

## Capítulo 11

# Sistemas de riego tecnificado por goteo

Componentes de un sistema de riego localizado, para una unidad de aprovechamiento de aguas lluvias en la producción de hortalizas bajo invernadero

**David Mora López** Ingeniero Agrónomo  
**Pablo Lobos Rodríguez** Ingeniero Agrónomo, INIA  
**Emilio Cáceres Celedón** Ingeniero Agrónomo, INIA

### [ 11.1 ] Introducción

El riego es muy importante para alcanzar buenos rendimientos en la producción agrícola, particularmente en la producción de hortalizas bajo invernadero, donde la mayoría de las especies se caracterizan por las altas tasas de evapotranspiración. El agua en áreas de secano es escasa, y su disponibilidad depende principalmente de las aguas lluvias, porque abastecen las napas subterráneas, y con ello las norias existentes en los predios de pequeños agricultores. El agua proveniente de las precipitaciones, también puede ser colectada desde los techos de las casas, y ser acumulada en estanques para su uso, en la producción de hortalizas bajo invernadero.

La escasez de agua que se ha producido en los últimos 10 años, en la zona central de Chile, por efecto de la disminución en las precipitaciones, ha llevado a utilizar diferentes sistemas que permiten generar un ahorro de este recurso, así como un mejor aprovechamiento. Un ejemplo de esto es el sistema de riego por goteo, el cual es un método de irrigación que consiste en suministrar el agua en cantidades adecuadas para cada tipo de cultivo, dependiendo de sus necesidades, de acuerdo a su estado de desarrollo, de la estación del año, y de la forma de cultivo, en invernadero o al aire libre. En este sistema, el agua se distribuye

a través de válvulas, mangueras de plástico, y emisores, mediante los cuales circula lentamente, para salir con baja presión en forma de gotas, de manera constante y localizada, en el punto donde se ubica cada planta del cultivo establecido.

Es primordial antes de considerar el instalar un sistema de riego localizado, el conocer la importancia que tiene el uso eficiente del recurso hídrico, el cual cada día se hace más escaso.

De acuerdo a lo que señala la Dirección General de Aguas (DGA) y el Departamento de Hidrología, en su informe de condiciones hidrometeorológicas de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins del año 2020, establecieron que las precipitaciones han disminuido notablemente en los últimos años, lo cual tuvo como consecuencia la declaración de zona de escasez hídrica, para las 33 comunas de la región.

Una forma de ejemplificar el impacto de la falta de agua es observar los datos de la pluviometría acumulada de la estación meteorológica de Hidango, Litueche, año 2018, y compararla con la pluviometría histórica de los años 1979-2018 (**Figura 11.1**), los cuales indican un déficit del 43% en comparación con el promedio histórico.

En consecuencia, y ante la amenaza de años cada vez más secos, es importante entender el

funcionamiento de los sistemas de riego localizado, el cual tiene un impacto directo en un aprovechamiento eficiente del recurso hídrico. Un riego localizado bien diseñado, una vez instalado debe ser eficiente, facilitando un aprovechamiento del cultivo entre un 85% a 95% del agua aplicada. Si se compara con otros sistemas de riego, como el riego por surco que posee una eficiencia de un 50 a 60%, se logrará una mayor economía en el uso del agua, por lo cual permite aumentar la superficie cultivada o el número de riegos del cultivo establecido.

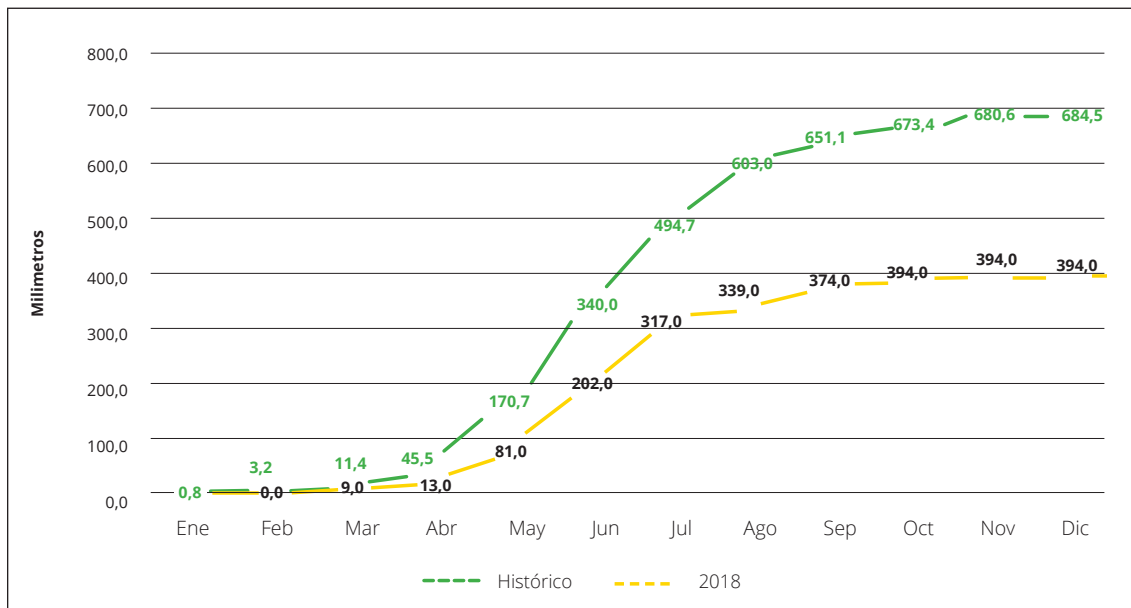


Figura 11.1. Pluviometría acumulada año 2018 v/s pluviometría histórica años 1979 – 2018. Hidango, Litueche.

En el caso de la producción de hortalizas bajo invernadero, el espacio cultivable del mismo será sometido a una condición de sucesión de cultivos, por la rotación de especies hortícolas que se incorporarán en el proceso productivo, por lo que al ser posible el abastecimiento de aguas lluvias para el riego, debe existir una capacidad de almacenamiento adecuado para cubrir los déficits que se van a producir, principalmente en el período estival. De acuerdo a lo señalado, la capacidad de almacenamiento de agua del sistema es relevante, en el uso de aguas lluvias para el riego, teniendo en consideración el uso consumo de cada uno de los cultivos, que se desarrollen en los meses donde no llueve, por lo cual al momento de planificar la producción de los cultivos, se debe conocer la demanda hídrica de cada uno de ellos.

Una de las grandes ventajas del sistema de riego

localizado, como el riego por goteo, es el permitir alcanzar una mayor frecuencia en la aplicación del agua, lo cual significa que, durante los periodos de alta demanda, como la temporada de verano, regarán de 3 a 4 veces por semana, dependiendo del cultivo y su estado de desarrollo, lo que significará una mayor producción y mejor calidad del producto cosechado. De acuerdo a esto, cada componente del sistema de riego tecnificado, cumple una función primordial en la eficiencia de la utilización del agua, por lo cual es necesario conocer su correcto funcionamiento.

De acuerdo a lo anterior, antes de la instalación de un sistema de riego localizado, por goteo, es necesario revisar y entender algunos conceptos básicos de riego, como lo son calcular la demanda hídrica, el tiempo y frecuencia de riego, según el cultivo que se vaya a establecer.

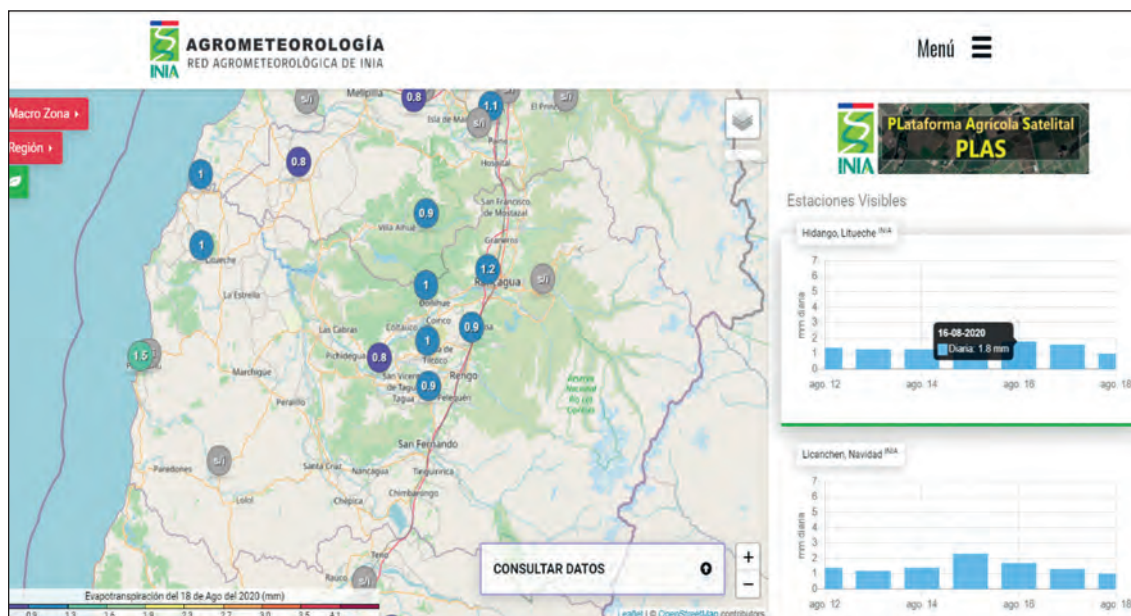
## [ 11.2 ] Requerimiento hídrico en los cultivos

El riego es la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil de suelo para reponer en este el agua consumida por los cultivos, entre dos riegos consecutivos (Gurovich, 1985). Para conocer cuánta agua demandará el cultivo durante la temporada, se realiza una estimación de acuerdo con el agua que transpirará, más una cantidad perdida por percolación o drenaje. El agua que se encuentra disponible en el suelo, se agota por el consumo de las plantas (transpiración), por la evaporación superficial y por el drenaje. La suma de la transpiración y evaporación se conoce como evapotranspiración (ETc).

La demanda total de agua, por parte del cultivo, es definida como demanda bruta (Db), y para calcularla se debe considerar la evapotranspiración potencial (Etp), el estado de desarrollo del cultivo (Kc) y la eficiencia del sistema de riego utilizado (Efr).

Existen diversas formas de calcular la evapotranspiración potencial (Etp), la cual se encuentra directamente influenciada por los factores climáticos, como lo son temperatura, humedad atmosférica, radiación y velocidad del viento. Una de las formas más comunes de calcular la Etp, es mediante una bandeja de evaporación, existente en una estación meteorológica del área donde se establecerá el cultivo programado, la cual mide cuánta agua se evapora durante el día en milímetros (1 mm = 1 litro/m<sup>2</sup>) y se corrige con un factor, conocido como coeficiente de bandeja.

La otra forma de calcular es mediante un modelo matemático FAO Penman-Monteith, el cual toma todas las variables antes descritas y lo traduce en los milímetros de agua evapotranspirada en el día. Este valor, es calculado en estaciones meteorológicas y se encuentran disponibles para los usuarios que lo soliciten, en <https://agrometeorologia.cl/evapotranspiracion>.



**Figura 11.2.** Información de evapotranspiración, de diferentes estaciones meteorológicas de INIA. El 16 de agosto del año 2020, en la estación Hidango Litueche, se alcanzó una Etp de 1.8 mm. Información disponible en <https://agrometeorologia.cl/evapotranspiracion>

Una vez conocida cuánta agua se evaporará en un día, se debe involucrar un factor o coeficiente de cultivo el cual es conocido como **Kc**. Este permite relacionar la Etp con cualquier cultivo, dependiendo su especie, forma y estado de desarrollo. La multiplicación de ambos factores da como resultado una evapotranspiración de cultivo (**Etc**).

$$Etc \left( \frac{mm}{día} \right) = Etp \times Kc$$

**Donde:**

**Etc:** Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

**Etp:** Evapotranspiración potencial (mm/día).

**Kc:** Coeficiente de cultivo (adimensional).

**La Etc puede seguir siendo ajustada de acuerdo con las condiciones de sombra, estrés que pueda presentar la planta, ataque de plagas y enfermedades, etc. Esto significa que cada Etc es variable y única para cada sistema de cultivo.**

### Cuadro 11.1

Diferentes Kc, dependiendo de la especie y el estado de desarrollo del cultivo.

Fuente: Adaptado de Allen et al. (1998)

Fases del cultivo				
Cultivo	Inicial	Desarrollo	Media	Maduración
Arveja	0,45	0,75	1,15	1,00
Berenjena	0,45	0,75	1,15	0,80
Cebolla (guarda)	0,45	0,70	1,05	0,75
Lechuga	0,45	0,60	1,00	0,90
Maíz	0,40	0,80	1,15	0,70
Melón	0,45	0,75	1,00	0,75
Papa	0,45	0,75	1,15	0,85
Pimentón	0,35	0,70	1,05	0,90
Poroto Verde	0,35	0,70	1,10	0,90
Sandía	0,45	0,75	1,00	0,70
Tomate	0,45	0,75	1,15	0,80
Zanahoria	0,45	0,75	1,05	0,90
Zapallo	0,45	0,70	1,00	0,70
Maravilla	0,35	0,75	1,15	0,55
Remolacha	0,40	0,80	1,15	0,80
Soja	0,35	0,75	1,10	0,60
Tabaco	0,35	0,75	1,10	0,90
Avena	0,35	0,75	1,10	0,40
Cebada	0,35	0,75	1,15	0,45
Sorgo	0,35	0,75	1,10	0,65
Trigo	0,35	0,75	1,15	0,45

Finalmente, la eficiencia de un sistema de riego (Efa) determinará cuánta agua efectivamente abastecerá el cultivo y cuanto porcentaje de ésta, se perderá. La mayoría de las pérdidas son por escurrimiento superficial y por percolación profunda, y están directamente asociadas con el método de riego utilizado. Los riegos tradicionales por surco, tienen una eficiencia entre el 50% a 60% del agua, en cambio los sistemas de riego localizado alcanzan entre un 80% a 90% de eficiencia. Por este motivo, para cumplir con las demandas hídricas del cultivo, es necesario aplicar más agua de la que realmente se calculó con la **Etc**.

Teniendo claro una vez estos factores de **Etp, Kc, Etc y Efa**, es posible calcular la **demanda bruta (Db)** del cultivo, el cual será representada en mm/día.

$$Db \left( \frac{\text{mm}}{\text{día}} \right) = \frac{\text{Etc}}{\text{Efa}}$$

**Donde:**

**Db:** Demanda bruta (mm/día)

**Etc:** Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

**Efa:** Eficiencia de aplicación.

Se considera una **Efa = 0.9** para riegos localizados por goteo.

### [ 11.3 ] Programación de riego

Una de las principales preguntas que llegan al momento de operar un sistema de riego localizado, es **¿Cuándo riego?** (*frecuencia*) y **¿Cuánto riego?** (*tiempo*). Para contestar estas interrogantes con precisión, es necesario poseer diferentes datos de variables edafoclimáticas, lo cual es práctico y nos permite tener una idea aproximada de como regar, con la mayor eficiencia posible.

#### [ 11.3.1 ] Tiempo de riego

El cálculo del tiempo de riego se realiza conociendo cuánta agua demanda el cultivo al día, definido anteriormente como demanda

bruta (Db) y relacionándolo con la cantidad de agua que puede incorporar el sistema de riego en un tiempo determinado. Este último concepto es conocido como Intensidad de Precipitación del Sistema (Ipp) el cual se expresa en mm/hora.

**Para determinar el Ipp, es necesario primero conocer el caudal que se aplica a cada planta (Qpl), el cual se calcula de la siguiente forma:**

$$Qpl = q \times Ne \times Cu\% \times 100$$

**Donde:**

**Qpl:** Caudal de agua aplicado para cada planta (litros/hora).

**q:** Caudal entregado por el emisor (litros/hora)

**Ne:** Número de emisores por planta.

**CU:** Coeficiente de uniformidad.

El caudal entregado por el emisor (q) se encuentra especificado por catálogo entregado por el fabricante, o en caso de las cintas de riego, viene incluida en el carrete. Este punto es clave y si bien se puede utilizar el caudal nominal, es importante conocer el caudal real del sector del centro del predio o invernadero.

Cabe señalar, en la producción de hortalizas se utilizan cintas de riego, por sobre goteros o microaspersores. El caudal del emisor viene entregado en litros/horas por metro. También viene entregada la información de separación de cada emisor y la presión recomendada de trabajo (**Figura 11.3**).

El número de emisores por planta (**q**) se puede obtener utilizando la cantidad de ellos que se tiene en un metro lineal, dividiendo por la cantidad de plantas por metro lineal. Un ejemplo de esto es disponer de una cinta de riego con un caudal de 10 litro/hora por metro, con emisores separados a 10 centímetros, la cual abastecerá a un cultivo de lechugas sembradas a 20 centímetros cada una. Entonces, para cada metro lineal con 5 lechugas, corresponden 2 emisores por planta y con un caudal de 2 litros/hora a cada planta.



**Figura 11.3.** Carrete de cinta de riego, en el cual es fabricante proporciona los datos de espesor de la pared, separación de los goteros (*spacing*) y caudal del gotero (*dripper flow rate*).

Junto con esto se debe tomar en consideración que en la realidad no todos los emisores entregarán la misma cantidad de agua, esto debido a singularidades, taponamientos, mal funcionamiento y tipo de mantenimiento. Es por esto, que se agrega un coeficiente de uniformidad (CU), el cual determina como se encuentra el funcionamiento del sistema de riego en general (**Cuadro 11.2**). Se calcula eligiendo un número representativo de emisores del invernadero o predio. Luego se mide el caudal de estos, mediante una probeta o vaso precipitado y un cronómetro.

**Para efectos prácticos es recomendable medir 16 emisores, que se ubiquen al principio, en el primer tercio, en el segundo tercio y en el final del sector del invernadero o predio.**

$$C.U = \frac{q^{25}}{Qa} \times 100$$

**Donde:**

**CU:** Coeficiente de Uniformidad.

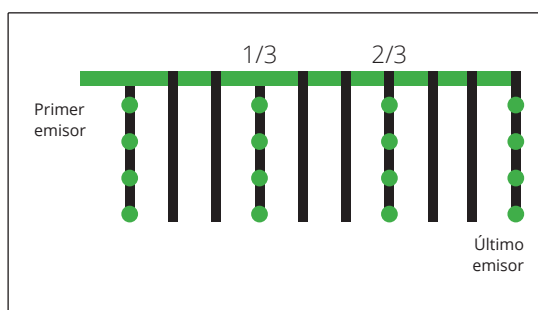
**q<sup>25</sup>:** Caudal promedio de los 25% de los emisores que entregan menor caudal (promedio de los 4 emisores con más bajo caudal).

**Qa:** Caudal promedio de los emisores (promedio de los 16 emisores).

**Cuadro 11.2**  
Calificación del sistema de riego de acuerdo con el coeficiente de uniformidad (CU).

Valor de CU	Calificación
Mayor a 94%	Excelente
Entre 86% y 94%	Bueno
Entre 80% a 86%	Aceptable
Entre 70% a 80%	Pobre
Menor a 70%	Inaceptable

**Ejemplo de selección de emisores para calcular caudal:**



**Figura 11.4.** Esquema de selección de emisores, para evaluar caudal.

Una vez conocido como obtener el caudal por planta (Qpl), la intensidad de precipitación del equipo (Ipp) se obtiene de la siguiente manera:

$$Ipp = \frac{Qpl}{MP}$$

**Donde:**

**Ipp:** Intensidad de precipitación del equipo (mm/h)

**Qpl:** Caudal por planta (L/h)

**MP:** Marco de plantación (distancia entre hilera en metros x distancia sobre hilera en metros)

Finalmente, el tiempo de riego se obtiene de la relación entre la demanda bruta (Db) y la intensidad de precipitación del equipo (Ipp).

$$\text{Tiempo de riego} \left( \frac{\text{horas}}{\text{día}} \right) = \frac{Db}{Ipp}$$

El tiempo de riego se calcula diariamente, aunque también es posible una calendarización semanal o incluso mensual. Es importante recordar, que este cálculo es solo una aproximación a las demandas reales de riego, a las cuales se debe sumar un monitoreo constante en el predio y realizar los reajustes necesarios en el tiempo.

### [ 11.3.2 ] Frecuencia de riego

La frecuencia de riego será determinada por textura de suelo y la capacidad que tiene en retener o almacenar agua (humedad aprovechable). En forma general, los suelos con texturas finas y arcillosas poseerán una alta capacidad de almacenar agua, por el contrario, suelos con texturas gruesas o arenosos, su capacidad de retención de agua será baja. Los factores que determinan esta variable son: porosidad del suelo, densidad aparente del suelo, capacidad de campo y punto de marchitez permanente (**Cuadro 11.3**).

La capacidad de retención de agua (CR) puede ser calculada o bien puede ser obtenida mediante valores referenciales que ya se encuentran estudiados, para cada textura de suelo.

### Cuadro 11.3

#### Resumen de propiedades físicas del suelo según las texturas del mismo

Textura	Porosidad (%)	Densidad aparente	Capacidad de Campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Peso seco	Volumen de suelo (gr)	CR (mm de agua / mm de suelo)
Arenosa	38 (32-42)	1,65 (1,55-1,80)	9 (6-12)	4 (2-6)	5 (4-6)	8 (6-10)	0,08 (0,06-0,10)
Franco arenoso	43 (40-47)	1,50 (1,40-1,60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-10)	12 (9-15)	0,12 (0,09-0,15)
Franco	47 (43-49)	1,40 (1,35- 1,50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)	17 (14-20)	0,17 (0,14-0,20)
Franco - arcilloso	49 (47-51)	1,35 (1,30 -1,40)	27 (23-31)	13 (11-15)	14 (12-16)	19 (16-22)	0,19 (0,16-0,22)
Arcillo- Arenoso	51 (49-53)	1,30 (1,25-1,35)	31 (27-35)	15 (14-16)	16 (13-17)	21 (18-23)	0,21 (0,18-0,23)
Arcilloso	53 (51-55)	1,25 (1,20 -1,30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)	23 (20-25)	0,23 (0,20-0,25)

**Fuente:** Israelsen y Hansen, 1979.

Si bien el suelo tiene una capacidad de retener el agua, hay que considerar que solo una parte se encontrará disponible y es aprovechable para el cultivo. Es por esto, que la **CR** se deberá ajustar, dependiendo la cantidad de pedregosidad del perfil de suelo y la profundidad efectiva del cultivo. En riego localizado, solo una parte del suelo es mojada por los emisores, por lo cual, también el valor se debe reajustar y es definido como porcentaje de suelo mojado (**PSM**).

Finalmente, se define un **“umbral de riego”**, el cual es el porcentaje que se permite que se extraiga de la humedad aprovechable hasta el siguiente riego, sin influir en el desarrollo del cultivo. En sistemas de riego localizados un umbral de riego recomendado es de un 30% a 40%.



**Teniendo en consideración la explicación anterior, el agua disponible que las plantas pueden agotar del suelo se determina de la siguiente manera:**

$$AD \text{ (mm)} = CR \times (1 - \text{Piedras}) \times Psm \times H \times UR$$

**Donde:**

**AD:** Agua disponible (mm).

**CR:** Capacidad de retención de agua total del suelo.

**Piedras:** Fracción o porcentaje de piedras.

**Psm:** Porcentaje de suelo mojado (suelo mojado/marco de plantación).

**H:** Profundidad efectiva de raíces (mm).

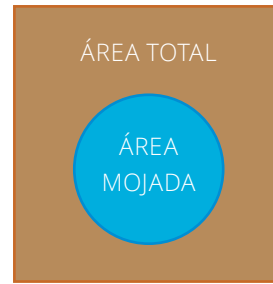
**UR:** Umbral de riego.

El agua disponible del suelo abastecerá al cultivo hasta que se agote, luego mediante un riego se volverá a restablecer la misma cantidad. Por ejemplo, se calcula que el agua disponible de un suelo es de 15 mm, entonces una vez que el cultivo extraiga esa agua, se dará un riego de 15 mm para reestablecer lo perdido.

Previamente se indicó que es posible saber cuánta agua consume un cultivo diariamente mediante la **Etc**, y si ya se conoce también cuánta agua puede almacenar el suelo para abastecer al cultivo, es posible relacionar estos dos conceptos, para saber la frecuencia con la que se van a realizar los riegos.

A modo de ejemplo, se hace la similitud de que el sistema es como el funcionamiento de un automóvil, donde el suelo sería el estanque de gasolina, el agua la gasolina y el cultivo el auto. Entonces el cultivo tendrá un consumo de agua diario (**Etc**), que será extraído de su estanque (**AD**) y se volverá a abastecer cada cierto día (frecuencia de riego) para no quedar en panne.

**Entendiendo bien este concepto, es posible relacionar la Etc y el agua disponible del suelo, para conocer la frecuencia de riego en días.**



**Figura 11.5.** Representación del porcentaje de suelo mojado, para un sistema de riego localizado. El área total representa al marco de plantación del cultivo. El PSM debería ser entre un 55% a 60%, en hortalizas. Se puede estimar el PSM = área mojada/ área total

$$\text{Frecuencia de riego} = \frac{AD(\text{mm})}{\text{Etc} \left( \frac{\text{mm}}{\text{día}} \right)}$$

**Donde:**

**AD:** Agua disponible del suelo (mm).

**Etc:** Evapotranspiración diaria del cultivo (mm/día).

### [ 11.3.2.1 ] Ejemplo

Considerando que el suelo tiene 15 mm de agua disponible para el cultivo, y que la evapotranspiración diaria del cultivo es de 5 mm/día, entonces la frecuencia de riego será 3 días. Esto significa que se realizarán riegos cada 3 días para ese cultivo, en ese determinado suelo.

Es importante señalar que, toda la información presentada, es útil para entender y tomar decisiones de riego, pero la única forma de realmente conocer los tiempos y frecuencias de riegos correctas es in situ. El monitoreo debe ser periódico y en terreno, y puede realizarse mediante diferentes tecnologías.

Sin embargo, en la práctica y en la realidad de la agricultura chilena, lo más tangible, fácil y disponible para todos, es la construcción de calicatas. Estas son claves para verificar el perfil de suelo, como se distribuye la humedad, como es el crecimiento de las raíces y corregir, además, los tiempos y frecuencias de riego.



### [ 11.4 ] Componentes de un sistema de riego localizado

Por el Proyecto de “Mejoramiento de la Resiliencia al Cambio Climático de la pequeña agricultura de la Región de O'Higgins”, se han construido invernaderos de 40 m<sup>2</sup> los cuales son abastecidos por las aguas lluvias captadas durante el invierno y almacenadas en un estanque de polietileno de 5.400 litros, siendo esta la fuente

principal de abastecimiento de los cultivos.

**Una instalación típica de riego localizado (Figura 11.6), está constituida por 3 componentes básicos y fácilmente diferenciables:**

- Cabezal de riego
- Red de distribución
- Emisores (gotero, microjet, microaspersor o cinta).

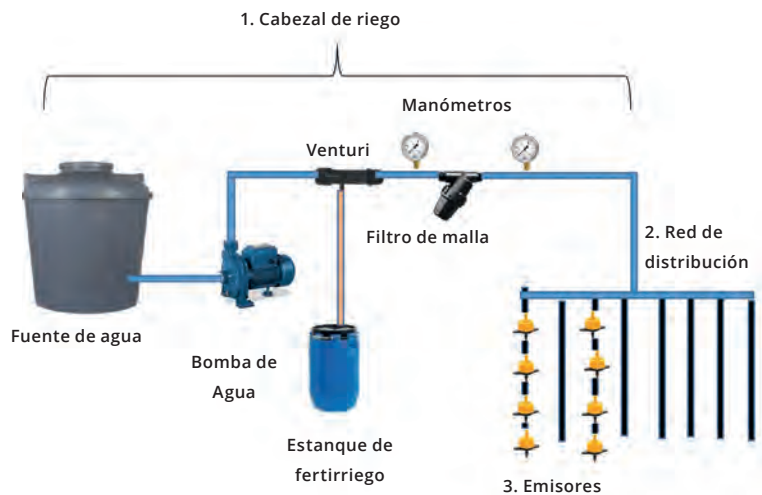


Figura 11.6. Instalación típica de riego localizado.

#### [ 11.4.1 ] Cabeza de riego

Consiste en una serie de dispositivos para entregar a la red hidráulica el agua presurizada, en el momento oportuno y en la cantidad requerida. Normalmente, el cabezal de riego está localizado en o cerca de la fuente de agua y/o energía. Este está compuesto principalmente por 4 unidades o elementos (Figura 11.7).

- Fuente impulsora del agua.
- Unidad de filtraje.
- Unidad de fertilización.
- Elementos de programación y control de flujo .

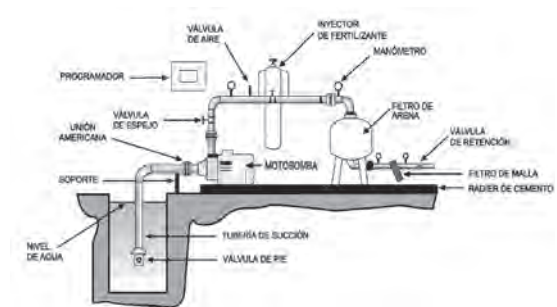


Figura 11.7. Cabezal de riego localizado.

## A. Fuente impulsora del agua

El principal componente de un sistema de riego presurizado es la fuente impulsora, la que debe otorgar presión y caudal de agua suficiente al sistema, situación que debe estar en función de las necesidades que demanda una instalación en particular.

Antes de adquirir una bomba hidráulica, es importante tener en consideración estos factores y definiciones técnicas, los cuales deben cumplir con los requerimientos para abastecer la superficie del cultivo (**Figura 11.9**).

### Los factores por considerar son los siguientes:

**Caudal (Q):** Es el volumen de agua que circulara a través del sistema en un tiempo determinado, el cual se mide en litros/minutos. Todas las bombas de agua poseen un caudal máximo y un caudal mínimo de funcionamiento.

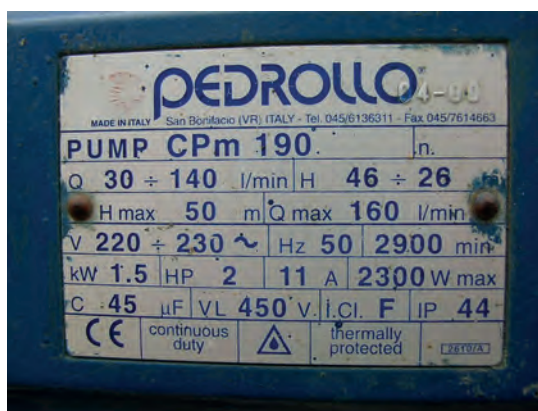
**Altura manométrica o presión del sistema (H):** Es la fuerza aplicada en una superficie determinada, en el caso de una bomba, es la cantidad de agua que puede elevar desde un punto a otro. En estas fuerzas, se encuentran asociadas la altura de aspiración, la altura de impulsión o elevación y las pérdidas de carga por presión de trabajo. Se expresa como metros columna de agua (m.c.a), bares o p.s.i.

**Pérdidas de carga:** Es la perdida de presión (m.c.a) que se ocasiona por la conducción del agua. Esto significa el roce con las tuberías, filtros, emisores y diferentes accesorios del sistema de riego.

**Potencia (HP):** Es la capacidad de trabajo de la bomba hidráulica y que se encuentra definida por el Q y H. Entre mayor eficiencia de la bomba, menor será la potencia demanda por el motor.



**Figura 11.8.** Bomba conectada a estanque acumulador.



**Figura 11.9.** Ejemplo de una placa de bomba de agua. Se observa que la potencia es de 2 HP, el rango del caudal es entre 30 a 140 litros/ minutos y la altura o presión de trabajo tiene un rango entre 46 a 26 metros columna de agua.

Con relación a los caudales y presiones proporcionadas por las bombas, estas vienen especificadas en catálogos editados por los fabricantes, donde se relaciona el caudal con la presión, como también, la potencia requerida para diferentes diámetros de rodete y distintos niveles de eficiencia de la bomba. Las curvas que representan estas relaciones se denominan "curvas de descarga de la bomba".

La importancia de esto radica en que se debe encontrar el punto donde la bomba trabaje de manera eficiente, sin sobre exigirla. Uno de los errores frecuentes que se hace al momento de la selección de la bomba, es que se sobredimensiona la potencia necesaria para el sistema de riego. **Esto origina 2 problemas, ineficiencia en el uso de bomba y un mayor gasto energético**, lo que se traduce en mayores costos.

**Una vez entendido los principios básicos caudal, presión y potencia de una bomba hidráulica, es posible reconocer como está conformada.**

**Succión**

**Chupador:** corresponde al extremo de la tubería dentro del agua. Normalmente lo conforma un filtro que evita la entrada de partículas sólidas de mayor tamaño.

**Válvula de Pie:** válvula que impide el retroceso del agua una vez succionada por el chupador, cuando la bomba se encuentre detenida.

**Unión americana:** Pieza de fitting de pvc, que permite el separar el sistema de succión de la bomba, el cual es útil para reparaciones y mantenimientos.

**Bomba**

**Block:** al igual que los automóviles, es donde se contiene el rodete, pieza clave en el funcionamiento del sistema.

**Rodete:** Elemento esencial de la bomba, la cual gira accionado por el motor. Este produce vacío en el centro y genera la succión. Contiene álabes o aspas, las cuales entregan presión para que el agua sea impulsada o elevada.

**Motor:** Responsable de accionar el sistema. La energía se puede obtener de manera eléctrica (electrobombas) o mediante combustión de bencina o petróleo (motobomba).

**Descarga**

Conformada por la tubería de salida y por los diferentes elementos de control, como pueden ser manómetros o caudalímetros.

En un sistema de riego localizado, en invernaderos, se utilizan bombas de tipo centrífugas las cuales otorgan un gran caudal, y son eficientes en cuanto a la presión otorgada al sistema. También son frecuentes las bombas periféricas, estas otorgan un menor caudal en el sistema, pero permiten incorporar una mayor presión del sistema. Se utilizan generalmente para inyectar presión en sistemas que tienen deficiencias de diseño.

**Por último, se encuentran las motobombas, las cuales funcionan mediante combustión y son utilizadas en cultivos al aire libre y en riegos móviles. Poseen gran potencia y entregan altos caudales de agua, comparativamente con las bombas analizadas, con anterioridad.**

**B. Unidad de filtraje**

De singular importancia en el cabezal, dado que su acción impide el taponamiento de los emisores, a través del filtrado del agua. El tipo de filtros necesarios, en una instalación de riego localizado, depende de la naturaleza y tamaño de las partículas contaminantes, según lo que se presenta en el Cuadro 11.4:

**Cuadro 11.4**  
**Selección del filtro según elemento contaminante**

Elemento	Hidrociclón	Filtro de Arena	Filtro de Malla y anillas
Arena	X		X
Limo y arcillas		X	X
Orgánicos		X	X

**A continuación, se describen los distintos tipos de filtro:**

**Filtro de malla:** Es el más utilizado, esta formado por un cartucho en cuyo interior van uno o más cilindros concéntricos de mallas (**Figura 11.10**). El agua penetra al filtro hacia el interior del cilindro de malla por uno de sus extremos, allí es forzada a escapar por la periferia del cilindro.

Normalmente se sitúan inmediatamente después del tanque fertilizante. Los filtros de malla solo trabajan por superficie, por lo que pueden retener menos cantidad de partículas sólidas y se obstruyen con mayor rapidez. No se recomienda utilizarlos en aguas con partículas en suspensión de tipo orgánico.

De acuerdo al tamaño de los invernaderos construidos en el proyecto “Mejoramiento de la Resiliencia al Cambio Climático de la pequeña agricultura de la Región de O'Higgins”, en la instalación de riego se han utilizado estos filtros, los cuales han funcionado sin problemas, de acuerdo al bajo caudal de trabajo. Su instalación es sencilla y se deben ubicar después de la bomba impulsora (**Figura 11.11**).

**Filtro hidrociclón:** Utilizan la acción centrífuga para separar la arena y otras partículas pesadas. Su diseño crea una acción de giro del agua, el cual hace que los sólidos pesados caigan hacia la parte inferior y sean recolectados en una cámara localizada en la base de la unidad (**Figura 11.12**). Son elementos utilizados en situaciones de agua con alta carga de arena en suspensión.

**Filtro de arena:** Corresponden a tanques de metal, que llevan en su interior arena o grava de un determinado tamaño (**Figura 11.13**). Cuando el agua atraviesa el tanque, la arena realiza el filtrado de limos, arenas finas y materia orgánica. El diámetro del tanque está en relación directa con el caudal de agua que se desea filtrar. De esta manera, para filtrar caudales menores, se requerirá una superficie menor, y por lo tanto, un filtro de diámetro más pequeño.

**Filtro de anillas:** Se caracterizan por su elemento filtrante compuesto de muchos discos ranurados superpuestos uno sobre otro a presión. Estos filtros (**Figura 11.14**) tienen una capacidad de filtrado, mayor a los filtros de malla, que fluctúa entre los 75 y 150 mesh, con otra característica positiva que es la menor pérdida de presión en comparación con un filtro de malla.



**Figura 11.10.** Filtro de malla.



**Figura 11.11.** Filtro de malla en instalaciones del proyecto.



**Figura 11.12.** Filtro hidrociclón.



**Figura 11.13.** Filtro de arena o grava.



**Figura 11.14.** Filtro de anillas.

### C. Unidad de fertilización

En nuestras instalaciones se ha omitido este elemento, ya que se requiere de cierta experiencia para su operación, además de otros elementos para su manejo, sin embargo, la adaptación de estos elementos al sistema de riego se puede realizar en cualquier momento. La fertirrigación permite aplicar no solo los fertilizantes, en forma directa a la planta a través de la red de riego, sino que también pueden aplicarse otros agroquímicos (ácidos, fungicidas, hipoclorito de sodio, etc.) Estos agregados son aplicados en forma eficiente, controlándose su cantidad y tiempo de aplicación.

Para incorporar dichos productos al sistema de riego es necesario contar con un tanque de fertilización (depósito de 20 a 400 litros), para realizar las mezclas, y una unidad inyectora. Al respecto, existen diversos tipos de unidades inyectoras, siendo 3 los más utilizados:

- Inyección por succión de la bomba
- Inyector tipo venturi
- Inyección con Bomba independiente

**Estos se describen a continuación:**

#### Inyección por succión de la bomba:

Corresponde al sistema más simple y económico que existe actualmente. Consiste en la conexión de un arranque en la succión de la bomba hacia el tanque de fertilizantes. Un esquema de este sistema se presenta en la Figura 11.15.



**Figura 11.15.** Inyección de fertilizante por succión de la bomba.

**Inyector tipo Venturi:** Es fundamentalmente un tubo por el que circula agua, provisto de un estrechamiento en el que, por el efecto Venturi, se produce una disminución de presión del sistema. En la zona de estrechamiento lleva conectada una tubería cuyo extremo se introduce al tanque de fertilización con la solución a inyectar (**Figura 11.16**).



**Figura 11.16.** Inyector Venturi.

Para la instalación del inyector tipo Venturi, se coloca en paralelo con la tubería de riego, donde una válvula produce una diferencia de presión, que dirige parte del agua al circuito del inyector.

En el circuito del inyector se instala otra válvula (**Figura 11.17**) para regular el paso del agua y, en la cantidad de fertilizante a aplicar. La concentración de abono en este sistema es constante, porque depende de la concentración cargada en el depósito.



**Figura 11.17.** Esquema de instalación de inyector Venturi.





*Microaspersores*

### Inyección con bomba independiente:

Este sistema es el más utilizado en los equipos, donde es necesario inyectar grandes cantidades de producto. Consiste en el empleo de una bomba utilizada exclusivamente, para la incorporación de la mezcla a la red de riego, desde un tanque para mezcla de fertilizantes. La bomba a utilizar debe estar en función de las características del equipo de bombeo principal, ya que la presión de trabajo de la primera debe ser mayor a la de la red.

### D. Elementos de programación y control de flujo

Son elementos electrónicos que permiten automatizar el accionamiento de la red y a la vez operarla en forma secuencial, permitiendo programar los tiempos y frecuencia de riego para cada sector.

Su inclusión, aun cuando es opcional, se justifica en instalaciones de gran superficie o de difícil manejo.

### [ 11.4.2 ] Red de Distribución

La red de distribución, es la encargada de conducir el agua desde el cabezal a las plantas. Está compuesta por tubería de conducción y líneas emisoras.

El tipo de tubería más usada en sistemas de riego tecnificado son las de PVC y polietileno (PE), teniendo características de mayor resistencia mecánica las de PVC con relación a las de PE.

**La tubería de conducción se puede dividir en:**

- **Primaria o matriz:** Es la tubería de mayor diámetro en la red, su función es conducir el agua hasta la derivación de los diferentes sectores.
- **Secundaria o submatriz:** Corresponden a tuberías de menor diámetro que la matriz y son las encargadas de llevar el agua desde ésta al sector correspondiente.
- **Terciarias o múltiples:** Estas son las tuberías que distribuyen el agua hacia las líneas con

goteros actuando como cabecera de la línea portagoteros o lateral.

**Laterales o líneas portagoteros:** En estas tuberías se insertan los goteros. Son de polietileno y por lo general de 16 o 12 mm de diámetro. Estas son las tuberías que van sobre la superficie en la hilera de cultivo. En nuestras instalaciones utilizamos cintas de riego las cuales tienen goteros incorporados, estas se conectan a una mini válvula que conecta la cinta de riego a la tubería terciaria (**Figura 11.18**).



**Figura 11.19.** Cintas de riego.

### [ 11.4.3 ] Emisores

Los emisores en el riego localizado, son dispositivos que controlan la salida del agua, desde las tuberías laterales y se caracterizan por reducir la presión del agua. De acuerdo a los distintos tipos de sistemas nos encontramos con el uso de diferentes tipos de emisores.

En un sistema de riego presurizado se puede recurrir a distintos tipos de emisores, los cuales se pueden clasificar en:

- Goteros
- Cintas o tuberías perforadas
- Microaspersores y Microjets

### A. Goteros

Son dispositivos mediante los cuales el agua pasa de la red de tuberías al suelo, y su función es entregar caudales en forma lenta y uniforme. Una característica general de estos elementos, donde el caudal de emisión varía al modificarse la presión de trabajo. Sin embargo, actualmente existen en



el mercado otras alternativas de estos goteros, denominados goteros “autocompensados”, con los cuales se puede obtener un caudal constante independiente de la presión.

**En el cuadro siguiente se presenta una breve descripción de los tipos de goteros según su diseño y terminaciones (Cuadro 11.5):**

**Cuadro 11.5**  
**Tipos de goteros según su diseño y terminaciones.**

Tipo	Descripción	Esquema
De botón	Son goteros que se insertan en una pared de la tubería portagoteros.	
Interlínea	Son goteros interlínea de una sola pieza que van en la tubería.	
Integrados	Se ubican en el interior de las tuberías, durante el proceso de fabricación, sin que exista ningún tipo de acople.	

Los goteros indicados en el cuadro anterior se encuentran en ambas modalidades convencionales o autocompensados, estos últimos se recomienda utilizarlos en aquellos sistemas de riego, que son diseñados en sectores con más de 2% de pendiente.

### B. Cintas o tuberías perforadas

En la producción de hortalizas bajo invernaderos, por razones de costos, el uso de goteros ha ido derivando hacia el uso de cintas de riego o tuberías perforadas del tipo T-Tape o Biwall, entre otras (Figura 11.20). Todas ellas suministran un caudal continuo a lo largo de su recorrido, por lo que en sus características no se define un caudal por cada salida, sino un caudal por metro lineal de tubería. Regularmente funcionan a bajas presiones, menores de 1 bar (1 bar = 10 m.c.a.).



Figura 11.20. Cinta de riego con gotero incorporado.

### C. Microaspersores y microjets

Al utilizar estos emisores, el agua de riego se aplica como una lluvia de gotas finas a baja altura, permitiendo dar un mojamiento localizado a las plantas. La diferencia entre microaspersores y microjets, se produce porque en los primeros el chorro de agua va rotando (Figura 11.21 A) y en los últimos es estático (Figura 11.21 B). Los caudales descargados por estos emisores son altos, fluctuando entre 25 y 120 l/h.

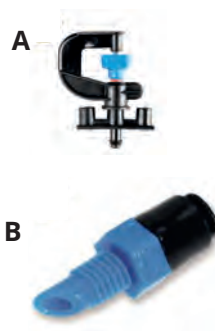


Figura 11.21. (A) Microaspersor (B) Microjet.

### [ 11.5 ] Mantenimiento y monitoreo del sistema de riego localizado

Una vez en funcionamiento el sistema de riego, es necesario realizar un mantenimiento adecuado para prolongar la vida útil de los mecanismos y, así tener una uniformidad en la entrega de agua en un invernadero, o en un área determinada de un predio. Para esto, se requiere realizar mantenciones periódicas a nivel del cabezal, red de distribución y emisores, del sistema de riego.



**Figura 11.22.** Manómetros ubicados a la entrada y salida del filtro de malla. Al existir una variación de presión, indica un posible taponamiento, por lo cual se debe limpiar el filtro.

Los manómetros, además deben ser instalados en la entrada de agua a la bomba de riego, para controlar que no existan problemas en la succión, o en la salida de la bomba, lo cual indicaría que la impulsión de agua está funcionando correctamente.

Otra de la forma de utilización de los manómetros, es conectarlos en las “colas” o al final de las cintas de riego. Esto permite verificar que los emisores estén trabajando con la presión adecuada y, que no existen fugas de agua en el sistema.

De acuerdo a lo anterior, se hace necesario revisar periódicamente las presiones del flujo de agua de riego, llevando un control de ellas, anotando sus valores de manera que ante cualquier variación, se pueden hacer las correcciones en forma oportuna, evitando así afectar la eficiencia del riego, además del sistema de regadío.

Otro implemento importante para tener un adecuado control de la presión en el sistema, es

la utilización de válvulas o llaves de paso. Existen de 2 tipos, válvula de mariposa o compuerta y la válvula de bola. Aunque ambas pueden cumplir la misma función, están diseñadas para utilizarse en diferentes condiciones. La válvula de bola posee un mecanismo más sencillo el cual permite cortar el flujo de agua de un sector o una línea de riego. Sin embargo presenta una mayor dificultad a la hora de regular la presión en el sistema.

Caso contrario, la válvula de tipo mariposa presenta un mecanismo de compuerta el cual permite controlar de mejor manera la presión de un sistema, pudiendo realizar pequeñas modificaciones en el flujo de agua (**Figura 11.23**). Es recomendable utilizar válvulas de tipo mariposa, en el cabezal de riego antes de la instalación del filtro y entre los manómetros de entrada y salida. Las válvulas de bola son recomendables su utilización, en la separación de sectores de riegos o incluso en cada cinta, ante el caso de alguna fuga de agua.



**Figura 11.23.** (A) válvula de bola (B) válvula de mariposa o compuerta

## B. Lavado de laterales y de cintas de riegos

A medida que se utilice el sistema de riego, es inevitable que los emisores vayan acumulando partículas de limo, o arcillas en suspensión, que no son separadas por los filtros.

Independiente sea el caso, es necesario realizar por lo menos una vez a la semana, un “despiche” o apertura de las cintas de riego, haciendo fluir el agua. Esto permite eliminar posibles residuos o precipitados acumulados en las cintas, mejorando con ello la uniformidad del riego. Además, es recomendable, dentro de lo posible, un lavado de las tuberías terciarias, a lo menos una vez mes al mes.

## C. Uso de químicos para la limpieza de líneas y emisores

Si el agua utilizada para el riego no es de buena calidad, al ser alcalinas, o si se realizan inyecciones de fertilizantes con alto contenido de carbonatos, a través del sistema de riego, es posible que los emisores se obstruyan y no entreguen adecuadamente el caudal necesario. Los goteros se pueden obstruir parcialmente, lo que significará un cambio en el flujo del agua, lo cual complicará la uniformidad del sistema de riego, provocando una disminución en los rendimientos del cultivo establecido, en la zona del gotero obstruido. En estos casos es posible realizar aplicaciones de ácidos, que permitan disolver estos carbonatos y limpiar los emisores, con algunos como el ácido nítrico o ácido fosfórico. El ácido nítrico se

**Cuadro 11.6**  
Causas y soluciones de las obstrucciones

Tipo	Agente		Tratamientos		
			Preventivos		Desobturantes
Físico (Sólidos en suspensión)	Inorgánicos	Arena Limo arcilla	Prefiltrado	Mallas y rejillas Decantadores Hidrociclón	Contralavado de filtros Limpieza manual
		Partículas de plástico	Hidrociclón	Filtro de arena Filtro de malla Filtro de anillas	Renovación arena en filtro de arena. Lavado de filtros con alta presión.
	Orgánicos	Plantas Acuáticas		Adición de agentes floculantes al estanque. Sulfato de amonio o cobre.	
Químicas (Precipitados)	Carbonatos de calcio y magnesio Sulfato cálcico Óxidos, carbonatos, hidróxidos y sulfuros metales pesados Fertilizantes: fosforados y oligoelementos		Acidificación del agua de riego (ph 5,5) Aireación y/o cloración del agua		Acidificación del agua de riego (ph = 2) por 24 h. Retirar emisores obstruidos y tratarlos con fuentes altamente ácidas.
Biológicos (Algas y bacterias)	Filamentos y geles bacterianos Depositos de hierro, azufre y manganeso de origen microbiano		Algas	Adición de sales de cobre (sulfato de cobre, quelatos) Adición de Cloro	Supercloración y acidificación ( 100 g de cloro /m <sup>2</sup> agua a pH = 2 durante 24 horas.
			Bacterias	Adición de cloro	

debe inyectar 2 veces en la temporada, en dosis de 4 litros por hectárea, y el ácido fosfórico se recomienda inyectarlo una vez, cada dos meses, en dosis de 4 litros por hectárea.

Considerando qué si la fuente de agua proviene de las precipitaciones de la zona, por la colecta de aguas lluvias, no existirán problemas de emisores obstruidos, por la buena calidad del agua. De acuerdo a esto, no existirán problemas de precipitados de carbonato de calcio.

### D. Mantención de bombas hidráulica

Antes de realizar el primer riego de la temporada y, después de finalizar el último, el funcionamiento de la bomba de riego se debe verificar, de manera

de comprobar que esté operando en buenas condiciones, considerando que es el eje principal del sistema de riego tecnificado. Para ello se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- La bomba de riego cuando no esté operativa, debe ser retirada del sistema de riego y verificar que no quede con agua en su mecanismo. Esto debido, que es muy frecuente que la bomba al no estar en uso, el agua vaya oxidando el rodete o los álabes y no permita el correcto funcionamiento en el futuro.
- Una práctica recomendada es desarmar la bomba y realizar una aplicación de aceite lubricante anticorrosivo, en la parte del rodete y los álabes. Esto permite evitar la formación de óxidos y, a su vez, alarga la vida útil de la bomba.

### Cuadro 11.7

#### Secuencia de labores de mantenimiento de equipo de riego localizado

Equipos	Inicio de riego	Término de riego	Durante el riego
Filtros	Revisar limpieza interior  Revisar retrolavado (en caso de existir)	Drenar el agua del equipo de filtración después del lavado. Inspeccionar los filtros ante cualquier deterioro	Observar que la filtración sea buena. Filtros de arenas: Cuando la diferencia de presión entre manómetros sea mayor a 1,5 bares se efectuará el retro lavado automático o manual.  Filtro de malla: Efectuar lavado cuando la diferencia de presión sea igual o mayor a 3 bares. Cerrar válvulas, destapar filtros y sacar malla para limpiar.
Bombas	Revisar funcionamiento en general	Acidificación del agua de riego (pH 5,5) Aireación y/o cloración del agua	Acidificación del agua de riego (pH = 2) por 24 h. Retirar emisores obstruidos y tratarlos con fuentes altamente ácidas
Válvulas	Inspeccionar válvulas automáticas Verificar funcionamientos de válvulas	Vaciar todas las válvulas Dejar las válvulas abiertas	Verificar operación de las válvulas.
Tuberías	Revisar funcionamiento del sistema	Cuando el sistema de riego se encuentre funcionando, marca roturas	Limpiar tuberías, hacer correr agua por ellas, todas las veces sea necesario. Abrir grupos de 5 laterales, hasta que salga agua limpia.
Emisores	Revisar visualmente obstrucciones, daños o deterioro	Cambiar emisores rotos u ostruidos	Revisar mensualmente el caudal de descarga y presión de funcionamiento.
Inyección de fertilizantes	Revisar obstrucciones, revisar funcionamiento general	Lavar bien el equipo	Lavar y vaciar el estanque después de cada uso.

## Referencias bibliográficas

**Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. 1998.** Crop evapotranspiration-Guide lines for computing crop water requirements-FAO. Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome. 300.

**Ferreyra E., Raúl; Sellés V., Gabriel; Ahumada B., Rodrigo; Maldonado B., Patricio; Gil M., Pilar R. 2005.** Manejo del riego localizado y fertirrigación. La Cruz, Chile. Instituto de investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 126. 56 p.

**Gil M., Pilar; Sellés V., Gabriel; Ferreyra E. Raúl; Barrera M. Cristián. 2009.** Manual de riego para paltos y cítricos. La Cruz, Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Recuperado de: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/apartado/NR40374.pdf>

**Israelsen O.W y Hansen V. E.;** Principios y Aplicaciones del Riego. 1979. 2° Edición. Ed Reverté, Barcelona.

**Leris G. Luis;** Mantención y Operación de sistemas de riego a presión. Limarí, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Recuperado de: <https://www.inia.cl/wp-content/uploads/2014/08/Operacion-y-mantencion-de-sistemas-de-riego-a-presion.pdf>

**Maldonado I., Isaac. 2001.** Riego y drenaje guía del extensionista. Chillan, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín de Bolsillo N°1.

**Gurovich, L. 1985.** Fundamentos y diseños de sistema de Riego. San José, Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA.