación por estos

organismos puesto que la dispersión de sus estructuras sexuales es favorecida por las condiciones de exceso de humedad en el área radicular (Matheron y Porchas, 2000). Los SGE evaluados no produjeron humedecimiento excesivo en la superficie del suelo como fue demostrado con los resultados de la Fase 1 de este ensayo (Figura 6), lo que puede explicar los bajos promedios de incidencia de secadera encontrados en tales tratamientos.

La lámina de riego aplicada durante la estación de crecimiento del cultivo fue diferente ($P < 0.05$) entre los tratamientos evaluados (Figura 12). El tratamiento de SGE Medio 20 cm y los tratamientos de acolchados plásticos con cintilla de flujo medio (Plata Medio y Negro Medio) mostraron los promedios de LR más bajos.

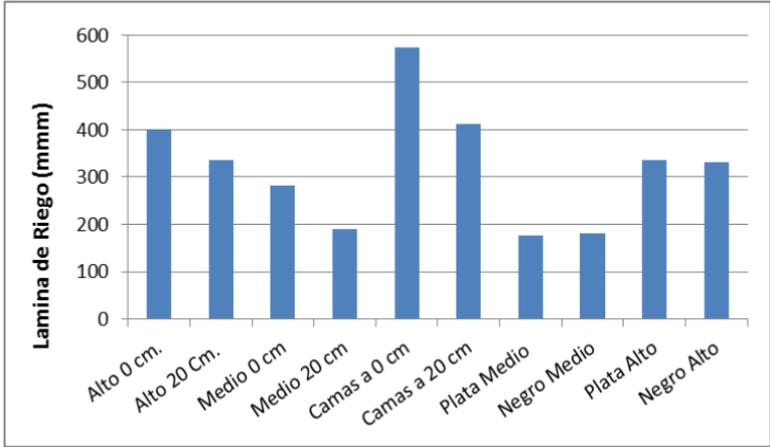


Figura 12. Lámina de riego utilizada por tratamiento

Independientemente de la profundidad de colocación de la cintilla de riego, los tratamientos en donde se usó cintilla de flujo medio tuvieron promedios bajos de LR, mientras que aquellos tratamientos en donde se usó cintilla con flujo alto

en general mostraron los promedios de LR más altos. Esto pudo deberse a que en las cintillas con flujo medio el movimiento axial del agua fue más lento, lo que promovió la formación de áreas húmedas compactas alrededor de la zona radicular de las plantas, incrementando la eficiencia de distribución de la humedad. Mientras que las cintillas de flujo alto promovieron una saturación más rápida del suelo favoreciendo el flujo vertical y la pérdida de la humedad fuera de la zona radicular (Gispert y García, 1999), reduciendo la eficiencia de distribución y provocando un bulbo húmedo alargado. Por lo que en este último caso fue necesario aplicar más agua de riego para alcanzar un contenido de humedad adecuado para cumplir con los requerimientos de humedad del cultivo.

El rendimiento de chile seco fue diferente ($P < 0.05$) entre los tratamientos evaluados en la segunda fase del ensayo (Figura 13). Los tratamientos de SGE (Alto 20 cm, Camas a 20 cm y Medio 20 cm) tuvieron los mayores promedios de R, seguidos por los tratamientos en surcos con cintilla en la superficie del suelo (Medio 0 cm y Alto 0 cm). Los rendimientos más bajos se presentaron en los tratamientos en camas doble hilera con acolchado plástico y con cintilla en la superficie del suelo. En estos últimos la reducción del rendimiento coincidió con promedios altos de incidencia de secadera del chile (Figura 11), lo cual puede explicar en parte dicho comportamiento.

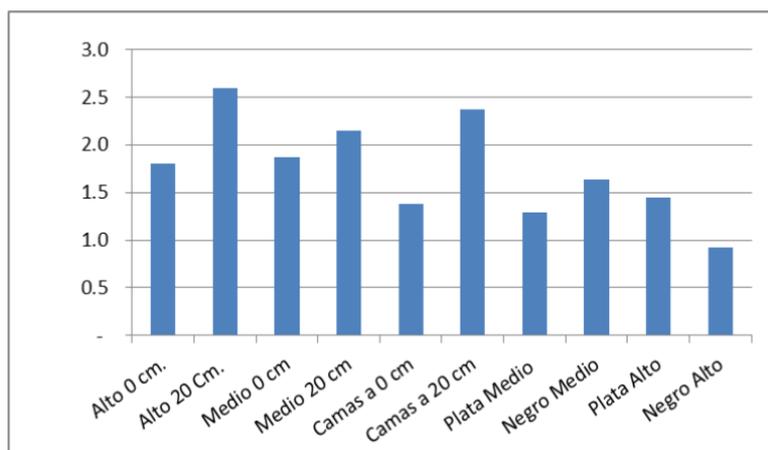


Figura 13. Rendimiento chile seco (ton/ha) por tratamiento

También se encontraron diferencias ($P < 0.05$) en la productividad del agua de riego (PAR) entre los tratamientos evaluados (Figura 14). El promedio mayor de PAR se obtuvo en el tratamiento en surcos con cintilla de flujo medio enterrada a 20 cm (Medio 20 cm). El tratamiento en surcos con cintilla de flujo alto enterrada a 20 cm (Alto 20 cm), mostró un promedio aceptable de PAR, ocupando el tercer sitio de magnitud entre los tratamientos evaluados. Por otro lado, el uso de acolchado plástico negro y plata con cintilla sobre la superficie de flujo medio (Negro Medio y Plata Medio) ocuparon el segundo y cuarto sitio en el orden de magnitud e importancia en cuanto al promedio obtenido de la PAR.

Se consignó en párrafos anteriores que la cintilla enterrada a 20 cm de profundidad en arreglo topológico de surcos redujo considerablemente la incidencia de secadera (Figura 11), lo que muy probablemente favoreció el incremento en el rendimiento (Figura 13). Esto, en conjunto con un mayor

ahorro de agua de riego provocado por una reducción en la evaporación directa del agua del suelo, lo que se tradujo en una menor volumen de lámina de riego aplicada durante la estación de crecimiento (Figura 12), explican el uso más eficiente del agua de riego de los SGE evaluados.

El uso de la cintilla de flujo medio se relacionó con una mejor distribución de la humedad en la zona radicular lo que en conjunto con el acolchado plástico redujo considerablemente la evapotranspiración del cultivo y la aplicación de agua de riego durante la estación de crecimiento (Figura 12). Esto mejoró en gran medida la productividad del agua en los tratamientos de acolchado plástico Plata Medio y Negro Medio a pesar de haber presentado rendimientos regulares (Figura 13) provocados por una alta incidencia de secadera del chile (Figura 11).

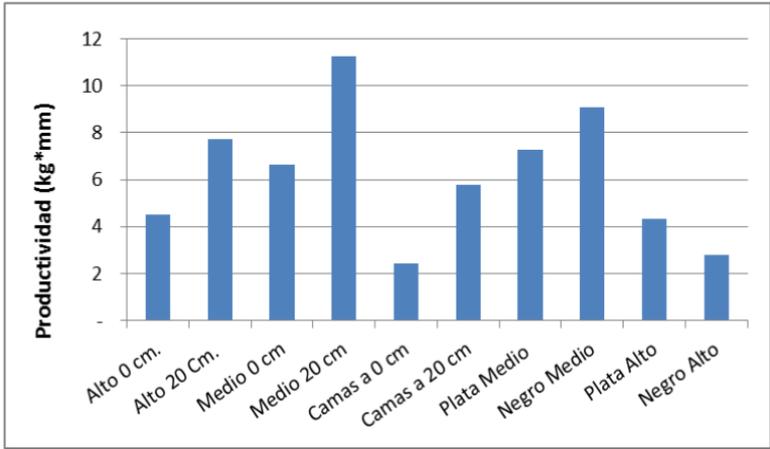


Figura 14. Productividad del agua (PAR) para cada tratamiento.

Conclusiones

El sistema de goteo con cintilla enterrada a 20 cm de profundidad redujo el volumen de agua de riego aplicada en 30 por ciento, en comparación con la cintilla colocada sobre la superficie del suelo. La posición subsuperficial de la línea regante favoreció la formación de un bulbo de humedecimiento mejor distribuido y con una mayor área de cobertura y alta eficiencia de distribución en la zona radicular de las plantas de chile. Además de que no presentó humedad expuesta en la superficie del suelo lo que eliminó la evaporación directa. Sin embargo, para evitar pérdidas de humedad por debajo de la zona radicular es recomendable no regar más de dos horas continuas con este sistema.

El sistema de goteo enterrado a 20 cm de profundidad incrementó el rendimiento de chile seco tanto en surcos como en camas a doble hilera sin acolchado plástico. También redujo la incidencia de secadera del chile en alrededor de un 40 por ciento. El sistema de goteo por cintilla enterrada funcionó mejor cuando las plantas se cultivaron en surcos y las cintillas utilizadas fueron de flujo medio, favoreciendo además una mayor productividad del agua de riego. Esta forma de aplicación del agua de riego se recomienda como una opción para la producción de chile mirasol para secado bajo un escenario de baja disponibilidad de agua como en la zona productora de Zacatecas.

Anexo 1. Ecuaciones para la evaluación de sistema de riego

Para la evaluación del sistema de riego por goteo, enterrado o sobre la superficie del suelo se utiliza la metodología y ecuaciones propuestas por la ASAE (1998). La evaluación de campo y el cuadro de clasificación para la uniformidad estadística (UE) y la uniformidad de distribución (UD) se expusieron en párrafos anteriores. A continuación se presentan las ecuaciones matemáticas para su estimación:

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

en donde UE es la uniformidad estadística (%), STD es la desviación estándar del gasto de los emisores (LPH) y \bar{x} es la media de gasto de emisor.

$$UD = \left(\frac{\frac{x_q}{x}}{x} \right) * 100 \quad (2)$$

en donde UD es la uniformidad de distribución (%), x_q es el gasto medio de los cuatro emisores con menor descarga (LPS).

Bibliografía

- Acevedo H 1979 Interacciones suelo-agua-raíz en el proceso de absorción de agua por las plantas Bol. Tec. Fac. Agron. Univ. Chile. 44:17-25.
- Agricultura de las Américas. 1992. Agua pura y riego por goteo. Agua y Suelo. Universidad de California. USA. 4p.
- ASAE Standards. 1998. EP-458 Field Evaluation of Microirrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers, USA. 981 p.
- Ben-Asaher, J. C.J. Phene. 1993. Analysis of surface and subsurface drip irrigation using a numerical model. *In: Subsurface Drip Irrigation-Theory, Practices and Application.* California State University. Fresno, CA. CATI Pub. No. 92-1001. pp.185-202.
- Brady, N.C., R.R. Weil. 2000. Elements of the nature and properties of soil. Prentice Hall Inc., NJ., USA. 559 p.
- Bravo L.A.G., F.D. Mojarro. 2006. Riego por goteo y fertilización. *In: Bravo L.A.G., G.G. Galindo, M.D.R. Amador (Comp.): Tecnología de Producción de Chile Seco.* INIFAP-CIRNOC-CEZAC. Libro Técnico No. 5. pp. 61-76.
- Brooks, K.N., P.F. Ffolliott, H.M. Gregersen, L.F. DeBano. 1997. Hydrology and the management of Watersheds. Second Edition. Iowa State University Press, Ames IO., USA. 502 p.
- Davis, S. 1967. Subsurface irrigation-How soon a reality? *Agricultural Engineering* 48 (11):654-655.
- Evelt, S.R., T.A. Howell, A.D. Schneider. 1995. Energy and water balances for surface and subsurface drip irrigated corn. *In: Lamm F.R. (Ed.). Proceedings of the 5th International Microirrigation Congress.* ASAE, St Joseph Mich. pp. 135-140.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1977. Crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 24. Rome, Italy. 156 p.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1989. Irrigation water management: Irrigation scheduling. Training Manual No. 4. Rome Italy.
- Freddie R.L. 2002. Advantages and disadvantages of subsurface drip irrigation. *In: International Meeting on Advances in Drip/Micro Irrigation.* Sponsored by Instituto Canario de

- Investigaciones Agrarias. Puerto de La Cruz, Tenerife, Canary Islands, Spain, December 2-5.
- Gavande, S.A. 1979. Física de Suelos, principios y aplicaciones. Editorial LIMUSA, México. 351 p.
- Gispert F.J.R., F.J.A. García. 1999. El volumen húmedo del suelo en el riego localizado. *In*: Muñoz-Carpena R., A. Ritter, C. Tascón. (Eds.): Importancia y Evaluación de Estudios de la Zona No Saturada del Suelo. ICIA: Tenerife, Islas Canarias, España. pp. 11-17.
- Jensen M.E., R.D. Burman, R.G. Allen. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. American Society of Civil Engineers. Irrigation Water Requirements Committee of the Irrigation and Drainage Division. Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70. New York. 332 p.
- Khah E.M., K. Koukoufikis, A.G. Mavromatis, D. Chachalis, C.K. Goulas. 2007. The effects of different techniques on plant performance and seed quality in relation to fruit maturation and storage of different genotypes of pepper (*Capsicum annum* var. *annuum* L.). *J. Food Agric. Environ.* 5:159-163
- 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. pp. 1-8.
- Matheron, M.E., M. Porchas. 2000. Comparison of five fungicides on development of root, crown, and fruit rot of chile pepper and recovery of *Phytophthora capsici* from soil. *Plant Disease* 84:1038-1043.
- Pitts, D.J. 1997. Evaluation of micro-irrigation systems. South West Florida Research and Education Center, University of Florida.
- Ramos G.F., J.A.R. Aguilar, M.A.G. López, O.M. Vázquez, J.M.M. Fuantos, F.J.D. Hernández, A.S. Millán, M.M.G. Ramírez, L.E.C. Pérez. 2007. Módulos de capacitación en cultivo de chile (*Capsicum annum* L.) con acolchado plástico y riego por goteo en campos de productores. *Investigación y Ciencia* 15 (39): 31-36.
- Rivera, G.M., J.A. Estrada, C.I. Orona, I.C. Sánchez. 2004, Producción de alfalfa con riego por goteo subsuperficial o subterráneo. CENID-RASPA, INIFAP. Folleto Científico No. 13. 31 p.
- Rivera, G.M., J.A. Estrada, J.A.W. Cueto. 2007, Producción de alfalfa y maíz forrajero con riego por goteo subsuperficial o

- subterráneo. CENID-RASPA, INIFAP. Folleto Técnico No. 09. 26 p.
- Sánchez, C.I., J.A. Estrada, G.C. González. 2002. Irrigation technology in the irrigation districts of México. International Water Resources Association. Water International 27: 578-584.
- Sánchez C.I., E.A.V. Catalán, M.M.C. Villa. 2006. Evapotranspiration modeling for irrigation purposes. In: Modeling and Remote Sensing Applied to Agriculture. USA-Mexico, USDA ARS-INIFAP. pp. 71-89.
- Serna-Pérez, A. Zegbe J.A. Mena-Covarrubias, J. Rubio-Díaz S. 2008. Sistemas de manejo para la producción sustentable de chile seco cv "Mirasol". Revista Fitotecnia Mexicana 31 (Especial 3):41-44.
- Serna-Pérez, A., Zegbe J.A. Mena-Covarrubias, J. 2011a. Rendimiento y calidad de chile cv "Mirasol" cultivado bajo riego parcial de la raíz. Revista Chapingo Serie Horticultura 17 (Especial 1):19-24.
- Serna-Pérez, A., Mena-Covarrubias, J., Zegbe J.A. 2011b. Transferencia de tecnología para recuperar y conservar parcelas de chile afectadas por secadera. Informe Final de Investigación. INIFAP-CIRNOC., Campo Experimental Zacatecas. Proyecto financiado por la Fundación Produce Zacatecas A.C. (097/FPZ/2005). 80 p.
- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2011. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350. Consulta en línea 5 de marzo 2011.
- Servín, M.P. 2007 Programa para calcular demandas de agua y calendarizar el riego en los cultivos. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coah., México. 41 p.
- Servin M.P., A.P Serna, R.G. Sánchez, J.C. López. 2010. Hoja de cálculo: Calendarización de riego en tiempo real de chile mirasol bajo riego por goteo en Zacatecas. *In*: Memorias de la XXII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. Gómez Palacio Durango, México. pp. 563-568.
- Vaziri, C.M., W. Gibson. 1972. Subsurface and drip irrigation for Hawaiian sugarcane. *In*: 31st Report Hawaii Sugar. Technology Annual Conference. Honolulu, 1972., Proceedings. Hawaiian Sugar Planters Assoc. pp 18-22.

Velásquez VR., M.R. Amador. 2007. Análisis sobre la investigación fitopatológica de chile seco (*Capsicum annuum* L.), realizada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias en los estados de Aguascalientes y Zacatecas. Rev. Fitotec. Mex. 25 (1): 80-84.

Agradecimientos

A la Fundación Produce Zacatecas A.C.
Por el apoyo financiero al proyecto

“PRÁCTICAS PARA MEJORAR EL APROVECHAMIENTO DEL
AGUA DE RIEGO EN CHILE MIRASOL EN ZACATECAS.”

Del cual se desprende esta publicación

Al Sr. Miguel Juárez Aguilar, por apoyar en el
seguimiento en las actividades de campo y toma de
datos en los experimentos.

REVISIÓN TÉCNICA

Dr. Guillermo Medina García
Dr. Luis Reveles Torres

DISEÑO DE PORTADA

Ing. Miguel Servín Palestina

Grupo Colegiado del CEZAC

Presidente: Dr. Jaime Mena Covarrubias
Secretario: Dr. Francisco G. Echavarría Cháirez
Comisión Editorial y Vocal: Dr. Alfonso Serna Pérez
Vocal. Dr. Guillermo Medina García
Vocal: Ing. Manuel Reveles Hernández
Vocal: Dr. Luis Reveles Torres
Vocal: Dr. Jorge A. Zegbe Domínguez

La presente publicación se terminó de imprimir en el mes de
Noviembre de 2012 en la Imprenta Mejía, Calle Luis Moya No. 622
C.P. 98500, Calera de V.R., Zac., México
Tel. (478) 98 5 22 13

Su tiraje constó de: 500 ejemplares

DIRECTORIO

CAMPO EXPERIMENTAL ZACATECAS

Dr. Francisco G. Echavarría Cháirez Director de Coord. y Vinculación

PERSONAL INVESTIGADOR

Ing. Ricardo A. Sánchez Gutiérrez	Bioenergéticos
M.C. Manuel de Jesús Flores Nájera	Caprinos y Ovinos
M.C. Juan Carlos López García	Caprinos y Ovinos
I.T.A. Juan José Figueroa González	Frijol
Ing. José Ángel Cid Ríos	Frijol
M.C. Valentín Melero Meraz	Frutales Caducifolios
Ing. Ma. Guadalupe Zacatenco González	Frutales Caducifolios
Dr. Jorge A. Zegbe Domínguez	Frutales Caducifolios
Ing. Manuel Reveles Hernández	Hortalizas
M.C. Enrique Medina Martínez	Maíz y Frijol
Dr. Guillermo Medina García	Agroclimatología y modelaje
M.C. Nadiezhda Y.Z. Ramírez Cabral	Agroclimatología y modelaje
Dr. Ramón Gutiérrez Luna	Pastizales y Forrajes
M.C. Francisco Rubio Aguirre	Pastizales y Forrajes
Dr. Luis Roberto Reveles Torres	Recursos genéticos
Dr. Jaime Mena Covarrubias	Sanidad Vegetal
Dr. Rodolfo Velásquez Valle	Sanidad Vegetal
M.C. Blanca I. Sánchez Toledano	Socioeconomía
Dr. Alfonso Serna Pérez	Suelo y Agua
Ing. Miguel Servín Palestina	Suelo y Agua
Dra. Raquel Karina Cruz Bravo	Inocuidad de alimentos

www.gobiernofederal.gob.mx

www.sagarpa.gob.mx

www.inifap.gob.mx

