

CAPITULO 5.0

RIEGO EN HORTALIZAS

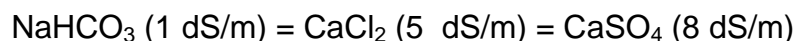
**DR. JESÚS MARTÍNEZ DE LA CERDA
RESPONSABLE DEL PROYECTO DE HORTALIZAS
Facultad de Agronomía, UANL.**

E-mail: jemarcer@yahoo.com.mx

RIEGO EN HORTALIZAS

Introducción:

La mayor parte de las hortalizas requieren de humedad uniforme durante todo el ciclo. Por lo tanto, es importante que esté disponible en todo momento. Además, de la disponibilidad del agua se debe contar con suficiente cantidad de agua, normalmente con distancias entre surcos de 1.6m utilizando cintilla de riego de 360 a 450 lph (litros por hora) se requiere 1 lps (litro por segundo) por hectárea. Otro aspecto de gran relevancia para los sistemas de riego es la calidad del agua de los cuales los factores con mayor importancia son: Conductividad Eléctrica, pH y RAS (Relación Absorción de Sodio). Las sales más comunes encontradas en el agua de riego son carbonatos de calcio y cloruro de sodio. Sin embargo, existe una gran diversidad con efectos diferentes en el suelo (cuadro 1). La clasificación del agua para la agricultura de acuerdo a la Conductividad Eléctrica se pueden apreciar en el cuadro 3 y Sodio cuadro 2, los rangos son de gran importancia y de hecho determinan los cultivos que se recomiendan sembrar, forma de regar y manejo del suelo para hacerlo sustentable. El agua que contiene sodio en mayor porcentaje es de mayor problema debido a que además de competir por el agua con la planta se incrementa el pH y carbonatos, ocasionando problemas con deficiencias de Hierro y Zinc, el suelo se torna impermeable y por lo tanto, se reduce la aireación del suelo. El tipo de sales presentes en el agua determinan la calidad de la misma y una forma de medirla es mediante la conductividad eléctrica. Debemos tener cuidado porque podemos tener valores altos de conductividad eléctrica y su efecto nocivos sobre los suelos y cultivos puede ser menor que con valores mas pequeños cuando la sal principal presente es sodio. A continuación se muestran tres compuestos con sus respectivas conductividades, en donde se observa que NaHCO_3 tiene un menor valor de conductividad pero es más nocivo que el resto, es decir 1 dS/m de bicarbonato de sodio es igual de problemático que 8 dS/m de sulfato de calcio.



Los cultivos difieren en la resistencia a las sales, en la figura 1 se muestra como afectan las sales a los cultivos de fresa, chile y tomate. Se puede apreciar que en todos los casos hay reducción conforme incrementan las sales, pero el daño es diferente en cada cultivo. Podemos ver que el cultivo de la fresa es muy susceptible a las sales, seguido por chile y finalmente el tomate que es el más resistente de estos cultivos.

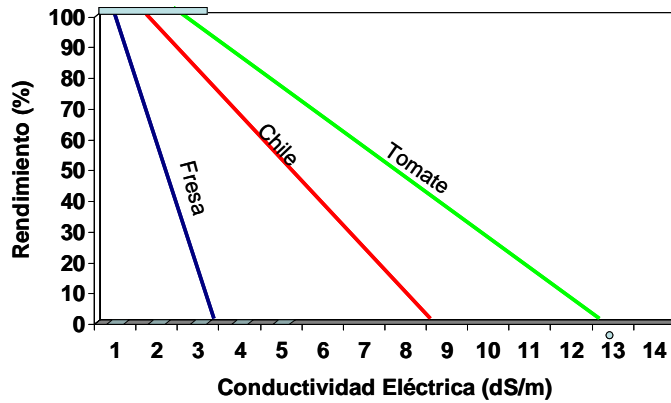


Figura 1. Comportamiento de los cultivos con respecto a la conductividad eléctrica del agua (www.ext.colostate.edu/PUBS/crops/00506.html).

Cuadro 1. Principales sales encontradas en el agua de riego y su contribución de sales al suelo (lubbock.tamu.edu/irrigate/documents/2074410-b1667.pdf).

Nombre Químico	Símbolo	Proporción de Sales
Cloruro de Sodio	NaCl	Moderado a alto
Sulfato de Sodio	Na ₂ SO ₄	Moderado a alto
Cloruro de Calcio	CaCl ₂	Moderado
Sulfato de Calcio (yeso)	CaSO ₄ 2H ₂ O	Moderado a poco
Cloruro de Magnesio	MgCl ₂	Moderado
Sulfato de Magnesio	MgSO ₄	Moderado a poco
Cloruro de Potasio	KCl	Poco
Sulfato de Potasio	K ₂ SO ₄	Poco
Bicarbonato de Sodio	NaHCO ₃	Moderado
Carbonato de Calcio	CaCO ₃	Muy poco
Carbonato de Sodio	Na ₂ CO ₃	Trazas
Borato	BO ₃	Trazas
Nitrato	NO ₃	Muy poco

Cuadro 2. Clasificación del agua de riego de acuerdo a conductividad eléctrica, sodio, cloro y sulfatos (www.ext.colostate.edu/PUBS/crops/00506.html).

Tipo de Agua	Conductividad Eléctrica $\mu\text{S}/\text{m}$	Sodio %	Cloro (Cl) mg/L	Sulfatos (SO_4) me/L
Clase 1, Excelente	<250	<20	<4	<4
Clase 2, Buena	250-750	20-40	4-7	4-7
Clase 3, Normal	750-2000	40-60	7-12	7-12
Clase 4, Dudosa	2000-3000	60-80	12-20	12-20
Clase 5, No apta	>3000	>80	>20	>20

Cuadro 3.- Clasificación con mayor detalles en lo que respecta a conductividad eléctrica (www.ext.colostate.edu/PUBS/crops/00506.html).

Rango ($\mu\text{S}/\text{m}$)	Clasificación
<500	Libre de sales
500-1,000	Ligero
1,000-1,500	Moderado
1,500-2,000	Importante*
2,000-2,500	Severo*
2,500-3,000	Muy Severo*
>3,000	Grave*

*Depende del tipo de sales, la más problemática es el cloruro de sodio.

En el cuadro 4 se presentan algunas de las transformaciones de las unidades utilizadas en el agua.

Cuadro 4. Equivalencias de unidades utilizadas en el análisis del agua.

Parámetro	Para convertir de	Multiplicar	Para obtener
Sales totales disueltas	mg/L	1.0	ppm
Conductividad Eléctrica	1 dS/m	1.0	1 mmho/cm
Conductividad Eléctrica	1 mmho/cm	1,000	1 $\mu\text{mho}/\text{cm}$
Conductividad Eléctrica	< 5 dS/m	640	Sales totales disueltas (mg/L)
Conductividad Eléctrica	> 5 dS/m	800	Sales totales disueltas (mg/L)
Conductividad Eléctrica	1 dS/m	1,000	$\mu\text{S}/\text{cm}$

Nota: En donde dS = decisiemens; ppm = partes por millón; mmho/cm = milimohs por centímetro; $\mu\text{mho}/\text{cm}$ = micromohs por centímetro y mg/L = miligramos por litro.

En el cuadro 5 se muestran los resultados del análisis de diferentes fuentes de agua de las cuales se puede describir lo siguiente:

ME1.- Agua de muy buena calidad para riego, no tiene problemas de sales o sodio, libre de cloro y bajo contenido de bicarbonatos para evitar el taponamiento de emisores de riego por goteo. Aporta muy pocos nutrimentos por lo que deberá suministrarse Calcio y Magnesio, debido a que su contenido es bajo.

ME2.- Agua moderada en los que respecta a sales, no tiene problemas con cloro, pero su RAS es alto causado por altos contenidos de sodio con respecto al Ca y Mg que provoca problemas de aireación y convierte al suelo impermeable al agua. El suelo requerirá de yeso (sulfato de calcio). Tiene muy poca cantidad de Calcio y Magnesio y por lo tanto, hace que la calidad sea de agua muy mala para riego y se manifiesta con el alto valor del RAS. Esta agua para riego se puede utilizar pero debemos monitorear la acumulación del sodio en el suelo. Es importante recalcar que a pesar de que la Conductividad eléctrica es baja el agua es problemática.

ME3.- Agua con contenido moderado de sales, pero libre de Sodio y Cloro. Tiene elevadas cantidades de Calcio y Magnesio por lo tanto, con frecuencia debemos aplicar ácido en el sistema de riego por goteo para evitar taponamiento por carbonatos. Sin embargo, debido a que su valor de RAS es muy bajo, es agua de buena calidad aunque su conductividad eléctrica sea alta. LA mayoría de los cultivos hortícolas obtienen buenos resultados con esta calidad de agua.

ME4.- Agua salina con altas cantidades de cloro. Solamente se pueden sembrar cultivos tolerantes y utilizar altos niveles de nitratos para contrarrestar el efecto del cloro. A pesar de que es alto en Sodio, le ayuda que tiene altos contenidos de Calcio y Magnesio y por lo tanto, el valor del RAS es moderado, es agua de mejor calidad que el caso 2, debido a que este último el RAS es mas elevado (8.0).

Además, se presentan 5 fuentes de agua procedentes del estado de Nuevo León, revisar los casos NL del 1 al 5 é interpretar.

Cuadro 5. Resultados de análisis de cuatro fuentes de agua en México (ME) y cinco de Nuevo León (NL).

Fuente	pH	CE (µS/cm)	Na ⁺ (meq/l)	Ca ⁺ (meq/l)	Mg ⁺ (meq/l)	HCO ₃ ⁻ (meq/l)	Cl ⁻ (meq/l)	SO ₄ ⁻ (meq/l)	RAS
ME1	7.0	400	0.8	2.0	0.8	2.1	0.5	1.3	0.7
ME2	7.8	800	7.0	1.0	0.5	6.5	1.0	0.5	8.0
ME3	7.6	1,600	1.4	11.8	7.5	2.8	1.6	11.0	0.5
ME4	7.3	2,800	2.8	9.6	5.8	4.8	16.8	4.5	3.6
NL1	7.5	3,360	10.9	14.0	8.7	6.5	22.3	4.8	3.2
NL2	7.3	2,520	0.0	16.4	10.7	0.0	5.2	15.9	0.0
NL3	6.9	1,760	0.0	14.5	5.8	5.1	1.8	10.7	0.0
NL4	6.9	980	0.0	9.7	1.9	9.6	0.8	0.0	0.0
NL5	7.4	2,470	0.0	19.8	10.2	5.0	2.5	17.2	0.0

Nota: El color amarillo indica que tengamos mucho cuidado con el agua por tener altos valores de sales, RAS (relación de absorción de sodio) y cloro. El caso del color verde indica que puede ocurrir taponamiento de los goteros, por lo que debemos aplicar ácido en el sistema de riego.

Nota: 1 dS/m = 1,000 µS/cm

Cuadro 6 se puede apreciar la clasificación del agua de riego de acuerdo a su RAS (www.ext.colostate.edu/PUBS/crops/00506.html).


RAS	Nivel de Problema	Recomendación
<3	Libre de sodio	No requiere
3-6	Moderado	Aplicación esporádica de yeso
6-9	Importante	Aplicación frecuentes de yeso (baja dosis)
9-12	Severo	Aplicación frecuente de yeso (dosis media)
>12	Muy severo	Aplicación frecuente de yeso (dosis alta)

RAS.- El RAS se define como la relación de absorción de sodio y representa la proporción de sodio (miliequivalentes por litro) con respecto a la proporción de Calcio y Magnesio en el agua.

La fórmula para obtener el RAS (Relación Absorción de Sodio) se describe a continuación, las unidades de los elementos son en mili-equivalentes por litro:


$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^+ + Mg^+}{2}}}$$

Resultados de un análisis del agua a través del laboratorio de suelos en la Facultad de Agronomía de la UANL.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA

LABORATORIO DE SUELOS, AGUAS Y TEJIDO VEGETAL




ANÁLISIS DE AGUA PARA RIEGO AGRÍCOLA

PROCEDENTE DE : No específica MUESTRA No. : 210105
 REMITIDA POR **Pedro Vega** FECHA : 21-Enero-2005
 ESPECIFICACIONES : Muestra # 2 (Oscar Ruiz)


ANÁLISIS	DATOS	OBSERVACIONES
1. Gasto aforado		
2. CE a 25°C	2,470 µS	Agua muy altamente salina
3. pH	7.4	
4. Ca en meq/l	19.8	
5. Mg en meq/l	10.2	
6. Na en meq/l	0.0	
7. K en meq/l	—	
8. Suma de Cationes en meq/l	30.0	
9. CO ₃ en meq/l	0.0	
10. HCO ₃ en meq/l	5.0	
11. Cl en meq/l	2.5	Condicionada
12. SO ₄ en meq/l	17.2	
13. NO ₃ en meq/l	—	
14. Suma de Aniones en meq/l	24.7	
15. SE en meq/l	10.2	Condicionada
16. SP en meq/l	11.1	Condicionada
17. RAS	0.0	Agua baja en sodio
18. CSR en meq/l	0.0	Buena
19. PSP	0.0	Buena
20. Sólidos solubles totales mg/L	2,260	
21. Clasificación	C ₄ S ₁	

Analizó



Ing. Fernando Cabrieles Luna

Revisó



Dr. Cs. Humberto Rodríguez Fuentes
Jefe del Laboratorio

Interpretación del resultado del análisis del agua.

CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS DE ACUERDO CON SU CALIDAD, CON FINES DE RIEGO DE CULTIVOS AGRICOLAS

Conductividad Eléctrica:		mS/cm a 25° C	
00 – 250	mS/cm	A	25°C = C1
250 – 750	mS/cm	A	25°C = C2
750 – 2250	mS/cm	A	25°C = C3
Más de 2250	mS/cm	A	25°C = C4

Agua de baja salinidad
Agua de salinidad media
Agua altamente salina
Agua muy altamente salina

CONDICION DEL SUELO	PORCIENTO DE SODIO PROBABLE (PSP)	CLASIFICACION
Cualquiera.	Menos de 50%.	Buena para riego.
Suelos orgánicos o de textura ligera.	Menos de 50% ó más de 50% pero con menos de 10 meq/L de sodio.	Buena para riego.
Suelos minerales de textura media o pesados, son menos de 4% de Ca, CO ₃ + Mg, CO ₃	Menos de 50% ó más de 50% pero con más de 10 meq/L de sodio.	Peligro de modificaciones (las aguas deben mezclarse con otras de mejor calidad, debe agregárseles yeso).

(RAS) = Relación de Adsorción del Sodio		
RAS	0 – 10	S1 = Agua baja en sodio
RAS	10 – 18	S2 = Agua media en sodio
RAS	18 – 26	S3 = Agua alta en sodio
RAS	mas de 26	S4 = Agua muy alta en sodio

CLASE	Salinidad Efectiva en meq/L (S.E.)
BUENA	Menos de 3.00
CONDICIONADA	De 3.00 a 16.00
NO RECOMENDABLE	Mas de 16.00

CLASE	Salinidad Potencial en meq/L (S.P.)
BUENA	Menos de 3.00
CONDICIONADA	De 3.00 a 16.00
NO RECOMENDABLE	Mas de 16.00

CLASE	Carbonato de Sodio Residual en meq/L
BUENA	Menos de 1.00
CONDICIONADA	De 1.00 a 2.50
NO RECOMENDABLE	Mas de 2.50

Porciento de Sodio Probable (P.S.P.)	
	Buena si su P.S.P es menor de 50%
	Condicionada si su P.S.P es mayor de 50%

CLASE	Contenidos de Cloruros en meq/L (CL)
BUENA	Menos de 1.00
CONDICIONADA	De 1.00 a 5.00
NO RECOMENDABLE	Mas de 5.00

CLASE	Contenido de Boro ppm (S)
BUENA	Menos de 0.30
CONDICIONADA	De 0.30 a 4.00
NO RECOMENDABLE	Mas de 4.00

Cultivos, Suelos y Demanda de Agua

Los suelos difieren en la habilidad para retener la humedad después de un riego o precipitación. El agua que el suelo retiene y que está disponible para las plantas se le denomina humedad disponible ó aprovechable.

Suelos ligeros tales como los arenosos o limo-arenosos retienen aproximadamente 25mm de humedad disponible en la zona radicular. Bajo condiciones normales esta humedad se agotará en aproximadamente 7 días. Por lo tanto, en estos suelos un riego de 25mm a la semana es necesario para obtener altos rendimientos.

Suelos pesados tales como los arcillosos retienen de 40 a 60 mm de humedad disponible en la zona radicular. En estos suelos los riegos son menos frecuentes pero más pesados (40 a 60mm cada 10 a 14 días) para obtener buenos rendimientos.

En ambos casos la aplicación de mayor cantidad de humedad que la recomendada, provocará lixiviación de fertilizantes y pesticidas que pueden contaminar los mantos acuíferos. Además, la pérdida del fertilizante implica un mayor costo de producción.

También es importante considerar el cultivo, es decir, cultivos con raíces poco profundas tales como papa y apio requieren de riegos frecuentes pero ligeros (esto aplica también para la mayoría de los cultivos en etapas tempranas). Por el contrario cultivos con raíces profundas requieren riegos profundos pero con menor frecuencia. EL cuadro 7 muestra la clasificación con respecto a la profundidad radicular de varios cultivos. Sin embargo, la profundidad de la raíz dependerá de la forma en que acostumbremos las raíces dependiendo del riego, es decir, si aplicamos riegos ligeros pero frecuentes en cultivos que profundizan mucho, el patrón será diferente debido a que la planta no necesitan profundizar para encontrar agua. Por lo tanto, es importante que en etapas iniciales apliquen riegos profundos y espaciados para forzar a la raíz que profundice, que ayudará para evitar el acame cuando la planta tenga mayor porte. Además, en caso de que falle el sistema de riego tendrá mayor tolerancia al castigo. Con el uso de riego por goteo y acolchado normalmente el sistema radicular se concentra en los primeros 15 cm del suelo.

Cuadro 7 Clasificación de hortalizas en base a su profundidad radicular.

Poca Profunda (hasta 30 cm)	Raíz Intermedia (30-60 cm)	Raíz Profunda (mayor de 60 cm)
Apio Lechuga Cebolla Papa Rabanito	Brócoli Col Zanahoria Coliflor Pepino Melón Chiles Tomate Calabacita	Espárrago Calabaza Sandía

Además, la mayoría de las hortalizas tienen etapas en la cual la falta de humedad es crítica afectando severamente el rendimiento o calidad del producto requerido. Es pues, importante que en estas etapas la humedad no falte. En el cuadro 8 se mencionan algunas etapas críticas de ciertos cultivos.

Cuadro 8 Períodos Críticos de Humedad para Cultivos de Hortalizas.

Período Crítico	Cultivo
Formación de pella y su elongación.	Brócoli Col Coliflor
Floración, cuaje de fruto y su desarrollo.	Pepino Melón Calabacita
Formación de bulbo y su elongación.	Cebolla Ajo
Floración, cuaje de fruto y su desarrollo	Berenjena Chiles Tomate Tomatillo

Es importante también recalcar que el exceso de humedad puede ser crítico principalmente en épocas de cosecha. Ejemplos puede ser tomates, zanahorias y coles reventados; pudrición de ajo y cebolla próximos a cosecha.

Sistemas de Irrigación

Existe varios de sistemas de riego que se han adaptado a las hortalizas de acuerdo a las necesidades y posibilidades de los productores. A continuación se describen brevemente los sistemas de riego más comunes en hortalizas. Sin embargo, debido a que el sistema de riego por goteo es el más común en hortalizas, se discutirá con mayor detalle.

Riego por Gravedad: Este sistema se considera de menor eficiencia, sin embargo con sistemas bien planeados (canales revestidos, uso de poly-hose, sifones, pendiente adecuada, tipo de suelo, longitud de surcos, etc.) en ocasiones puede ser más eficiente que algunos de los sistemas presurizados en mal estado. Existen sistemas muy sofisticados en el Valle de San Joaquín en California, el Valle de Texas y en el Valle de Mexicali en donde miles de hectáreas utilizan este sistema de riego en donde cuentan con mucha agua. Es muy útil también cuando se cuenta con agua salina (baja en sodio) para hacer el lavado al menos una vez al año con riego muy pesado (15 a 30cm de lámina). Además, es el sistema de riego aparentemente mas económico debido a que la inversión es baja, Sin embargo, el costo de mano de obra es alta y si el costo por metro cúbico de agua es alto, este es el más costoso.

Hay sistemas de riego por gravedad con fuertes pérdidas en los canales de conducción y en los lotes de producción. Además, tienen la desventaja que se tienen mayor problemas con malezas, debe de pasar cierto tiempo para realizar la cosecha o realizar cualquier actividad, baja calidad de fruta postrada en el suelo, problemas de encostramiento en siembras directas, se requiere mayor cantidad de agua, es necesario nivelar o hacer curvas de nivel, baja eficiencia en aplicación de plaguicidas y fertilizantes en el agua. Sin embargo, su uso es en grandes extensiones con agua suficiente.

Aspersión Manual: Es el sistema más económico de los presurizados aéreos, requiere mucha mano de obra para mover la tubería. La distribución del agua es uniforme en lugares en donde el viento no es muy fuerte. No es adecuado para cultivos con altura (maíz dulce, tomate estacado). No se recomienda en cultivos de tomate, chiles, ajo, cebolla, melones y sandías; principalmente en zonas con altas temperaturas debido a que propicia el ataque de hongos. Además, ocasiona mucha pérdida de fruta madura. Muy utilizada en siembra directa para tener una buena germinación y emergencia. El cual se retira y el resto del ciclo se riega por gravedad Además, se utiliza para la protección contra heladas de cultivos recién sembrados. Se pueden realizar aplicaciones de plaguicidas y fertilizantes, sin embargo, su eficiencia es baja comparada con el pivote central y aún más comparado con el riego por goteo. No es necesario que el lote esté nivelado, sin embargo en pendientes muy pronunciadas no funciona. Su eficiencia es mayor que el riego por gravedad.

Pivote Central y/o Sistemas laterales automáticos: Estos son autopropulsados para trasladarse en forma automática e irrigar lotes de gran dimensión. Son muy costosos con muy baja mano de obra, no se adaptan bien a cultivos con altura (por ejemplo maíz). Muy utilizados para el cultivo de la papa, dan buena uniformidad en los riegos, se aplican plaguicidas y fertilizantes en forma simultánea. No es necesario que el lote esté nivelado, sin embargo, con pendientes muy pronunciadas no funciona, no debe haber árboles u obstáculos de gran altura (postes energía) dentro del lote de riego.

Riego por Goteo o por Cintillas: El sistema de riego por goteo es el método de aplicar agua en cantidades pequeñas en forma controlada a la zona radicular de las plantas. Consiste en una serie de cintillas con emisores integrados que se colocan en las camas, en donde encuentran las plantas de cultivos, principalmente de hortalizas debido al alto costo. Normalmente se obtiene mayor rendimiento y es más eficiente que los sistemas de riego por aspersión. Si se combina la fertigación y el uso de acolchados con un manejo adecuado, el incremento del rendimiento, calidad de producto y precocidad se mejoran en forma drástica.

El costo de la instalación del riego por goteo es relativamente alto, sin embargo, el costo de mano de obra para operarlo es muy bajo. La mayor ventaja del sistema de riego por goteo es que se requiere menor gasto de agua por hectárea, factor de gran relevancia en el Noreste de México. Además, provee una gran uniformidad del agua en los cultivos a través del ciclo cuando es bien manejado. Además, de dosificar el fertilizante al cultivo según la etapa fenológica.

La cintilla comúnmente utilizada es de un calibre 4 (menor costo pero menos resistente), 6 (intermedio en costo y resistencia) y 8 (mayor costo pero más resistente) con grosor de pared en milésimas de pulgada de grosor de pared y de ½ pulgada de diámetro. Se maneja con una presión de 10 a 15 psi (libras por pulgada cuadrada) con longitudes de hasta 120m en suelos con buena nivelación. Normalmente se utiliza para un ciclo de cultivo o máximo dos cuando no es enterrada y no tiene mucho daño por ratas o insectos. En suelos arenosos la cintilla no debe enterrarse, debido a que la humedad no sube por capilaridad ocasionando la muerte de la plántulas recién trasplantadas. Sin embargo, aún en suelos arcillosos muchos productores no entierran la cintilla, con el objeto de no tener problemas para recogerla al terminar el ciclo y reutilizarla.

El sistema de riego por goteo consiste de un sistema de filtración; sistema de inyección de plaguicidas y/o fertilizantes; sistema de protección, válvulas y medidores de presión, conducción primaria, conducción secundaria y cintilla de goteo. A continuación se explicará brevemente cada punto y al final se presentan fotos de algunos de sus componentes.

Sistema de Filtración: Dependiendo de la fuente de agua serán los requerimientos del sistema de filtrado:

Agua superficial: Además del filtrado con mallas (150 a 200 mesh) o discos (que están de moda por su alta eficiencia y facilidad para limpiar), es necesario instalar un filtro de arena que va previo al filtro de malla para la remoción de partículas de materia orgánica, algas, bacterias y otros organismos de la vida acuática. En caso de traer arena tendrá que instalarse un hidrociclón.

Agua Subterránea: Normalmente no se requiere de filtros de arena, es decir, basta con un filtro de malla o disco. Es necesario hacer la prueba de arena en el agua, en dado caso de encontrarse deberá adicionar un hidrociclón. Es recomendable colocar medidores de presión antes y después del sistema del filtrado para saber cuando limpiarlos, como regla general cuando haya una reducción de 5 a 7 psi, deberá efectuarse la limpieza de los filtros.

Sistema de Inyección de Fertilizante y/o plaguicidas: Normalmente se utiliza un venturi o bomba resistente a la corrosión. Lo ideal es utilizar bombas para no forzar mucho la bomba de agua superficial o del pozo. Sin embargo, debido a que se requiere de energía eléctrica, que en muchos lotes no se tiene, por lo tanto utilizan el venturi que succiona el fertilizante mediante el diferencial de la presión del riego. El fertilizante o plaguicida deberá ser aplicado antes del sistema de filtrado para evitar que los contaminantes o precipitados taponeen los emisores.

Sistemas de protección:

Válvula Check: El principal sistema de protección y que de hecho es obligatorio principalmente en pozos es la válvula check, su objetivo es evitar la contaminación de los mantos acuíferos con fertilizante y/o plaguicidas. Esta deberá ir inmediatamente después de la bomba.

Válvula de aire: Normalmente pensamos que la válvula de aire solo funciona para extraer el aire y hacer que el flujo del agua en la tubería sea normal, es cierto y es necesario para esto. Sin embargo, en lugares en donde la bomba está por debajo del nivel del lote a regar, la válvula de aire cumple una función muy importante, de hecho si no se coloca una válvula de aire lo más cerca de la bomba provocará que la tubería se rompa por la succión generada al regresarse el agua del lote hacia el pozo. El resto de las válvulas de aire deberán ir en las partes más altas del lote y al finalizar cada sección para que el sistema sea eficiente en la conducción del agua.

Reguladores de presión y expulsión de emergencia: existen equipos que regulan la presión con el fin de evitar que se rompa la tubería. Lo que hace es que al momento de incrementar la presión automáticamente expulsa agua para bajar la presión. Esto puede suceder si el operador accidentalmente cierra todas las válvulas o solamente abre muy pocas por lo que la presión puede elevarse. Este sistema de regulación de presión en riego por goteo normalmente se coloca entre 25 y 30psi, mientras que el sistema de riego por goteo funciona en el rango de presión de 10 a 15 psi siendo el óptimo en los 10 psi.

Válvulas: Su objetivo es repartir el agua en diferentes secciones con el fin de mantener la presión en el sistema de tal forma que no sea muy baja o alta lo que provocará una mala distribución del agua o el rompimiento de partes del sistema de riego, respectivamente.

Conducción primaria y secundaria: La conducción primaria se calcula en base al gasto de la fuente de agua. Su cálculo debe contemplar el gasto que la tubería puede conducir a una velocidad adecuada (2.0 a 2.5 m/s) para que el consumo de energía no sea elevado por tener un diámetro menor al recomendado o el costo de la tubería no sea muy alto por exagerar en el diámetro requerido. Una regla práctica es elevar al cuadrado el diámetro de la tubería (pulgadas). Es decir, si la tubería es de 2 pulgadas esta tiene la capacidad de conducir 4 lps (litros por segundo) o si el diámetro es de 6 pulgadas entonces podemos conducir hasta 36 lps. Esta regla tiene sus límites y no deberá aplicarse con diámetros muy pequeños (<1 y >12 pulgadas). La forma más precisa es a través de calculadoras de flujo (figura 2), estas indican la tubería más adecuada dependiendo del gasto del agua y la velocidad que deseamos. Normalmente la tubería principal es de PVC.

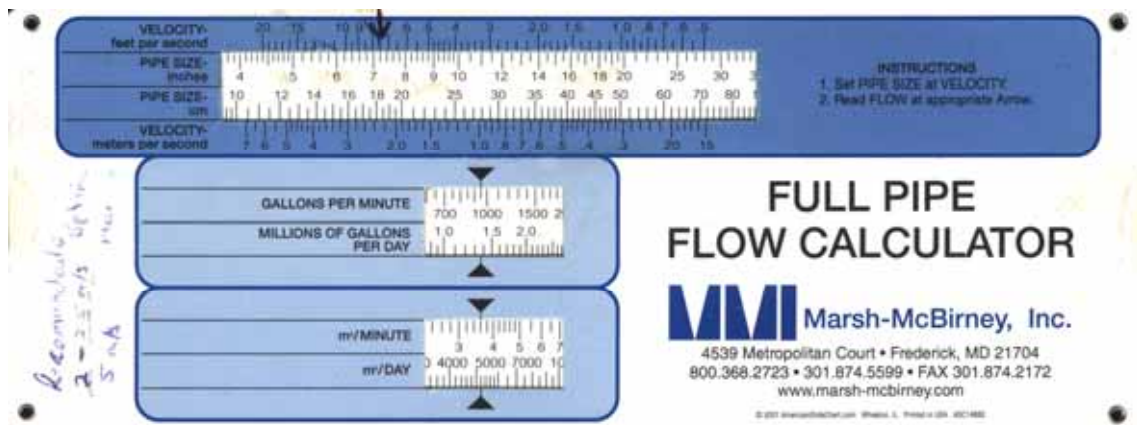


Figura 2. Calculadora de flujo que se utiliza para determinar el diámetro del tubo en base al gasto, considerando la velocidad requerida.

En el caso de la tubería secundaria puede ser de PVC, pero es muy común el uso de manguera tipo lay-flat con diámetros de 2 a 4 pulgadas dependiendo del tamaño de las secciones. En la manguera van insertados tubines que conectan a la cintilla de riego que se colocan en las camas donde están las plantas. Es importante mencionar que cuando se siembran cultivos a hilera sencilla la cintilla se coloca aproximadamente a 10 cm de la planta y en el caso de ser cultivos a doble hilera la cintilla se coloca entre las dos hileras.

Ventajas del riego por goteo:

- 1.- Se requiere menor cantidad de agua por superficie, normalmente se necesita 50% comparado con el sistema de riego por aspersión.
- 2.- La presión requerida es menor que en un sistema de riego por aspersión (40 a 60psi), pivote central (25 a 30psi) y micro aspersión (20 a 25psi), mientras que en el riego por goteo solamente se requiere de 10 a 14psi. Esto significa menor costo de energía.
- 3.- La eficiencia es muy alta debido a que el agua se coloca directamente en el bulbo húmedo, depositando la cantidad requerida por el cultivo dependiendo de su etapa fenológica. A diferencia del riego por aspersión que el suelo se humedece en su totalidad.
- 4.- Hay menor probabilidad de presencia de enfermedades debido a que no se humedece el follaje o frutos.
- 5.- El costo de la mano de obra es muy bajo y es posible hacer el sistema totalmente automatizado.
- 6.- Las operaciones de campo (aplicaciones de plaguicidas con maquinaria y cosecha) pueden realizarse en forma simultánea con el riego, debido a que solamente se riega la parte superior del surco.
- 7.- Menor presencia de malezas y aún mejor con el uso de acolchado. Esto debido a que los espacios entre camas no se riegan y por lo tanto, no hay presencia de malezas si no se presentan lluvias.
- 8.- Se puede aplicar fertilizantes y plaguicidas a través del sistema de riego.
- 9.- Con un buen manejo se evita la erosión del suelo y lixiviación de fertilizantes y plaguicidas.
- 10.- Los lotes sembrados no tienen que estar nivelados. Sin embargo, con lotes con desniveles muy fuertes se pierde la eficiencia por lo que se recomienda el uso de reguladores de presión ó reducir la longitud de la cintilla.

Desventajas:

- 1.- El costo inicial es alto, el costo de la cintilla solamente es de aproximadamente de \$8,000 a \$12,000 pesos/ha. El costo del resto de los componentes depende de la fuente de agua y distancia del pozo al lote de producción.
- 2.- El personal que lo opera deberá tener una capacitación especial.
- 3.- Daños o problemas en el sistema por periodos cortos (2 días) pueden ser desastrozo, debido a que la mayoría de las raíces se encuentran cerca de la cintilla.
- 4.- No hay protección contra heladas como es el caso del riego por aspersión.
- 5.- Insectos y ratas por citar algunos ejemplos pueden hacer destrozos en la cintilla, provocando fugas.
- 6.- Es necesario la instalación de un sistema de filtrado.

Periodicidad del riego: Independientemente del sistema de riego utilizado es importante que se tenga una metodología para determinar cuando regar; lo más común de los productores es que no tengan ninguna metodología y lo haga simplemente a vista o tanteo, esto ocasiona que el riego sea demasiado pesado o menor al recomendado. Cuando el riego es en exceso el consumo de agua y energía se eleva, con riesgo de contaminar los mantos acuíferos con fertilizantes tales como nitratos. Por otro lado, si la cantidad de agua no cumple con los requerimientos de los cultivos, se afectará el rendimiento o puede provocar algunas deficiencias tales como pudrición apical o poco crecimiento de frutos. Normalmente se inicia el cultivo en suelo arcilloso con riegos cada tercer día por periodos de 2 a 3 horas (a excepción del primer riego de pretrasplante que es de hasta 16 horas), posteriormente se incrementa a dos o tres horas por día conforme crece el cultivo y en cosecha con altas temperaturas se puede requerir aún más horas de riego. Debemos tomar en cuenta el gasto del emisor o gotero, lo común es que tengan un gasto entre 360 a 450 lph (litros por hora) en cien metros de cintilla. La distancia entre los emisores mas común es de 30cm. Sin embargo, en el mercado se puede encontrar desde los 20 cm hasta 50cm bajo pedidos especiales.

Lo más adecuado es contar con un sistema de monitoreo de la humedad y los métodos más utilizados son los siguientes:

1.- Evapotranspiración: Riego en base a datos climatológicos y evaporación conociendo la cubierta vegetal del cultivo. Es necesario contar con estaciones meteorológicas para calcular la evapotranspiración dependiendo del cultivo y su etapa. Normalmente se hace en centros de investigaciones proporcionando la información a los productores.

2.- Tensiómetros ó bloques de yeso: el uso de estos sensores es el método más sencillo una vez calibrados para indicar cuando regar. Se basa en la fuerza con que el suelo retiene la humedad. Al secarse el suelo, este retiene la humedad con mayor fuerza a las partículas del suelo y menos humedad esta disponible para la planta. Lo común es que en suelos arenosos el riego se inicie cuando la lectura del tensiómetro indique entre 15 y 20 centibares y en suelo limosos y arcillosos de 20 a 25 centibares. Un cero en el tensiómetro indica que el suelo esta totalmente saturado y una lectura de 10 representa capacidad de campo.

Sin embargo, es importante considerar las etapas críticas de los cultivos y en estas etapas deberá de regarse en los límites bajos del tensiómetro. Debemos tomar en cuenta que en suelos arcillosos la precisión del tensiómetro es menor. El tensiómetro requiere de un buen mantenimiento y adecuada calibración e instalación, es recomendable que al menos cada dos ciclos de siembra se cambie la porcelana y en dado caso de que se extraigan del suelo, para su almacenamiento estos deberán colocarse en agua con un pH de 5.5 a 6.0 por un período de dos días para limpiar la porcelana (disuelve las sales) que obstruyen el buen funcionamiento del tensiómetro. Después del lavado coloque un plástico en la porcelana, sin tocarla con la mano.

Fertigación:

La fertigación es el método de aplicar el agua y nutrimentos a través del riego por goteo, con el objetivo de incrementar la eficiencia de agua y la aplicación de fertilizantes. Es decir, colocar la cantidad que requiere de fertilizante y agua en una determinada etapa del cultivo. En este caso en lugar de dividir la aplicación del fertilizante en dos o tres aplicaciones durante todo el ciclo del cultivo, la fertilización se puede aplicar desde tres veces por día, diario, semanal o cada quince días dependiendo de la etapa y programa del técnico. Además, de aplicar la cantidad necesaria el fertilizante se coloca en el bulbo húmedo, lugar en donde se encuentra la mayor cantidad de raíces y de esta forma la planta requiere menor esfuerzo para realizar la absorción y con un buen manejo evitamos la lixiviación de los nutrimentos y el agua. Normalmente la forma de aplicar el fertilizante es a través del Venturi o bomba especial que resisten los fertilizantes que normalmente son muy corrosivos. Además, de los fertilizantes se aplican insecticidas, fungicidas, nematicidas, etc.

No deben mezclarse fertilizantes que contengan calcio con fosfato o sulfatos, debido a que provocará que se precipite el fertilizante ocasionando el taponamiento de los emisores de la cintilla. De hecho es más económico realizar la aplicación del fósforo en pretrasplante y aproximadamente el 30 y 50% del nitrógeno y potasio, respectivamente. El resto del fertilizante se puede aplicar a través del riego por goteo con fertilizante que tengan una alta solubilidad tal como la urea y nitrato de potasio, por citar algunos ejemplos. Es importante que el filtro se coloque después del ventura o bomba.

En el cuadro 9 podemos ver un ejemplo de cómo se hace la distribución por semana del fertilizante en cultivo de tomate, chile y cucurbitáceas (melón, pepino y calabacita) en lo que respecta nitrógeno y potasio. El fósforo se aplicó en su totalidad en pretrasplante.

Cuadro 9. Inyección de Nitrógeno y Potasio en el sistema de riego por goteo

Etapa de Crecimiento	Cantidad de N y K ₂ O a inyectar por semana (kg/ha)		
	Cucurbitáceas	Chile	Tomate
Trasplante a cuaje de frutos	5	3 – 5	2.5
Cuaje de frutos a inicio de cosecha	10	7 – 10	5.0
Cosecha	5	3 – 5	2.5

Mantenimiento: Es recomendable aplicar ácidos (fosfórico o sulfúrico) para disolver los precipitados ocasionados por los carbonatos de calcio muy comunes en el norte de México y aún más en aguas de pozos. Además, al terminar el ciclo o dejar de regar deberá agregarse Treflán (herbicida en pequeñas dosis) para evitar que las raíces se introduzcan en los emisores y taponeen. En el caso de aguas superficiales se recomienda aplicar diario cloro con dosis de 2 ppm al final del riego y con 30 ppm al finalizar el ciclo. Además, se recomienda hacer lavados frecuentes de la tubería, práctica muy sencilla que consiste en abrir las válvulas en los extremos para expulsar suelo y precipitados atrapados entre las tuberías.

Calidad de agua para invernaderos: El agua utilizada para cultivos de invernaderos deberá ser analizada antes de la construcción de los mismos, es frecuente y lamentable que se construyan y posteriormente querer enmendar los problemas causados por una mala calidad del agua. Hemos visto invernaderos que tuvieron que instalar ósmosis inversa para eliminar sales con éxito aunque muy costoso el equipo y el proceso, pero hay algunos elementos que aún con ósmosis la eliminación es difícil, tal es el caso del boro. También es necesario aclarar que si el límite de tolerancia es ligeramente rebasado el efecto negativo en el rendimiento y calidad del producto es poco y se va incrementando conforme es mayor la diferencia. En algunos casos por ejemplo en cosecha de tomate se recomienda incrementar la conductividad eléctrica con el uso de sales que normalmente tienen los fertilizantes sintéticos. Por ejemplo, si el valor del

análisis del agua es bajo ($<250 \mu\text{siemens/cm}$) se podrá agregar sales (principalmente de Calcio o Magnesio) y si el valor es ligeramente alto ($2,500 \mu\text{siemens/cm}$) pero sin contener altas concentraciones de sodio ($\text{RAS} < 4$) no se recomienda agregar mas sales, pero al ser superior la conductividad eléctrica a $3.0 \mu\text{siemens/cm}$ la reducción en el rendimiento será significativo en etapas tempranas del cultivo. Es importante aclarar que también depende mucho del cultivo, por ejemplo el tomate tolera más las sales que el cultivo del chile.

A continuación se presentan tres casos de muestras de agua que se analizaron para producción bajo invernadero, se puede apreciar las variables analizadas, sus resultados y límites de tolerancia. De estos tres caso solamente una fuente de agua se debe utilizar para la producción de tomate, chile o cucurbitáceas. Es importante enfatizar que las variables de mayor importancia son las siguientes: Conductividad eléctrica; contenido de Calcio, Magnesio y Sodio; RAS, Cloro, Flúor y Boro. El resto aunque se presenten por encima de los límites tendrán poco efecto sobre el rendimiento del cultivo.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE TRES FUENTES DE AGUA PARA INVERNADEROS

Caso # 1: Agua alta en Conductividad Eléctrica, no apta para riego en invernadero.

Variables	Unidades	Valor Obtenido	Valor Sugerido
Factores de pH			
pH		6.73 f	5.4 – 6.8
Carbonatos (CO ₃)	ppm	0	0
Bicarbonatos (HCO ₃)	ppm	140 d	<100
Bicarbonatos (CaCO ₃)	ppm	115	<122
Dureza	ppm	2,117 d	<150
Macroelementos			
Nitrógeno (N) total disponible	ppm	5.6	<10
Nitrato (NO ₃ -N)	ppm	5.6	<10
Amonio (NH ₃ -N)	ppm	0.0	<10
Fósforo (P)	ppm	2.3 a	<0.3
Fosfato (PO ₄)	ppm	6.8 a	<1
Potasio (K)	ppm	37 a	<10
Calcio (Ca)	ppm	420	0-120
Magnesio (Mg)	ppm	259	0-24
Sulfato (SO ₄)	ppm	3,055	30-45
Factores de Salinidad			
Conductividad eléctrica (gral.)	µsiemens/cm	4,420 d	<2,000
Conductividad eléctrica (plántulas)	µsiemens/cm	4,420 d	<750
Sólidos disueltos totales (gral.)	ppm	2,829 d	<1,300
Sólidos disueltos totales (plántulas)	ppm	2,829 d	<480
RAS		6.2 d	<4
Sodio (Na)	ppm	464 d	<70
Cloro (Cl)	ppm	176 d	<700
Turbidez			
	NTU	1.2 e	<1
Elementos traza			
Fluor (F)	ppm	1 b	< 0.2
Cobre (Cu)	ppm	0.01	<0.2
Zinc Zn)	ppm	0.00	<0.3
Fierro (Fe)	ppm	0.069	<4.0
Manganeso (Mn)	ppm	0.021	<1.0
Boro (B)	ppm	0.23	<0.5

En donde:

- a: El agua puede estar contaminada con fertilizante o detergente.
- b: Seguro para la mayor parte de los cultivos excepto la familia de liliáceas
- c: Puede ocasionar manchado en hojas y taponamiento de goteros (riego)
- d: El agua no se recomienda para invernaderos o deberán tomarse medidas especiales
- e: Pudiera provenir de suelo, alga, fierro, manganeso, fertilizante, etc
- f: El pH deberá ajustarse

Caso # 2: Agua alta en Conductividad Eléctrica, no se recomienda para plántula de chile, pero apta para riego en cultivos de tomate y tomate cherry bajo invernadero.

Variables	Unidades	Valor Obtenido	Valor Sugerido
Factores de pH			
pH		6.97	5.4 – 6.8
Carbonatos (CO ₃)	ppm	0	0
Bicarbonatos (HCO ₃)	ppm	321 c	<100
Bicarbonatos (CaCO ₃)	ppm	263 c	<122
Dureza	ppm	1,432 c	<150
Macroelementos			
Nitrógeno (N) total disponible	ppm	1.1	<10
Nitrato (NO ₃ -N)	ppm	1.1	<10
Amonio (NH ₃ -N)	ppm	0.0	<10
Fósforo (P)	ppm	3.8 a	<0.3
Fosfato (PO ₄)	ppm	11 a	<1
Potasio (K)	ppm	13 a	<10
Calcio (Ca)	ppm	403	0-120
Magnesio (Mg)	ppm	103	0-24
Sulfato (SO ₄)	ppm	1,234	30-45
Factores de Salinidad			
Conductividad eléctrica (gral.)	µsiemens/cm	3,180 d	<2,000
Conductividad eléctrica (plántulas)	µsiemens/cm	3,180 d	<750
Sólidos disueltos totales (gral.)	ppm	2,035 d	<1,300
Sólidos disueltos totales (plántulas)	ppm	2,035 d	<480
RAS		4.4 d	<4
Sodio (Na)	ppm	270 d	<70
Cloro (Cl)	ppm	331 d	<700
Turbidez			
	NTU	5.2 e	<1
Elementos traza			
Flúor (F)	ppm	0.9 b	< 0.2
Cobre (Cu)	ppm	0.01	<0.2
Zinc Zn)	ppm	0.001	<0.3
Fierro (Fe)	ppm	0.19	<4.0
Manganeso (Mn)	ppm	0.019	<1.0
Boro (B)	ppm	0.07	<0.5

En donde:

- a: El agua puede estar contaminada con fertilizante o detergente.
- b: Seguro para la mayor parte de los cultivos excepto la familia de liliáceas
- c: Puede ocasionar manchado en hojas y taponamiento de goteros (riego)
- d: El agua no se recomienda para invernaderos o deberán tomarse medidas especiales
- e: Pudiera provenir de suelo, alga, fierro, manganeso, fertilizante, etc

Caso # 3: Agua alta en Conductividad Eléctrica, apta para riego en invernadero, pero con problemas para semilleros.

Variables	Unidades	Valor Obtenido	Valor Sugerido
Factores de pH			
pH		7.15 f	5.4 – 6.8
Carbonatos (CO ₃)	ppm	0	0
Bicarbonatos (HCO ₃)	ppm	273 c	<100
Bicarbonatos (CaCO ₃)	ppm	224 c	<122
Dureza	ppm	1,005 c	<150
Macroelementos			
Nitrógeno (N) total disponible	ppm	1.7	<10
Nitrato (NO ₃ -N)	ppm	1.7	<10
Amonio (NH ₃ -N)	ppm	0.0	<10
Fósforo (P)	ppm	3.2 a	<0.3
Fosfato (PO ₄)	ppm	9.4 a	<1
Potasio (K)	ppm	6.8	<10
Calcio (Ca)	ppm	310	0-120
Magnesio (Mg)	ppm	56	0-24
Sulfato (SO ₄)	ppm	901	30-45
Factores de Salinidad			
Conductividad eléctrica (gral.)	µsiemens/cm	1,980	<2,000
Conductividad eléctrica (plántulas)	µsiemens/cm	1,980	<750
Sólidos disueltos totales (gral.)	ppm	1,267	<1,300
Sólidos disueltos totales (plántulas)	ppm	1,267	<480
RAS		0.7	<4
Sodio (Na)	ppm	38	<70
Cloro (Cl)	ppm	85 d	<700
Turbidez			
	NTU	0.9	<1
Elementos traza			
Fluor (F)	ppm	2 b	< 0.2
Cobre (Cu)	ppm	0.01	<0.2
Zinc Zn)	ppm	0.001	<0.3
Fierro (Fe)	ppm	0.057	<4.0
Manganeso (Mn)	ppm	0.013	<1.0
Boro (B)	ppm	0.064	<0.5

En donde:

- a: El agua puede estar contaminada con fertilizante o detergente.
- b: Seguro para la mayor parte de los cultivos excepto la familia de liliáceas
- c: Puede ocasionar manchado en hojas y taponamiento de goteros (riego)
- d: El agua no se recomienda para invernaderos o deberán tomarse medidas especiales
- e: Pudiera provenir de suelo, alga, fierro, manganeso, fertilizante, etc

A continuación se presentan fotos de sistemas de riego utilizados en la producción de hortalizas.



Conducción de agua superficial en el valle de San Joaquín, California. Del canal se obtiene agua para los diferentes sistemas de riego; gravedad, aspersión, pivote y goteo.



Riego por gravedad, se observan las curvas de nivel para incrementar la eficiencia, aún así, es el riego con menor eficiencia en el uso del agua.



Riego por gravedad, a través de sifones. El suelo debe estar nivelado para obtener una buena eficiencia.



Sistema de riego con Poly-Hose utilizado en hortalizas para riego por gravedad. Con esto se evita la pérdida por percolación en los canales. En lote con pendientes pronunciadas, no funciona. Además, se tienen problemas con insectos y roedores que lo perforan.



Riego por aspersión en el cultivo de tomate fresadilla en la Ascensión, N.L..



Riego de pivote central en el cultivo de papa en el Sur de Nuevo León



Sistema de riego por goteo, en la foto izquierda con dos horas del primer riego y la foto derecha después de cuatro horas del primer riego.



Cultivo de tomate (izquierda) y chile con acolchado recién trasplantado con el sistema de riego por goteo. La cintilla es de media pulgada de diámetro con un gasto de 460 litros por hora de calibre 6 con emisores cada 30cm.



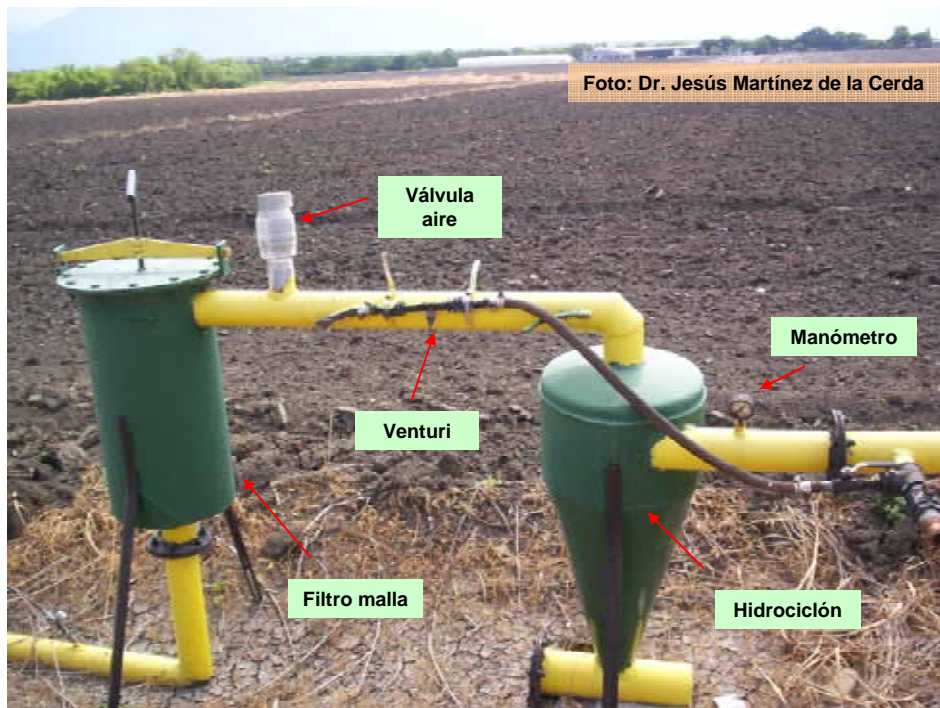
Tubería secundaria en el sistema de riego por goteo, se observa la conexión del tubín en la manguera lay-flat de dos pulgadas (izquierda). Posterior al tubín va conectada la cintilla de riego (derecha).



Filtro de malla indispensable en el sistema de riego por goteo, para evitar el taponamiento de los emisores.



Tubería principal de PVC, válvulas y manómetros para controlar la presión en el sistema de riego por goteo que debe ser entre 10 y 15 psi.



Filtro de malla, válvula de aire y filtro hidrociclón para la eliminación de arenas.



Válvula de aire al terminar el sistema de riego por goteo.



Válvula selenoide con control automático de riego por goteo. En el suelo hay sensores en base a bloques de yeso o tensiómetros, que mandan la señal a la computadora principal que enciende y apaga la bomba de riego al requerirse y satisfacer las necesidades del cultivo, respectivamente.



Tensiómetro (izquierda) y bloques de yeso (derecha), utilizados para determinar el momento de riego. En hortalizas dependiendo del cultivo y etapa de crecimiento se riega cuando la lectura indica entre 17 y 25 centibares.



Sistema de venturi para realizar la aplicación de fertilizantes. Es necesario que el fertilizante tenga una alta solubilidad en el agua para evitar precipitaciones que forman carbonatos y taponean los emisores. El venturi siempre debe ir antes del sistema de filtrado de mallas.



Medidor agua de riego para campo conductividad eléctrica (izquierdo) y sodio (derecha) del agua de riego.



La calidad del agua de riego para producción de plántula deberá ser de muy buena calidad (<750 μ siemens/cm)