GOBIERNO DE CHILE
CNR

GOBIERNO REGIONAL
DE VALPARAÍSO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

MANEJO DEL RIEGO LOCALIZADO Y FERTIRRIGACIÓN

RAÚL FERREYRA E. - GABRIEL SELLÉS V.
RODRIGO AHUMADA B. - PATRICIO MALDONADO B.
PILAR GIL M. - CRISTIÁN BARRERA M.

ISSN 0717-4829

BOLETÍN INIA - Nº 126

GOBIERNO DE CHILE
INIA

GOBIERNO DE CHILE
CNR

GOBIERNO REGIONAL
DE VALPARAISO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

MANEJO DEL RIEGO LOCALIZADO Y FERTIRRIGACIÓN

Raúl Ferreyra E.
INIA La Cruz

Gabriel Sellés V.
INIA La Platina

Rodrigo Ahumada B.
INIA La Platina

Patricio Maldonado B.
INIA La Cruz

Pilar Gil M.
INIA La Cruz

Cristián Barrera M.
INIA La Cruz

La Cruz, Chile, 2005

ISSN 0717-4829

BOLETÍN INIA - Nº 126

Autores:

Raúl Ferreyra E.
Ingeniero Agrónomo, M.Sc. - INIA La Cruz

Gabriel Sellés V.
Ingeniero Agrónomo, Ph.D. - INIA La Platina

Rodrigo Ahumada B.
Ingeniero Agrónomo - INIA La Platina

Patricio Maldonado B.
Ingeniero Agrónomo - INIA La Cruz

Pilar Gil M.
Ingeniero Agrónomo - INIA La Cruz

Cristián Barrera M.
Ingeniero Agrónomo - INIA La Cruz

Boletín INIA Nº 126

Este boletín fue editado por el Centro Regional de Investigación
La Cruz del Instituto de Investigaciones Agropecuarias,
Ministerio de Agricultura.

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y los autores.

Cita bibliográfica correcta:

Ferreyra E., Raúl; Sellés V., Gabriel; Ahumada B., Rodrigo;
Maldonado B., Patricio; Gil M., Pilar. 2005.
Manejo del riego localizado y fertirrigación.
La Cruz, Chile.
Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
Boletín INIA Nº 126. 56 p.

Diseño y Diagramación:
Ediciones Universitarias de Valparaíso - PUCV

Impresión: Litogarín, Valparaíso

Cantidad de ejemplares: 500

La Cruz, Chile, 2005

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. PROGRAMACIÓN DEL RIEGO ..... Pág. 9
1.1. Características de la Bandeja de evaporación y su instalación 10
1.2. Criterios de manejo del sistema de riego 15

2. CONTROL DEL RIEGO 19
2.1. Control del funcionamiento del equipo de riego 19
2.2. Control de la humedad en el perfil de suelo 22
2.3. Control del estado hídrico en la planta 27

3. FERTIRRIGACIÓN 29
3.1. SISTEMAS DE INYECCIÓN 30
3.1.1. Venturi 30
3.1.2. Bombas inyectoras auxiliares 31
3.1.3. Inyector por succión positiva 32
3.2. SALINIDAD 32
3.3. FERTILIZANTES UTILIZADOS EN FERTIRRIGACIÓN 34
3.4. COMPATIBILIDAD DE PRODUCTOS 36
3.5. CALIBRACIÓN DE LA TASA DE INYECCIÓN DE LOS FERTILIZANTES 39
3.6. DOSIFICACIÓN DE FERTILIZANTES 39

4. MANTENCIÓN DEL EQUIPO DE RIEGO 45
4.1. MOTORES Y BOMBAS 45
4.2. FILTROS 47
4.3. VÁLVULAS 49
4.4. EMISORES, LATERALES Y MATRICES 49
4.4.1. Lavado de la red de riego 49

INTRODUCCIÓN

El riego es la aplicación de agua a los cultivos en forma artificial, oportuna y uniforme. De esta definición se desprende que para regar no basta aplicar agua a los cultivos a través de cualquier metodología, sino que es necesario hacerlo en forma oportuna, manejando las frecuencias y los tiempos de aplicación de acuerdo a las características del cultivo, clima y suelo.

Muchas de las recomendaciones de riego están basadas en información teórica. Por ello se debe tener en cuenta que tales programas sólo serán útiles si se encuentran asociados a un monitoreo del riego, práctica que consiste en observar en terreno las condiciones hídricas de la planta y del suelo. Esto permite hacer regulaciones al programa, lo que implica reducir los problemas derivados de la falta o exceso de humedad en el cultivo.

Los avances tecnológicos en riego han permitido aumentar la eficiencia de esta práctica, localizando mejor el agua en el cultivo y disminuyendo las pérdidas que ocurren en la conducción. Además, se ha aprovechado la misma red para aplicar los fertilizantes que van disueltos en el agua de riego, lo que se ha denominado como fertirrigación. Sin embargo, el manejo del riego y la fertirrigación requieren de mano de obra calificada que lo ejecute, pues cualquier inexactitud puede ocasionar problemas graves al cultivo, en especial durante los períodos en que la planta es más sensible.

El presente boletín tiene por objeto describir los componentes de un sistema de riego presurizado del tipo localizado, detallando las funciones de cada uno de ellos y su operación. Además, entrega pautas para calcular el tiempo y la frecuencia de riego para monitorear su aplicación en terreno. También se entregan los conceptos básicos que definen la aplicación de fertilizantes vía riego localizado.

1. Programación de riego

El manejo del riego consiste en lograr reponer a la planta el agua requerida para su desarrollo, en la cantidad y momento adecuado.

El manejo de riego se puede dividir en dos etapas. Una que corresponde a la programación o calendarización de riego y otra al control de éste. El control se realiza a través del equipo de riego, de la humedad del suelo y/o del estado hídrico de la planta.

La programación del riego localizado se realiza a partir del cálculo de la demanda bruta de agua del cultivo (Db). Para calcular la (Db) se debe considerar la evapotranspiración potencial (Eto), el estado de desarrollo en que se encuentre el cultivo (Kc) y la eficiencia del método de riego (Efa).

El método más utilizado y el más simple para medir la demanda diaria de agua por un cultivo es el método de la bandeja evaporimétrica clase A. Este método, como se mencionó anteriormente, consiste en correlacionar la evapotranspiración del cultivo, con la evaporación que tiene lugar en una superficie de agua libre contenida en una bandeja. En teoría se debiera integrar la influencia de la radiación, velocidad del viento, temperatura y humedad del aire, en un valor de evapotranspiración.

La evapotranspiración potencial se puede obtener también a partir de información climática registrada en una estación microclimática (Figura 1).

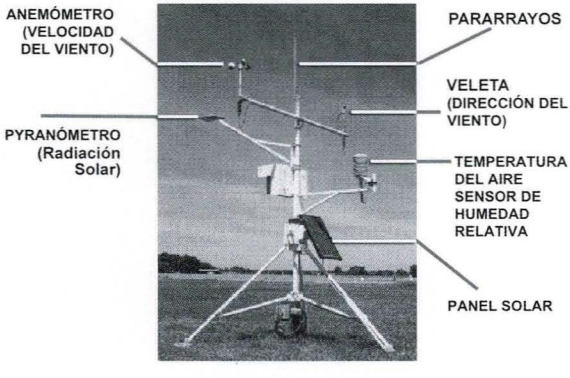

Figura 1. Estación microclimática.

1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA BANDEJA DE EVAPORACIÓN Y SU INSTALACIÓN

El método de la bandeja de evaporación es un sistema relativamente sencillo y entrega información adecuada para fines de programación. Su costo es del orden de $120.000

La bandeja de evaporación está normalizada y debe cumplir con las siguientes condiciones: 120.65 cm de diámetro, 25.4 cm de altura y construida de fierro galvanizado de 0.8 mm.

La estructura se coloca sobre apoyos de madera que a su vez descansan sobre el terreno. El fondo del tanque debe quedar a 15 cm del nivel del suelo. Luego este espacio se rellena con tierra, dejando sólo 5 cm libres bajo el fondo del tanque. El recipiente se llena de agua limpia y se rellena diariamente, procurando que el nivel del agua se mantenga siempre entre 5 y 7.5 cm del borde, como máximo.

Las mediciones se realizan con jarros debidamente calibrados (que contienen 1 y 0.1 mm). Las lecturas deben realizarse en forma diaria y en lo posible a la misma hora (8:30 horas), para hacerlas comparables a las lecturas de los días anteriores.

Aunque la pérdida de agua por el cultivo responde a las mismas variables climáticas que la evaporación de bandeja, hay una serie de factores que tienden a producir diferencias considerables entre ambas. Entre éstos se pueden mencionar los siguientes puntos:

- Diferencias microclimáticas sobre la superficie del agua y del cultivo (turbulencia, temperatura y humedad del aire) que finalmente pueden causar una subestimación o sobrestimación de la demanda evapotranspirativa.
- La bandeja de evaporación almacena calor durante el día y continúa evaporando durante la noche, mientras que la evapotranspiración de la mayor parte de los cultivos tiene lugar durante el día.

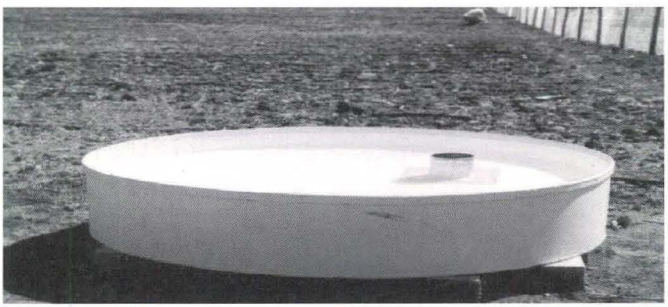

Figura 2. Bandeja de evaporación Clase A.

- Las hojas de las plantas poseen estomas, lugar donde ocurre la transpiración de las plantas. Éstos tienden a cerrarse con altas temperaturas, viento y baja humedad relativa del aire, por ende, disminuye la transpiración. En cambio, en las mismas condiciones, la bandeja de evaporación continúa su proceso sin ninguna restricción.

Para estimar los requerimientos de agua de los cultivos, a partir de los datos de la evaporación de bandeja, se deben hacer dos tipos de correcciones. La primera permite estimar la Eto (evapotranspiración potencial) de la zona. La segunda corrección debe tomar en cuenta el cultivo y su estado de desarrollo.

CUADRO 1
Coeficientes de bandejas

Humedad relativa (%)								
Sobre forraje verde de poca altura					Sobre barbecho seco			
Viento (m/día)	Distancia* (m)	Bajo <40	Medio 40-70	Alto >70	Distancia (m)	Bajo <40	Medio 40-70	Alto >70
Ligero menos de 175	1	0.55	0.55	0.75	1	0.70	0.80	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.60	0.70	0.80
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.50	0.60	0.70
Moderado 175-425	1	0.50	0.60	0.65	1	0.65	0.75	0.80
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.55	0.65	0.70
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.70	0.80	0.80	1000	0.45	0.55	0.60
Fuerte 425 -700	1	0.45	0.50	0.60	1	0.60	0.65	0.70
	10	0.55	0.60	0.65	10	0.50	0.55	0.65
	100	0.60	0.65	0.70	100	0.45	0.50	0.60
	1000	0.65	0.70	0.75	1000	0.40	0.45	0.50
Más Fuerte más de 700	1	0.40	0.45	0.50	1	0.50	0.60	0.65
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.45	0.60	0.55
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.40	0.45	0.50
	1000	0.55	0.60	0.65	1000	0.35	0.40	0.40

* Distancia desde la bandeja hasta el límite de forraje o barbecho, medida desde barlovento (desde donde viene el viento).

Para estimar la Eto, la evaporación de bandeja debe corregirse por un coeficiente llamado Kp, el cual variará de acuerdo a la ubicación, velocidad del viento y humedad relativa. En el Cuadro 1 se muestran la tabla con los coeficientes de bandeja.

La estimación de la evapotranspiración potencial del cultivo en función de la evaporación de bandeja se basa en la relación siguiente:

$$Eto = Kp \times EB$$

Donde:

Eto = Evapotranspiración potencial

EB = Evaporación de bandeja

Kp = Coeficiente de bandeja

En general, se puede decir que para condiciones normales de verano (vientos moderados y humedades relativas de 40 a 70%), el coeficiente de la bandeja (Kp) varía entre 0.6 y 0.8.

En la segunda corrección para estimar las necesidades brutas del cultivo se debe corregir la Eto por un coeficiente de cultivo y la eficiencia del sistema de riego, cuyos valores teóricos son 90% para goteo y 85% para microaspersión, siendo recomendable usar la eficiencia real o medida en el sistema a través de la determinación del coeficiente de uniformidad.

$$Db\ (mm/día) = \frac{Eto\ (mm/día) \times Kc}{Efa}$$

La demanda bruta diaria del cultivo (Db) se obtiene utilizando las siguientes relaciones:

Donde:

Db = Demanda bruta del cultivo

Eto = Evapotranspiración potencial

Kc = Coeficiente de cultivo factor que corrige el cultivo según su fase vegetativa

Efa = Eficiencia de aplicación

En los Cuadros 2 y 3 se presentan algunos coeficientes de cultivo según el tipo de cultivo y las distintas etapas de su desarrollo. Estos Kc se presentan a modo de referencia ya que deben ser validados en cada situación particular del predio.

Una vez conocida la demanda bruta del cultivo en términos de lámina (mm/día) se deben calcular los litros de agua que va a consumir el cultivo. Para esto se debe multiplicar los mm/día por el marco de plantación (MP, en metros cuadrados). De esta forma se tiene lo siguiente:

$$RAP = Db \times MP\ (litros/planta/día)$$

Donde:

RAP = Requerimiento de agua por planta

Estimados los requerimientos de agua al día, se procede a calcular el tiempo de riego.

CUADRO 2

Valores de Kc correspondientes a árboles caducifolios y de nuez, en pleno crecimiento (adaptado de Doorembos y Pruitt, 1976)

	Con cubierta vegetal en el suelo									Sin cubierta vegetal en el suelo (Cultivos limpios, exentos de malas hierbas)								
	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Ma	Abr	May	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
INVIERNOS FRÍOS CON HELADAS LETALES: LA CUBIERTA EMPIEZA A FORMARSE EN ABRIL																		
Manzano, Cerezo																		
Vientos de débiles a moderados, húmedos	-	0.50	0.75	1.0	1.1	1.1	1.1	0.85	-	-	0.45	0.55	0.75	0.85	0.85	0.8	0.6	-
Vientos fuertes, húmedos	-	0.50	0.75	1.1	1.2	1.2	1.15	0.9	-	-	0.45	0.55	0.8	0.9	0.9	0.85	0.65	-
Vientos de débiles a moderados, secos	-	0.45	0.85	1.15	1.25	1.25	1.2	0.95	-	-	0.4	0.6	0.85	1.0	1.0	0.95	0.7	-
Vientos fuertes, secos	-	0.45	0.85	1.2	1.35	1.35	1.25	1.1	-	-	0.4	0.65	0.9	1.05	1.05	1.0	0.75	-
Duraznero, Damasco, Peral, Ciruelo, Almendro																		
Vientos de débiles a moderados, húmedos	-	0.50	0.7	0.6	1.0	1.0	0.95	0.75	-	-	0.45	0.5	0.65	0.75	0.75	0.7	0.55	-
Vientos fuertes, húmedos	-	0.50	0.7	1.0	1.05	1.1	1.0	0.8	-	-	0.45	0.55	0.7	0.8	0.8	0.75	0.8	-
Vientos de débiles a moderados, secos	-	0.45	0.8	1.05	1.15	1.15	1.1	0.85	-	-	0.4	0.55	0.75	0.9	0.9	0.7	0.65	-
Vientos fuertes, secos	-	0.45	0.8	1.1	1.2	1.2	1.15	0.9	-	-	0.4	0.6	0.8	0.95	0.95	0.9	0.65	-
INVIERNOS FRÍOS CON HELADAS LIGERAS SIN LATENCIA EN LA CUBIERTA VEGETAL DE GRAMÍNEAS																		
Manzano, Cerezo, Nogal																		
Vientos de débiles a moderados, húmedos	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	1.05	0.85	0.8	0.6	0.7	0.8	0.85	0.85	0.8	0.8	0.75	0.65
Vientos fuertes, húmedos	0.8	0.95	1.1	1.15	1.2	1.2	1.15	0.9	0.85	0.6	0.75	0.85	0.9	0.9	0.85	0.85	0.8	0.7
Vientos de débiles a moderados, secos	0.85	1.0	1.15	1.25	1.25	1.25	1.2	0.95	0.85	0.5	0.75	0.95	1.0	1.0	0.95	0.9	0.85	0.7
Vientos fuertes, secos	0.85	1.05	1.2	1.35	1.35	1.35	1.25	1.0	0.85	0.5	0.8	1.0	1.05	1.05	1.0	0.95	0.9	0.75
Duraznero, Damasco, Peral, Ciruelo, Almendro, Nogal, Pecanero																		
Vientos de débiles a moderados, húmedos	0.8	0.85	0.9	1.0	1.0	1.0	0.95	0.8	0.8	0.55	0.7	0.75	0.8	0.8	0.7	0.7	0.65	0.55
Vientos fuertes, húmedos	0.8	0.9	0.95	1.0	1.1	1.1	1.0	0.85	0.8	0.55	0.7	0.75	0.8	0.8	0.8	0.75	0.7	0.6
Vientos de débiles a moderados, secos	0.85	0.95	1.05	1.15	1.15	1.15	1.1	0.9	0.85	0.5	0.7	0.85	0.9	0.9	0.9	0.8	0.75	0.65
Vientos fuertes, secos	0.85	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.15	0.95	0.85	0.5	0.75	0.9	0.95	0.95	0.95	0.85	0.8	0.7

1. Habrá que aumentar los valores de Kc si son frecuentes las lluvias.
2. Los valores de Kc presuponen unas lluvias o un riego infrecuentes (cada 2 ó 4 semanas). En el caso de ser frecuentes en septiembre, octubre y mayo habrá que reajustar el Kc, en mayo y octubre se emplearan los valores de Kc de cuadro correspondiente a "Con cubierta vegetal". En el caso de huertos jóvenes con una cubierta arbórea de un 20 y un 50%, habrá que reducir los valores de Kc de mediados de período vegetativo de un 25 a un 35% y de un 10 a un 15% respectivamente.

Fuente: Domínguez, 1993.

CUADRO 3

Valores de los coeficientes de Kc para algunos cultivos anuales y frutales persistentes

	% del período de crecimiento									
Cultivos anuales	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
Remolacha azucarera	0.45	0.50	0.70	0.90	1.05	1.15	1.25	1.25	1.15	1.10
Algodón	0.20	0.30	0.40	0.60	0.90	1.00	1.00	0.90	0.70	0.60
Leguminosas	0.50	0.65	0.00	1.00	1.10	1.15	1.10	0.95	0.90	0.70
Maíz grano	0.45	0.55	0.65	0.80	1.00	1.08	1.08	1.02	0.95	0.85
Maíz forraje	0.45	0.50	0.60	0.70	0.90	1.02	1.10	1.10	1.05	0.95
Hortalizas	0.35	0.50	0.65	0.75	0.80	0.82	0.80	0.75	0.65	0.50
Melón	0.45	0.50	0.60	0.70	0.80	0.82	0.80	0.75	0.72	0.70
Papa	0.35	0.45	0.60	0.65	1.10	1.25	1.35	1.38	1.35	1.25
Sorgo grano	0.30	0.50	0.75	0.90	1.10	1.05	0.95	0.80	0.70	0.60
Tomate	0.45	0.45	0.50	0.65	0.85	1.00	1.02	0.95	0.85	0.75
Cereales	0.45	0.60	0.80	0.95	1.00	1.00	1.00	0.90	0.70	0.50

	mes											
Cultivos perennes	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Cítricos	0.64	0.66	0.68	0.70	0.71	0.72	0.72	0.70	0.68	0.70	0.66	0.65
Frutales hoja caduca	0.17	0.25	0.40	0.65	0.85	0.95	0.90	0.80	0.50	0.30	0.20	0.15
Alfalfa	0.60	0.75	0.85	1.00	1.10	1.15	1.10	1.05	1.00	0.90	0.80	0.65
Prados	0.50	0.60	0.75	0.85	0.90	0.92	0.92	0.90	0.88	0.80	0.65	0.55
Viña	0.20	0.25	0.30	0.50	0.70	0.80	0.80	0.75	0.65	0.50	0.35	0.20

Los coeficientes se han de utilizar en la fórmula de Blaney-Criddle ETM=Kc x ETP.
Fuente: Adaptado de Ducrocq, 1990.

Para calcular el tiempo de riego se deben conocer el tipo y caudal del emisor (Qe) y el número de emisores por planta (N°e), según la siguiente expresión:

$$TR = \frac{RAP\ (horas)}{Qe \times N°e}$$

Ejemplo: cálculo de la demanda bruta y el tiempo de riego de un cultivo de uva de mesa en el período de pinta (Kc = 0.9). La uva de mesa está plantada a 3.5 x 3.5 m y regada por goteo (4 l/h, a un metro entre emisores). La evaporación de bandeja es de 8.7 mm y por sus condiciones de instalación posee un coeficiente Kp de 0.8.

$$ETo = 7 \text{ mm/día}$$

$$Db = \frac{7 \text{ mm/día} \times 0.9}{0.9}$$

$$RAP = 7 \text{ mm/día} \times (3.5 \times 3.5 \text{ m})$$

$$TR = \frac{85 \text{ l/pl/día}}{4 \text{ l/h} \times 3.5 \text{ emisores}}$$

$$TR = 6 \text{ horas de riego al día}$$

1.2. CRITERIOS DE MANEJO DEL SISTEMA DE RIEGO

Los sistemas de riego localizados fueron concebidos para reponer el agua evapotranspirada por el cultivo en forma periódica con alta frecuencia (en general, para riegos diarios). Sin embargo, hay situaciones de suelo y de cultivo en las cuales el riego localizado da mejores resultados cuando no se realiza en forma diaria, sino con riegos distanciados mayor número de días, aplicando en un riego una cantidad de agua equivalente a la suma de las horas de riego diario.

Los riegos frecuentes se ajustan mejor a:

- Suelos con baja capacidad de retención de humedad
- Suelos delgados
- Suelos de texturas livianas
- Suelos poco profundos
- Cultivos con arraigamiento superficial.

Los riegos menos frecuentes, llamados golpes de agua o acumulación de horas de riego, se ajustan a:

- Suelos con alta capacidad de retención de humedad
- Suelos profundos
- Suelos de texturas finas
- Suelos compactados
- Cultivos con arraigamiento profundo.

En un estudio llevado a cabo por INIA en vides de uva de mesa en el Valle de Aconcagua, en suelos de textura franco arcillosa con serios problemas de compactación (baja macroporosidad) entre los 20 y 40 cm de profundidad, se evaluaron tres frecuencias de riego distintas: regando cuando la evapotranspiración equivalía a un riego de 6 horas (9.3 mm), 12 horas (18.6 mm) y 18 horas (27,9 mm). En la época de mayor evapotranspiración, esto significó que en el primer caso se regaba en forma diaria, cada dos días en el segundo caso y cada tres días en el último.

Los primeros resultados de este ensayo indican que cuando se disminuye la frecuencia de riego, se logra formar un bulbo de mayor tamaño (Figura 3), aumenta el desarrollo radicular en el perfil de suelo, mejora el crecimiento vegetativo, el calibre de las bayas y la producción total. Adicionalmente, las plantas que tuvieron una menor frecuencia de riego mantuvieron un mejor estado hídrico en todo el período de desarrollo del cultivo. El empleo de riegos frecuentes significó formar bulbos pequeños y saturados, con problemas de aireación.

Una forma de ordenar la información para determinar la programación de riego de un cultivo es mediante el uso de planillas de cálculo, donde queda registrada la información necesaria. En esta planilla se anota la información de la evaporación diaria y se determinan los tiempos de riego diarios.

En caso de que las condiciones del suelo y del cultivo justifiquen acumulación de horas de riego, la información se registra en la misma planilla de cálculo.

En el Cuadro 4, se presenta una planilla a modo de ejemplo con un programa de riego de baja frecuencia acumulando horas de riego, aplicado en Limache durante la temporada 2003/2004.

En el ejemplo se observa el cálculo de la lámina bruta diaria a aplicar, las horas de riego diarias y la acumulación de horas de riego. En el mes de noviembre se regó un total de 55.05 horas, distribuidas en 13 riegos.

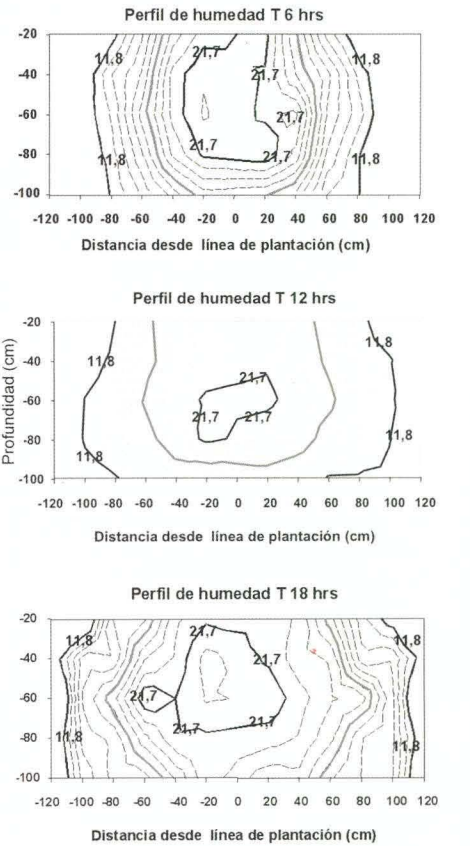

Figura 3. Distribución gravimétrica de humedad en ensayo de frecuencias de riego.

CUADRO 4

Programa de riego acumulando de horas diarias de riego y las horas que realmente se debe regar

Programa de riego Predio Santa Ana, Comuna de Limache, V Región
Temporada 2003-2004

Especie	Palto	Emisores por planta	1
Variedad	Hass	Caudal emisor (l/h)	45
Cuartel	4	Eficiencia aplicación (%/100)	0,9
Distancia entre hileras (m)	6	Kb	0,8
Distancia entre plantas (m)	4		

Programa Teorico									Programa Aplicado	
Mes	EB	Kb	Kc	Efa	Db	Db	Tiempo de riego	TR Acumulado	TR apliado	Volumen de agua
	mm/día				mm/dia	l/arbol/día	horas	horas	horas	l/arbol
01-Nov	5,1	0,8	0,7	0,9	3,17	76,16	1,69	1,69		
02-Nov	4,9	0,8	0,7	0,9	3,05	73,17	1,63	3,32		
03-Nov	4,3	0,8	0,7	0,9	2,68	64,21	1,43	4,75	4,75	213,75
04-Nov	5,5	0,8	0,7	0,9	3,42	82,13	1,83	1,83		
05-Nov	4,3	0,8	0,7	0,9	2,68	64,21	1,43	3,25		
06-Nov	5,4	0,8	0,7	0,9	3,36	80,64	1,79	5,04	5,04	226,80
07-Nov	4,8	0,8	0,7	0,9	2,99	71,68	1,59	1,59		
08-Nov	5,1	0,8	0,7	0,9	3,17	76,16	1,69	3,29		
09-Nov	4,6	0,8	0,7	0,9	2,86	68,69	1,53	4,81	4,81	216,45
10-Nov	4,4	0,8	0,7	0,9	2,74	65,71	1,46	1,46		
11-Nov	5	0,8	0,7	0,9	3,11	74,67	1,66	3,12		
12-Nov	5,9	0,8	0,7	0,9	3,67	88,11	1,96	5,08	5,08	228,60
13-Nov	5,8	0,8	0,7	0,9	3,61	86,61	1,92	1,92		
14-Nov	5,9	0,8	0,7	0,9	3,67	88,11	1,96	3,88	3,88	174,60
15-Nov	6	0,8	0,7	0,9	3,73	89,60	1,99	1,99		
16-Nov	5,8	0,8	0,7	0,9	3,61	86,61	1,92	3,92	3,92	176,40
17-Nov	6,4	0,8	0,7	0,9	3,98	95,57	2,12	2,12		
18-Nov	6	0,8	0,7	0,9	3,73	89,60	1,99	4,11	4,11	184,95
19-Nov	6,2	0,8	0,7	0,9	3,86	92,59	2,06	2,06		
20-Nov	6,2	0,8	0,7	0,9	3,86	92,59	2,06	4,11	4,11	184,95
21-Nov	5,8	0,8	0,7	0,9	3,61	86,61	1,92	1,92		
22-Nov	6,1	0,8	0,7	0,9	3,80	91,09	2,02	3,95	3,95	177,75
23-Nov	6	0,8	0,7	0,9	3,73	89,60	1,99	1,99		
24-Nov	6,2	0,8	0,7	0,9	3,86	92,59	2,06	4,05	4,05	182,25
25-Nov	5,5	0,8	0,7	0,9	3,42	82,13	1,83	1,83		
26-Nov	5,8	0,8	0,7	0,9	3,61	86,61	1,92	3,75	3,75	168,75
27-Nov	5,1	0,8	0,7	0,9	3,17	76,16	1,69	1,69		
28-Nov	6	0,8	0,7	0,9	3,73	89,60	1,99	3,68	3,68	165,60
29-Nov	6	0,8	0,7	0,9	3,73	89,60	1,99	1,99		
30-Nov	5,8	0,8	0,7	0,9	3,61	86,61	1,92	3,92	3,92	176,40

2. Control de riego

El hecho de aplicar un programa de riego en base a los registros de evapotranspiración no asegura el éxito productivo del cultivo, ya que existe una serie de factores que podrían estar subestimando o sobrestimando los requerimientos de la planta: movimiento y retención de agua en el suelo (por problemas físicos de suelo, compactación), obstrucción de los emisores, taponamiento de los filtros, roturas de la red de riego, etc., y en consecuencia, no se entregue el agua necesaria a las plantas.

Es necesario contar con un sistema de control del riego. El sistema de control del riego implica tanto el control del funcionamiento del equipo de riego como el de la distribución de la humedad del suelo. Adicionalmente, es recomendable llevar un control del estado hídrico de las plantas.

2.1. CONTROL DEL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE RIEGO

Control de presión y amperaje en el cabezal de riego

Los manómetros y el amperímetro son dos elementos indispensables en todo cabezal de riego para conocer el funcionamiento del equipo. Se debe por lo tanto llevar un control y registro permanente de ellos en cada sector de riego y compararse con los valores del normal funcionamiento del equipo (dejados por la empresa instaladora del sistema de riego).

En el Cuadro 5 se presenta una interpretación de lecturas del amperímetro y manómetros en relación con el funcionamiento del equipo de riego, respecto al modo normal de operación.

Además de los amperímetros y manómetros, los equipos pueden incluir medidores de caudal, pH y conductividad eléctrica. Esto último es de mayor importancia en cultivos forzados.

Los medidores de caudal (caudalímetros) complementan la información entregada por los amperímetros y manómetros al permitir conocer las variaciones del caudal nominal de los sectores de riego. Estas alteraciones muchas veces no son detectadas oportunamente por el operador del equipo, al no disponer de esta instrumentación, pudiéndose llegar a ocasionar graves daños en la producción. Las variaciones de los caudales reales registrados por el caudalímetro, respecto de los nominales, se indican en el Cuadro 6.

Los medidores de pH y conductividad eléctrica insertos en el sistema de riego permiten controlar la inyec-

CUADRO 5
Problemas en el equipo de riego que causan variación en amperímetros y manómetros

Amperímetro	*Manómetro filtro arena entrada*	*Manómetro filtro arena salida*	*Manómetro filtro malla salida*	*Descripción problema*
Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Rotura en red de riego y/o más de un sector abierto.
Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Succión de la bomba obstruida; entrada de aire al sistema; falta de agua.
Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Filtro de arena sucio.
Bajo	Alto	Alto	Alto	Válvula en la red cerrada.
Bajo	Alto	Alto	Bajo	Filtro de malla sucio.

Nota: La clasificación "alto o bajo" es en relación a los valores de normal funcionamiento del equipo.

ción de fertilizantes, manteniendo los índices antes indicados dentro de un rango que no perjudique el desarrollo de las plantas.

Control de la presión y descarga de los emisores de riego

Una forma de conocer y prevenir problemas de aplicación de volúmenes de agua es realizar controles periódicos de presión y aforo en las líneas de riego.

Para medir la presión de funcionamiento de los emisores se debe introducir un manómetro en un lateral de riego y verificar la presión de funcionamiento del equipo. La lectura debe ser de 1 kg/cm^2 o 10 m.c.a. para riego por goteo, 1.5 kg/cm^2 o 15 m.c.a. para microaspersión y de 0.5 a 0.7 m.c.a. para cintas. El valor depende del tipo de emisor que se seleccione. Este control debe realizarse en dos puntos de cada sector de riego, por lo menos una vez al mes. Si los emisores no son autocompensados y existe sobrepresión en las laterales se está aplicando más agua que la calculada teóricamente. Por el contrario, si la presión está por debajo de la presión normal de funcionamiento, se está regando menos que los cálculos teóricos y por lo tanto se está entregando a las plantas menos agua de la que necesitan.

CUADRO 6

Descripción de problemas en el equipo de riego que causan variación en el caudal real respecto del caudal nominal

Caudal real del equipo respecto al caudal nominal	Causa del problema
Alto	Rotura de la red de riego y/o más de un sector abierto.
Bajo	Succión de la bomba obstruida; entrada de aire al sistema; falta de agua.
Bajo	Filtro de arena sucio.
Bajo	Válvula en la red cerrada (red obstruida).
Bajo	Filtro de malla sucio.

Para medir el caudal que entregan los emisores se usa un recipiente aforado (para medir el volumen) y un cronómetro (para medir el tiempo). Comúnmente, todos los cálculos de programación se realizan con el caudal nominal de fabricación; sin embargo, este caudal varía con la presión, con la temperatura, con las obstrucciones que sufren los emisores, etc. Al existir una desuniformidad en el caudal de los emisores, algunas plantas recibirán menos agua de la que realmente necesitan y otras estarán recibiendo más, con la respectiva pérdida de productividad asociada.

Para comprobar la uniformidad del sistema se debe medir el coeficiente de uniformidad (índice de homogeneidad de la descarga) en cada unidad de riego.

Para medir este coeficiente en cada sector de riego, se deben tomar cuatro líneas (porta-emisores) y dentro de cada línea, cuatro plantas repartidas uniformemente, a lo largo de ella: una situada al comienzo, dos a dos cuartos del origen y otra al final de la línea. Se afora el gotero o los goteros que tenga cada planta. Es recomendable dejar marcadas las plantas donde se realiza la medición y medir siempre los mismos emisores.

Para calcular el coeficiente de uniformidad se usa la siguiente expresión:

$$CU = 100 \times (q\ 25\% \ / \ q\ a)$$

Donde:

CU = Coeficiente de Uniformidad

q 25% = Media del 25% de las observaciones de los valores más bajos

q a = Media de todos los valores

Con este procedimiento se conoce el caudal medio y el coeficiente de uniformidad.

Si el coeficiente obtenido es inferior al 85% y disminuye en el tiempo, hay que buscar las causas de la pérdida de uniformidad para resolverlas. La pérdida de uniformidad puede estar asociada a que el equipo está trabajando en un rango de presiones no recomendado, o bien que los emisores sufren algún grado de obstrucción. La uniformidad de la descarga también depende de la calidad de los emisores que se utilicen.

Este coeficiente calculado se debe incluir en el cálculo de la demanda bruta del cultivo, ya que un cierto número de plantas no está recibiendo el volumen de agua necesario para alcanzar su potencial productivo.

En el Cuadro 7, se presenta un ejemplo de cálculo del coeficiente de uniformidad.

2.2. CONTROL DE LA HUMEDAD EN EL PERFIL DE SUELO

El control de la humedad del suelo permite conocer el comportamiento de los bulbos de riego, estimar la distribución de la humedad y determinar si el riego es excesivo o deficitario.

Uso de barrenos y calicatas

Entre los métodos de control de la humedad del suelo, el más sencillo y seguro es el control sensorial del perfil por medio de un barreno edafológico. Consiste en tomar muestras de suelo a distintas profundidades y observar el contenido aparente de humedad. Este método es de muy fácil aplicación, pero requiere cierta experiencia.

Las muestras de suelo se deben tomar a la profundidad donde se encuentre la mayor concentración de raíces, para ver la distribución de agua dentro del bulbo.

Para estimar las condiciones de humedad del suelo se pueden realizar pruebas al tacto moldeando la tierra que se extrae. Como una guía se puede utilizar el Cuadro 8, para suelos livianos, medios y pesados.

Es recomendable realizar calicatas amplias, que permitan tener una visualización completa del suelo, de la humedad y del desarrollo de las raíces. De esta forma se puede comprobar el volumen de suelo que se moja, la distribución de la humedad y su relación con las raíces.

Esta evaluación de los contenidos de humedad permite ajustar los tiempos de riego que se obtienen de la programación y decidir respecto a la frecuencia de aplicación del riego.

Tensiómetros

Otra forma de estimar cómo se encuentra el nivel de humedad, es mediante el uso de un instrumento que permita seguir el comportamiento de la humedad del suelo en forma permanente.

El instrumento más utilizado es el tensiómetro, el cual mide la energía con que está retenida la humedad en el suelo.

CUADRO 7

Cálculo de Coeficiente de uniformidad en plantación de Uva de Mesa.

EVALUACION COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

Predio	Santa Ana	**Variedad**	Thompson Seedless
Cuartel	48	**Distacia Pl.**	3 x 3 m
Especie	Uva de Mesa	**Emisores**	Goteros

Datos Terreno				**Datos Ordenados**		
Linea	Planta	Goteros	Aforo Q l/h	Número Orden	Q Ordenados > a <	Q Ordenados 25% <Q
1	1	1	3,6	1	4,5	
		2	3,9	2	4,5	
		3	4,1	3	4,5	
	2	1	3,8	4	4,3	
		2	3,7	5	4,3	
		3	4,2	6	4,3	
	3	1	3,9	7	4,2	
		2	3,8	8	4,2	
		3	4,3	9	4,2	
	4	1	4,0	10	4,1	
		2	3,8	11	4,1	
		3	4,1	12	4,1	
2	1	1	4,0	13	4,1	
		2	4,0	14	4,1	
		3	3,8	15	4,1	
	2	1	3,7	16	4,1	
		2	4,3	17	4,0	
		3	3,9	18	4,0	
	3	1	3,8	19	4,0	
		2	3,7	20	4,0	
		3	3,8	21	4,0	
	4	1	3,9	22	3,9	
		2	4,1	23	3,9	
		3	3,8	24	3,9	
3	1	1	3,9	25	3,9	
		2	4,1	26	3,9	
		3	4,1	27	3,9	
	2	1	4,0	28	3,9	
		2	3,9	29	3,8	
		3	3,7	30	3,8	
	3	1	3,8	31	3,8	
		2	3,7	32	3,8	
		3	4,5	33	3,8	
	4	1	4,3	34	3,8	
		2	3,9	35	3,8	
		3	4,1	36	3,8	
4	1	1	3,8	37	3,8	3,8
		2	3,8	38	3,8	3,8
		3	4,2	39	3,8	3,8
	2	1	4,0	40	3,7	3,7
		2	4,1	41	3,7	3,7
		3	4,5	42	3,7	3,7
	3	1	4,2	43	3,7	3,7
		2	3,8	44	3,7	3,7
		3	3,7	45	3,7	3,7
	4	1	3,4	46	3,6	3,6
		2	3,6	47	3,6	3,6
		3	4,5	48	3,4	3,4
				Promedio	**3,95**	**3,68**

CU = 100 x (q 25 % / qa)
CU = 100 x (3,68 % / 3,95)
CU = 93 %

El tensiómetro consiste en un tubo sellado lleno de agua, equipado con un medidor de vacío y una punta porosa. Este aparato (Figura 4) registra en el manómetro de vacío, la tensión a la que se encuentra el agua en suelo alrededor de él. Cuando el suelo pierde humedad, el líquido del aparato tiende a salir de éste a través de la extremidad porosa de porcelana, con lo cual desciende el nivel de agua en su interior y produce un vacío relativo en la parte superior del tensiómetro, el que es registrado por el manómetro. Lo contrario sucede cuando la humedad del suelo aumenta.

Figura 4. Tensiómetro con manómetro de vacío o vacuómetro.

Para instalar los tensiómetros se deben tener las siguientes consideraciones:

- Dejar saturando la cápsula porosa durante 24 horas al interior de un balde con agua.
- Determinar el patrón de distribución del sistema radicular para establecer la ubicación más apropiada del tensiómetro, es decir, donde se encuentre la mayor concentración de raíces.
- Un vez seleccionada la ubicación del aparato, se debe perforar un agujero con un tubo de 22 mm de diámetro. El tubo debe perforar exactamente hasta la profundidad deseada para que no quede espacio donde se acumule agua o aire y distorsione las lecturas. En lo posible el suelo debe estar húmedo antes de perforar, para facilitar la labor.
- Introducir el tensiómetro hasta la profundidad perforada.
- Acumular tierra y compactarla para evitar la formación de un charco alrededor del aparato que distorsione las lecturas.
- Una vez instalados los instrumentos, hay que rellenarlos con agua y sacar todo el aire que se haya acumulado con una bomba de vacío. La bomba debe succionar hasta que el manómetro indique lecturas de 85 o 90 centibares. Se debe golpear el tubo principal hasta desprender las burbujas de aire y luego se retira la bomba de vacío. En ocasiones es recomendable aplicar una so-

CUADRO 8

Guía para estimar la humedad del suelo
(entre 0 y 100% de humedad aprovechable)

Humedad remanente del suelo	Palpamiento o apariencia del suelo y deficiencia de humedad			
	Arenoso	Franco Arenoso	Franco – Franco Limoso	Franco Arcilloso a Arcilloso
0 a 25 por ciento	Seca, suelta, grano uniforme, fluye entre los dedos.	Seca, suelta, fluye entre los dedos.	Seca, polvosa, en ocasiones ligeramente costrosa pero es fácil reducirla a polvo.	Dura, desecada, agrietada, en ocasiones con migajones sueltos a flor de superficie
25 a 50 por ciento	Parece seca, pero no se forma bola con la presión.[1]	Parece seca, no se forma bola.[1]	Tiende a desmoronarse pero se mantiene compacta con la presión.	Algo moldeable, forma la bola bajo presión.[1]
50 a 75 por ciento	Parece seca. pero no se forma bola con la presión	Tiende a formar bola con la presión, pero rara vez se mantiene compacta.	Forma bola un tanto plástica y en ocasiones puede aliarse ligeramente con la presión.	Forma bola; brota entre los dedos al apretar
75 por ciento hasta capacidad máxima (100 por ciento)	Tiende ligeramente a aglutinarse. En ocasiones forma bajo presión una bola de poca consistencia.	Forma bola de poca consistencia, se desmenuza fácilmente y nunca queda lisa.	Forma bola y es muy moldeable; Fácilmente se alisa siempre que tenga un porcentaje elevado de arcilla.	Brota fácilmente entre los dedos; parece aceitosa al tacto.
A capacidad máxima (100 por ciento)	Al comprimir, no afloran gotas de agua en la superficie de la muestra pero sí queda en la mano el contorno húmedo de la bola.	Al comprimir, no brotan gotas de agua en la superficie de la muestra pero sí queda en la mano el contorno húmedo de la bola.	Al comprimir, no brotan gotas de agua en la superficie de la muestra pero sí queda en la mano el contorno húmedo de la bola.	Al comprimir, no afloran gotas de agua en la superficie de la muestra pero sí queda en la mano el contorno húmedo de la bola.

[1] La bola se forma al comprimir un puñado del suelo con mucha firmeza.

lución biocida al interior del aparato para evitar la acumulación de algas.

- Finalmente, se enrosca el tapón hasta girarlo un 1/4 de vuelta, una vez que el cierre de caucho haya tocado su asiento.

Normalmente se usan baterías con un mínimo de dos tensiómetros: uno superficial en la zona de mayor concentración radical que permite visualizar la disponibilidad de agua para el cultivo, y uno más profundo para controlar la profundidad del riego.

En la Figura 5 se presenta una correcta instalación del tensiómetro.

Los valores de referencia del significado agronómico de las lecturas tensiométricas se muestra en el Cuadro 9.

El uso de tensiómetros puede presentar algunos inconvenientes que es necesario tener presente y que se indican a continuación:

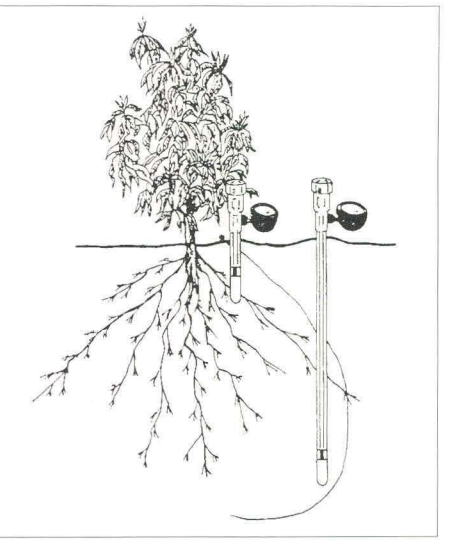

Figura 5. Instalación correcta de una batería de tensiómetros en un cultivo.

Variabilidad de la humedad al interior del bulbo

Uno de los inconvenientes del uso del tensiómetro es la forma en que se distribuye la humedad en el per-

CUADRO 9
Lectura de tensiómetros y su significado agronómico

Lectura en Kpa o cb (centibares)	Estado del suelo
0-10	Suelo saturado
10-25	Suelo adecuadamente mojado en riego localizado
25-60	Rango usual en riego superficial
60-100	Rango seco
100-200	Rango muy seco

fil de suelo. Al formarse un bulbo, el contenido de humedad en el suelo varía en función de la textura, de la profundidad y de la distancia del emisor. Dado que la medición que realiza el tensiómetro es puntual, la ubicación de la cápsula porosa es determinante. Por ejemplo, el tensiómetro marcará valores bajos, aun cuando el riego sea deficitario, si está ubicado muy cerca del emisor donde se producen zonas saturadas. Por otra parte, si se ubica fuera del bulbo húmedo, los valores que se medirán serán normalmente altos o muy altos, aun cuando exista un exceso de humedad que pueda causar peligro de asfixia radicular.

Variabilidad espacial del suelo

Otra de las limitaciones del uso de los tensiómetros es la variabilidad espacial de los suelos. Los valores que entrega el aparato corresponden a una medición puntual, lo que en definitiva ocurre alrededor de la cápsula porosa. Ese valor es extrapolado al resto de la superficie para tomar una decisión de riego. Por tal motivo es de suma importancia la representatividad del sector donde se decida instalar la batería de tensiómetros.

Una forma de disminuir los efectos de la variabilidad espacial es la sectorización del equipo de riego tomando en cuenta las características del suelo como ya se ha indicado.

Además, es recomendable aumentar el número de unidades de medición, siempre que los medios económicos lo permitan. Si esto último no es posible, se debe emplear otra metodología adicional (barreno, calicatas, etc.) que permita corroborar la información entregada por los tensiómetros.

Los tensiómetros son instrumentos útiles en riegos localizados siguiendo solo las tendencias de los valores que presenten más que el valor absoluto propiamente tal.

2.3. CONTROL DEL ESTADO HÍDRICO EN LA PLANTA

Otra alternativa para evaluar si los riegos se están realizando en forma adecuada, es medir el estado hídrico de las plantas. Este sistema tiene la ventaja de que integra el contenido de humedad de toda la zona radical y las condiciones de demanda evaporativa imperantes en el momento de la medición con el estado hídrico interno de la misma. El método más sencillo que podrían usar los agricultores en sus campos es la medición del potencial xilemático o tensión xilemática.

Potencial hídrico xilemático

La tensión xilemática se puede medir con una cámara de presión conocida con el nombre de bomba Scholander (Figura 6). En términos simples, se cortan hojas al nivel del pecíolo, se colocan al interior de la cámara y se aplica una presión hasta que aparezca flujo xilemático en el pecíolo, el cual se detecta a través de una lupa óptica. Esta presión es equivalente a la tensión con que se encuentra el agua en el xilema. Para realizar estas mediciones se requiere aplicar una técnica especial y cui-

dadosa en el muestreo de las hojas, para que no se deshidraten durante la manipulación.

Durante el día, la tensión de la savia aumenta como consecuencia del aumento en la demanda evaporativa de la atmósfera, llegando a su punto mínimo cerca del mediodía y a su valor más alto antes de amanecer, cuando no hay evaporación. Por lo anterior, es importante realizar las mediciones en las horas donde existan algunos valores estándares de comparación, para la interpretación correcta de los potenciales xilemáticos. Lo conveniente es medir muy temprano en la mañana o al mediodía (Figura 7).

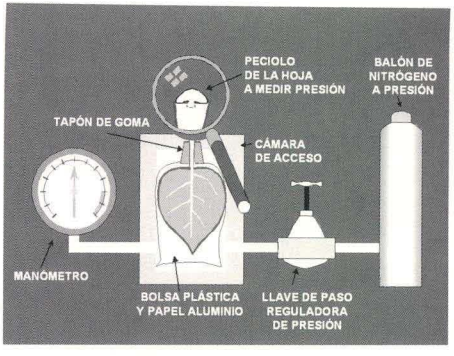

Figura 6. Esquema de bomba de presión tipo Scholander.

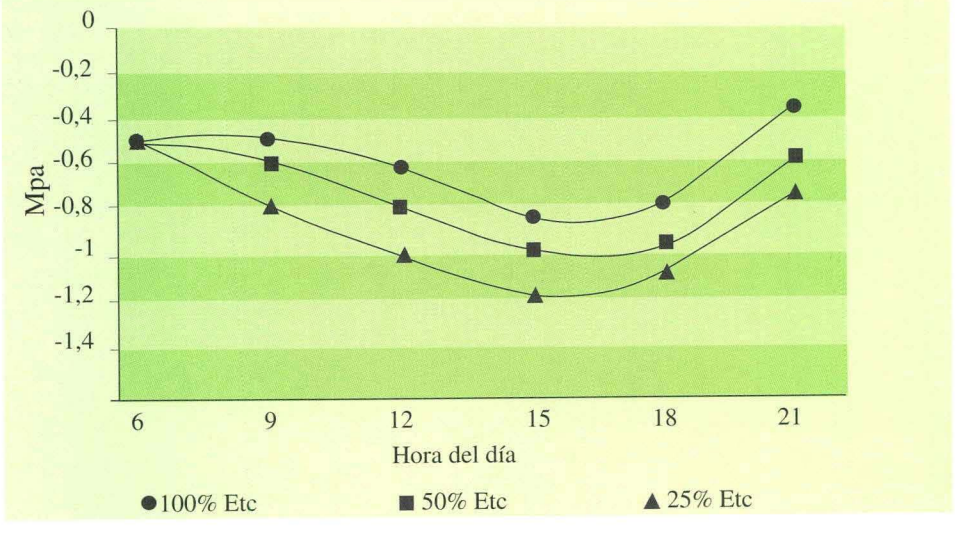

Figura 7. Potenciales xilemáticos medidos en uva de mesa para tres niveles de reposición de la evapotranspiración del cultivo.

3. Fertirrigación

Se entiende por fertirrigación la aplicación de los fertilizantes disueltos en el agua de riego, de una forma continua o intermitente. Esta práctica se asocia básicamente con los sistemas de riego localizados de alta frecuencia (goteo y microaspersión).

La fertirrigación comienza en el cabezal de riego, en donde son mezclados los fertilizantes (solución madre) e inyectados al sistema. Posteriormente esta disolución es conducida por tuberías y localizada en el suelo, donde puede ser absorbida por las plantas.

La fertirrigación presenta las siguientes ventajas con respecto al abonado tradicional:

- Los fertilizantes se localizan en forma homogénea en el bulbo de mojamiento, zona donde se desarrollan las raíces.
- La fertirrigación con fósforo y potasio puede alcanzar una profundidad de 50-60 cm, lo que facilita una mejor absorción por las plantas.
- Los fertilizantes se suministran a la planta conforme a sus necesidades en las distintas etapas de su desarrollo.
- Cuando aparecen síntomas carenciales se puede actuar con mucha rapidez para corregirlos.

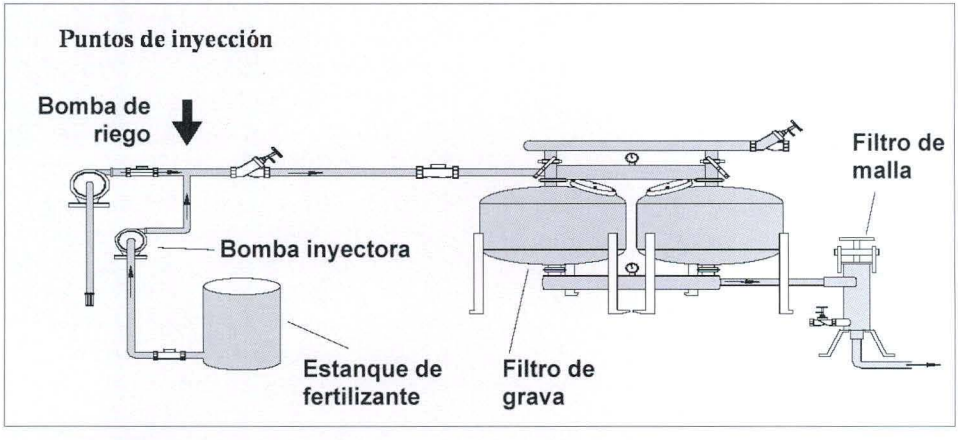

Figura 8. Esquema de un cabezal de riego presurizado tipo, señalando la inyección de fertilizantes.

- Reducción de pérdidas por lavado y volatilización. Además, hay un mejor aprovechamiento de los fertilizantes por los cultivos, suponiendo un ahorro que puede alcanzar el 30%.
- Menor costo de aplicación de los elementos nutritivos. Sin embargo, necesita una fuerte inversión en implementación del equipo.
- Posibilidad de usar aguas salinas con mayor grado de tolerancia que en otros sistemas de riego.
- Menor uso de maquinaria y por ende, menor compactación del suelo.

La mayoría de los inconvenientes asociados a la fertirrigación no se deben al método en sí, sino a un manejo incorrecto o al desconocimiento que existe acerca de los aspectos de la nutrición de las plantas.

Por tal motivo, al momento de fertirrigar es necesario tomar las siguientes precauciones:

- Realizar la dosificación de fertilizantes de acuerdo a las necesidades de la planta para no producir daño al cultivo.
- Usar productos solubles para evitar que precipiten y así, minimizar las obturaciones en los sistemas de riego. Preocuparse de disolverlos bien.
- Los fertilizantes que se usen en una misma solución deben ser compatibles entre sí. Es decir, que no produzcan precipitados.

3.1. SISTEMAS DE INYECCIÓN

Los equipos de inyección permiten aplicar fertilizantes en el sistema, junto con el agua de riego (fertirrigación).

Para realizar esta operación se utilizan estanques de 20 a 200 litros, en donde se prepara la solución madre del fertilizante con agua y desde donde es inyectada a la red de riego.

Los sistemas de inyección son básicamente tres: uso de inyector que utiliza la presión del agua en la red de cañerías (inyector tipo Venturi), uso de bombas auxiliares y la inyección por succión positiva en el chupador de la bomba.

3.1.1. Venturi

Son dispositivos muy sencillos que consisten en una pieza en forma de T con un mecanismo Venturi en su interior. Este mecanismo aprovecha un efecto vacío que se produce a medida que el agua fluye a través de un pasaje convergente que se ensancha gradualmente. El Venturi funciona cuando hay diferencia entre la presión del agua entrante y la presión de la mezcla de agua y fertilizante que sale al sistema de riego.

Este dispositivo generalmente se instala en paralelo, debido a que el caudal que circula por el sistema rebasa la capacidad del propio Venturi. Por este motivo los dispositivos más usados se basan en una combinación del principio Venturi y de diferencia de presión.

Si se decide instalar el Venturi en paralelo, se requerirá una diferencia de presión entre la entrada y salida del orden del 20%. Es necesario indicar que el Venturi tiene una capacidad de succión reducida, por lo que su uso, se recomienda principalmente en instalaciones pequeñas.

La mayor ventaja de este tipo de fertilizador es su bajo costo y fácil mantención.

Existen varios tamaños de Venturi y se deben seleccionar en base a las necesidades. El modelo a utilizar está en función de:

- Caudal de succión deseado (litros/hora)
- Caudal que pasa por el inyector (litros/min)
- Pérdida de carga que produce al sistema (m.c.a.)
- Forma o modalidad de instalación

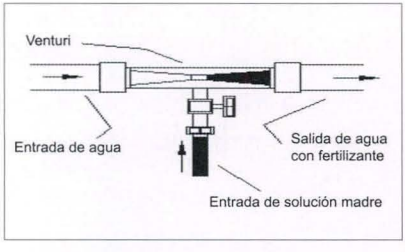

Figura 9. Inyector tipo Venturi.

3.1.2. Bombas inyectoras auxiliares

El uso de bombas inyectoras auxiliares es el método más utilizado en fertirrigación, ya que permite un control muy estricto de las dosis a aplicar y de la frecuencia y el tiempo que dura la aplicación.

Estas bombas se caracterizan por su bajo caudal y alta presión de trabajo, y están construidas de materiales resistentes a la corrosión como acero inoxidable, compuestos cerámicos de alta resistencia o sintéticos similares al polietileno.

Existen dos tipos de bombas, las de membrana o diafragma y las centrífugas. Las de membranas son ideales para la aplicación de ácidos en donde se requiere inyectar en forma continua un caudal pequeño. Las bombas centrífugas son de mayor caudal y permiten la inyección de grandes volúmenes de solución madre en poco tiempo.

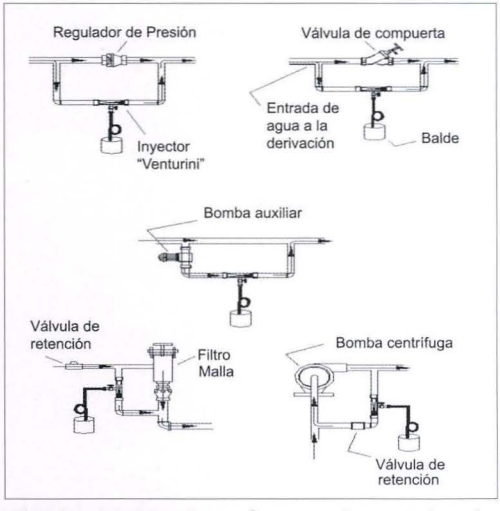

Figura 10. Diversas formas de instalación de un Inyector tipo Venturi.

3.1.3. Inyector por succión positiva

Este tipo de inyector es el más fácil de implementar y consiste en conectar el estanque abonador al tubo de succión del equipo de bombeo. En el chupador de la bomba se produce presión negativa o succión, por lo tanto es un buen punto para inyectar solución madre al sistema de riego.

Este método presenta la dificultad de corrosión prematura de toda pieza metálica en el cabezal, debido a la acción de ácidos y fertilizantes que en este lugar se encuentran muy concentrados.

Entre el estanque abonador y el punto de inyección se debe instalar una válvula de paso, preferentemente del tipo bola, ya que es fácil de abrir y cerrar para iniciar o detener el proceso de inyección. Especial cuidado se debe tener en la operación del sistema para evitar la entrada de aire a la bomba, cuando el estanque haya quedado vacío. Se recomienda disponer de una fuente de agua (llave o manguera) y verter agua en el estanque cuando se haya inyectado el 90% de la solución madre. Esta práctica permitirá disponer de todo el fertilizante disuelto en la preparación inicial, ya que el estanque debe poseer un volumen muerto para la acumulación de residuos e impurezas.

La salida de la solución madre debe quedar a dos centímetros sobre el fondo para evitar la succión de impurezas. El volumen muerto se debe drenar en forma regular utilizando la válvula de fondo o de drenaje.

3.2. SALINIDAD

La respuesta productiva ante condiciones de salinidad del suelo no es igual para todos los cultivos. Aún así, existe un comportamiento general en ellos (Figura 11).

Para cualquier cultivo existe una zona (tramo horizontal de la Figura 11) en la que, pese a aumentar la salinidad, la producción no se ve afectada; pero a partir de un cierto valor, denominado umbral, cualquier aumento del contenido de sales produce un descenso del rendimiento del cultivo.

Cada cultivo posee un valor umbral característico, que indica si la tolerancia a la salinidad es elevada, media o baja; así como su sensibilidad (tramo inclinado de la misma figura), que indica cuánto disminuye el rendimiento al aumentar la salinidad en una unidad, a partir del umbral.

En el Cuadro 10 se muestran, para algunos frutales adultos, los valores del umbral de salinidad. Las plantaciones nuevas son más sensibles.

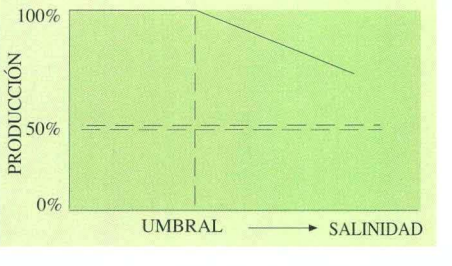

Figura 11. Variación de la producción con la salinidad del suelo (extracto de saturación).

El contenido de sales, expresado en g/l, se puede obtener en forma aproximada:

Contenido de sales (g/l) = 0.64 x CE (mmhos/cm o dS/m)

En resumen, las sales disueltas que originan el descenso del rendimiento de los cultivos, pueden provenir ya sea del suelo o bien del agua de riego. Desde el punto de vista de la fertirrigación interesan estas últimas.

El agua de riego contiene sales disueltas (bicarbonatos, sulfatos, cloruros, de calcio, de magnesio, sodio, etc.) que le dan un grado de salinidad variable, según la cantidad que contengan. Los abonos que se emplean en fertirrigación, excepto la urea, son sales que al incorporarlos al agua aumentan la salinidad. Luego es preciso tener cuidado con la cantidad de abono que se incorpore, ya que la suma de las sales del agua más las que aportan los fertilizantes puede sobrepasar el valor umbral de tolerancia del cultivo, provocándole problemas a las plantas.

Conociendo la salinidad del agua y la cantidad de sales que tolera el cultivo, se puede calcular la cantidad de abono que se puede incorporar en cada riego, con la siguiente expresión:

$$CMA = Q \times (Cm - Car)$$

Donde:

CMA = Cantidad máxima de fertilizante (Kg).

Q = Cantidad de agua aplicada en un riego (m^3).

Cm = Cantidad máxima de sales tolerable por el cultivo (g/l).

Car = Salinidad del agua de riego (g/l).

CUADRO 10

Valores de umbral de salinidad del suelo (extracto saturado) (adaptado de Ayers y Westcot 1987).

Cultivo	CE (mmhos/cm)	Gramos por litro
Almendro	2.4	1.55
Ciruelo	2.5	1.60
Damasco	2.3	1.45
Duraznero	2.6	1.70
Granado	4.7	3.00
Higuera	4.7	3.00
Manzano	3.0	1.95
Naranjo	3.0	1.95
Nogal	3.0	1.95
Olivo	4.7	3.00
Palto	2.2	1.40
Peral	3.0	1.95
Vid	3.3	2.10

Si no es posible contar con la información de la salinidad del agua de riego, se puede tomar como referencia, al momento de realizar la dosificación, que la concentración de productos no debe superar los 2 gr/l de agua aplicada.

Desde el punto de vista de la salinidad, el fraccionamiento de los aportes de nutrientes es deseable y conveniente para la buena marcha del cultivo, puesto que, si bien las plantas toleran incluso aportes superiores a la cantidad máxima de fertilizantes (CMA) aplicados de una vez, la pérdida de elementos nutritivos del bulbo puede llegar a ser muy importante a consecuencia del lavado que se produce con los riegos posteriores (sin fertilizantes) al de la aplicación del fertilizante.

Por tal motivo, la dosis, época y el fertilizante a escoger, así como su método de aplicación, deben evaluarse para cada caso específico.

3.3. FERTILIZANTES UTILIZADOS EN FERTIRRIGACIÓN

Para utilizar un fertilizante a través del sistema de riego es necesario conocer la composición de los productos y la solubilidad de cada uno de ellos.

De acuerdo a normas internacionales, el nombre de cada compuesto va seguido de un paréntesis con tres números. El primero indica el contenido de nitrógeno en porcentaje (%), el segundo indica el contenido de fósforo en la forma de P_2O_5 (%) y el tercero el contenido de potasio en la forma de K_2O (%). Por ejemplo el nitrato de calcio posee los siguientes números [15.5-0-0], por lo tanto, este fertilizante no contiene fósforo ni potasio (Figura 12).

A continuación se presentan los principales productos comerciales y sus características:

- Nitrato de calcio $Ca(NO_3)_2$ [15.5-0-0]. Aunque prácticamente abandonado en los programas de fertilización tradicional debido al alto costo de la unidad de nitrógeno, este producto es utilizado en fertirrigación por su aporte de calcio cuando este elemento es necesario.
- Nitrato de potasio (Salitre potásico) (KNO_3) [15-0-14]. El salitre potásico posee un 15% de nitrógeno y un 14% de potasa. Este fertilizante no se disuelve completamente, dejando impurezas no solubles en el fondo del recipiente.
- Urea ($CO(NH_2)_2$) [46-0-0]. La urea se comercializa como fertilizante granulado con un 46% de nitrógeno, es de alta solubilidad y fácil de manejar, lo que la hace un producto muy utilizado en fertirrigación. No saliniza el agua, por

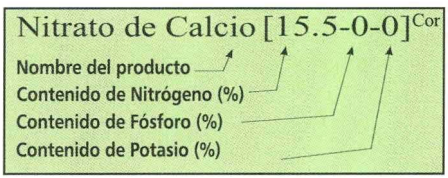

Figura 12. Forma de describir a los fertilizantes.

lo que resulta apropiado en el caso de aguas y suelos salinos. La urea baja la temperatura del agua en el proceso de mezcla y disolución. Existe en forma perlada y en forma cristalina. Ambas pueden ser utilizadas en fertirrigación. La primera posee un 1% más de Biuret. La segunda es más soluble y contiene menos impurezas, por lo que resulta de mayor costo.

- Ácido fosfórico (H_3PO_4) [0-51-0]$_{verde}$ [0-54-0]$_{blanco}$. El H_3PO_4 contiene entre un 51 y 54% de P_2O_5. Aquel que posee un contenido de 51% es de color verde, debido a las impurezas que le otorgan ese color. El de 54% es de color blanco. La mezcla de agua en ácido fosfórico libera calor, el cual se disipa en corto tiempo. El ácido fosfórico blanco es utilizado preferentemente en la preparación de soluciones nutritivas en sistemas de riego localizado, pero su uso se ve limitado por su disponibilidad y precio.
- Fosfato diamónico ($(NH_4)_2HPO_4$) [16-48-0]. Con una concentración alta de nitrógeno y P_2O_5, tiene una reacción ligeramente alcalina, por lo tanto es necesario adicionar ácido nítrico para bajar el pH. La dosis adecuada es de 0.9 litros de ácido por kilo de fosfato diamónico.
- Nitrato de potasio (KNO_3) [13-0-44]. El nitrato de potasio es de alto costo pero otorga beneficios al agricultor por ser un producto que contiene nitrógeno y potasio en forma simultánea. Esta es la segunda fuente de potasio en importancia después del cloruro de potasio (KCl); es muy utilizada debido a que no contiene iones cloruros.
- Sulfato de potasio (K_2SO_4) [0-0-50]. El K_2SO_4 es una fuente en potasio y azufre. No es un producto popular en fertilización debido a su relativa baja solubilidad en comparación al cloruro de potasio y nitrato de potasio. La solubilidad en agua es de 120 gramos/litro.
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) [0-0-0]. El ácido sulfúrico no es un fertilizante, por eso su ley es 0-0-0 (no contiene nitrógeno, fósforo ni potasio). Se encuentra en forma líquida con una densidad de 1.83 kg/l cuando está concentrado. El ácido sulfúrico es un líquido claro y transparente, que no tiene olor. Se utiliza para reducir el pH del agua de riego. Cuando se mezcla con agua libera una apreciable cantidad de calor. El ácido sulfúrico es un compuesto químico extremadamente peligroso y se requiere mucho cuidado en su manipulación, transporte y almacenaje. Los tambores de almacenaje deben ser herméticos para evitar filtraciones o evitar el contacto del líquido en alguna fuente de agua. Se utiliza para bajar el pH y realizar lavados químicos de la red de riego para evitar taponamientos.

La solubilidad es la capacidad de disolución de algún producto en el

agua. En fertirrigación se pueden combinar dos o más fertilizantes, sin embargo puede volverse menos soluble la mezcla final. Los productos de baja solubilidad o menos solubles no deben ser utilizados, ya que producirán problemas de taponamientos de los emisores, desuniformidad de los sistemas de riego y, por lo tanto, problemas productivos al no cumplir con los requerimientos de demanda del cultivo.

Algunos fertilizantes se disuelven muy bien, como es el caso de la urea, el nitrato de calcio, el nitrato de sodio. Otros son de mediana solubilidad como el cloruro de potasio, fosfato diamónico y nitrato de amonio. Los menos solubles son el sulfato de calcio, el superfosfato triple, superfosfato normal y sulfato de hierro.

Existen en el mercado líneas de fertilizantes solubles preparados para riego por goteo, que son comercializados por diferentes empresas químicas.

En el Cuadro 11 se presenta una lista de la solubilidad de los principales productos usados en fertirrigación.

La úrea no ocasiona problemas, excepto si el agua contiene la enzima ureasa, que se presenta cuando está cargada de algas. Las algas no son eliminadas por la filtración, por esto, hay que vigilar el agua de pozos con altos contenidos de nitratos.

El ion nitrato se desplaza con el agua de riego y acaba localizándose en los bordes del bulbo húmedo, por lo que disminuye su eficiencia. Por ello resulta más satisfactorio su aplicación en pequeñas dosis en cada riego.

El fósforo es el elemento más difícil de aplicar, pues, además de su baja solubilidad, existe el peligro de precipitación al reaccionar con el calcio que pueda contener el agua de riego y que produce el paso del fosfato monocálcico a bicálcico. Similares efectos se producen al mezclar fósforo y magnesio.

Los microelementos (Fe, Zn, Cu, Mn) se aplican en forma de quelatos.

3.4. COMPATIBILIDAD DE PRODUCTOS

Cuando se mezclan dos o más tipos de fertilizantes en una misma solución, es posible que se produzca la reacción de los compuestos que los forman.

Si se aplica ácido, este se debe aplicar antes que los fertilizantes. El ácido se aplica sobre el agua, lentamente (nunca hay que aplicar agua sobre el ácido). En seguida se aplican los fertilizantes, partiendo de los menos solubles. Se recomienda realizar la mezcla de fertilizantes en la mitad del volumen de agua a utilizar. Agitar vigorosamente y luego agregar agua hasta completar el volumen total de agua.

En general, no se debe mezclar fertilizantes con alto contenido de calcio (nitrato cálcico) con ácido fosfórico. La reacción química de ambos productos puede formar fosfato de calcio, el cual obstruye los emisores.

CUADRO 11
Solubilidad de algunos fertilizantes

Fertilizante MATERIAS PRIMAS	SOLUBILIDAD 0°C	20°C	40°C	100°C	C.E. mmhos/cm	pH
KNO_3 Nitrato de potasio	133	316	639	2452	1.30	7.0
KCl Cloruro de potasio estándar	282	342	403	562	1.90	6.6
K_2SO_4 Sulfato de potasio soluble	75	111	148	241	1.40	7.0
KH_2PO_4 Fosfato monopotásico	143	227	339		0.75	4.1
NH_4NO_3 Nitrato de amonio	1185	1877	2830		1.60	5.5
$(NH_4)_2SO_4$ Sulfato de amonio	704	754	812	1020	1.80	5.5
$(NH_4)_2HPO_4$ Fosfato diamónico soluble	575	686	818	1100	0.90	4.1
$NH_4H_2PO_4$ Nitrato de calcio soluble	227	368	567	1740	0.80	4.9
$Ca(NO_3)_2$-$_4H_2O$ Fosfato monoamónico soluble	1010	1294	1960		1.20	6.5
$CaCl_2$-$_6H_2O$ Cloruro de calcio	603	745			1.60	
$MgSO_4$-$_7H_2O$ Sulfato de magnesio hept		356	454		0.80	5.6
$Mg(NO_3)_2$-$_6H_2O$ Nitrato de magnesio	639	701	818		0.50	6.0
NaCl Cloruro de sodio		359	364	392	2.00	
$CO(NH_2)_2$ Úrea	670	1080	1670	2510	0.015	5.8
H_3BO_3 Ácido bórico	270	500	870			
H_3PO_4 Ácido fosfórico 85%					1.80	2.5

Si se debe aplicar nitrato de calcio, debe hacerse agregando ácido nítrico concentrado, en una relación de 0.3 litros por kg de nitrato de calcio. El ácido nítrico aporta 16% de nitrógeno, por lo que sería necesario descontarlo al momento de realizar el programa de riego.

Tampoco se recomienda aplicar cualquier tipo de ácido (nítrico, sulfúrico o fosfórico) junto al hipoclorito de sodio, ya que puede haber desprendimiento de gases tóxicos.

En general, se deben seguir las recomendaciones de los fabricantes señaladas en los envases de los diferentes productos y, en caso de duda, realizar un test de compatibilidad. Este test consiste en colocar los fertilizantes a utilizar en un balde con la misma agua que se usará para regar, observando si existe la ocurrencia de precipitados o turbidez. Estos fenómenos deberán aparecer en un tiempo de una o dos horas. Si hay turbidez, la inyección de esa mezcla en el sistema de riego podría causar el taponamiento de los goteros. Se recomienda utilizar una dilución aproximada a la esperada en las líneas de goteo.

CUADRO 12

Compatibilidad química de la mezcla de fertilizantes

I = Incompatible C = Compatible L = Compatibilidad limitada

	⬆ NITRATO AMÓNICO	⬆ UREA	⬆ SULFATO AMÓNICO	⬆ SUPERFOSFATO TRIPLE	⬆ SUPERFOSFATO SIMPLE	⬆ FOSFATO DIAMÓNICO	⬆ FOSFATO MONOAMÓNICO	⬆ CLORURO POTÁSICO	⬆ SULFATO POTÁSICO	⬆ NITRATO POTÁSICO	⬆ NITRATO CÁLCICO
⬆ NITRATO AMÓNICO	I										
⬆ UREA	C	C									
⬆ SULFATO AMÓNICO	C	L	C								
⬆ SUPERFOSFATO TRIPLE	C	L	C	C							
⬆ SUPERFOSFATO SIMPLE	C	C	C	L	L						
⬆ FOSFATO DIAMÓNICO	C	C	C	C	C	C					
⬆ FOSFATO MONOAMÓNICO	C	C	C	C	C	C	C				
⬆ CLORURO POTÁSICO	C	C	C	C	C	C	C	C			
⬆ SULFATO POTÁSICO	C	C	C	C	C	C	C	C	C		
⬆ NITRATO POTÁSICO	C	C	I	I	I	I	I	C	I	C	

En el Cuadro 12 se presenta la compatibilidad química de la mezcla de fertilizantes.

3.5. CALIBRACIÓN DE LA TASA DE INYECCIÓN DE LOS FERTILIZANTES

Los fabricantes de los diferentes equipos de inyección proporcionan, por medio de catálogos, información muy útil para el manejo del sistema. Sin embargo, los equipos deben ser calibrados a la tasa de inyección deseada. En muchos casos, el éxito de los programas de fertirrigación no depende del tipo de sistema de inyección empleado, sino de una calibración adecuada, ya que el uso no controlado puede sobrepasar las concentraciones límites de sales en el agua de riego, o simplemente no cumplir con los tiempos de aplicación adecuados, quedando residuos al interior de las tuberías.

La tasa de inyección se determina midiendo el volumen de solución inyectada durante un determinado tiempo. El volumen dependerá del tipo de inyector a utilizar. Para inyectores de tipo Venturi o bombas inyectoras auxiliares de membrana se recomienda trabajar con un volumen entre 10 a 15 litros. Inyectores de succión positiva o bombas centrífugas pueden requerir de volúmenes del orden de 100 a 200 litros. Es aconsejable trabajar con unidades de tiempo en minutos y unidades de volumen en litros para facilitar los cálculos y la fácil comprensión de lo que está sucediendo. Para facilitar esta labor, se puede incorporar al sistema de fertirrigación un caudalímetro. Este aparato funciona entre un rango de caudales, por lo que mediante una válvula de paso se regula la tasa de succión.

3.6. DOSIFICACIÓN DE FERTILIZANTES

Para realizar la dosificación de fertilizantes y su posterior aplicación a través del sistema de riego localizado se deben tener las siguientes consideraciones:

Cálculo de los fertilizantes de la solución madre

- Conocer los requerimientos nutricionales del cultivo y los posibles aportes del suelo.
- Realizar un programa de fertilización para cada especie del predio (unidades/ha).
- Calcular los requerimientos de productos comerciales para cada sector de riego del predio.
- Determinar los porcentajes a aplicar en cada etapa fenológica del cultivo.
- Distribuir la dosificación mensualmente.
- Estimar el número de riegos mensuales en los que se realizará la fertirrigación.
- Calcular la cantidad de fertilizantes que corresponde aplicar en cada riego.

Preparación y aplicación de la solución madre

- Preparar la mezcla de solución madre teniendo en cuenta la

solubilidad de cada uno de los elementos a aplicar. Cuando el programa considera la mezcla de dos o más fertilizantes a aplicar, la disolución debe comenzar con el producto menos soluble. Como la solubilidad de las mezclas es más baja que la de los productos individuales, se sugiere aumentar el volumen de agua de la solución madre en un 20%.

- Mantener una agitación permanente mientras se disuelven los productos.
- Calcular el tiempo total de inyección en función de la tasa de inyección del equipo y el tamaño del estanque mezclador.
- Aplicar la solución de fertilizantes, teniendo en cuenta que se debe realizar unos 15 minutos después de iniciado el riego, a objeto de que se haya estabilizado el flujo en el sistema (cuando se hayan llenado las tuberías de agua), y debe finalizar unos 20 a 30 minutos antes de terminar el riego, con el fin de que en las tuberías no permanezcan residuos de fertilizantes.
- La concentración total de elementos fertilizantes en el agua de riego no debe sobrepasar de 2 gr/l de agua aplicada. Si la concentración sobrepasa los niveles señalados, ya sea por la capacidad del estanque mezclador o por la capacidad de inyección del equipo, se debe parcializar la dosificación las veces que sea necesario.

Ejemplo: realizar un programa de fertirrigación en una plantación de durazneros regada por microaspersión. La cantidad de fertilizante recomendada cada 15 días (gr/pl) se presenta en el Cuadro 13.

El sector de riego posee 1383 plantas. Cada planta posee un microaspersor de 77 l/h. El tiempo de riego estimado es de 5 horas.

El estanque fertilizador posee una capacidad de 200 litros. La tasa de inyección de la bomba inyectora es de 4 l/min.

Por lo tanto se tiene lo siguiente:

- La cantidad de agua a aplicar en cada riego es de: 532.455 litros (532,46 m^3).

CUADRO 13
Recomendación de fertilizantes

Elemento	gr	Producto comercial
Nitrógeno	13	Úrea (46%) y otros productos
Fósforo (P2O5)	13	Ácido fosfórico (54% P2O5)
Calcio	3.6	Nitrato de calcio (15% N, 30% Ca)
Magnesio	1.3	Sulfato de magnesio (16% MgO, 13% S)
Potasio (K2O)	16	Nitrato de potasio (40% K2O, 15% N)

- El tiempo de inyección es de 50 minutos.
- La cantidad de agua descargada por el equipo en el tiempo de inyección es de 88.743 litros.

El nitrato de calcio es recomendable aplicarlo con ácido nítrico (HNO_3) concentrado, en una relación de 0.42 kg de nitrato de calcio. El ácido nítrico aporta 16% de nitrógeno.

Es necesario aplicar urea para completar los requerimientos de nitrógeno, parte de los cuales ya fueron aportados por otros productos.

Requerimientos de nitrógeno	:	13 g
Aporte Nitrato de Potasio	:	6 g
Aporte Nitrato de Calcio	:	1.8 g
Aporte de Ácido Nítrico	:	0.81 g
Faltan por aplicar	:	4.39 g

Cantidad de producto comercial a aplicar por planta

Nitrato de Potasio (KNO_3) (15-0-40)

Cantidad de producto (gr)	Cantidad de elementos (gr)	
KNO_3	K_2O	N
40	16	6

Nitrato de Calcio (15-0-40); 30% Ca

Cantidad de producto (gr)	Cantidad de elementos (gr)	
$Ca(NO_3)_2$	Ca	N
12	3.6	1.8

Ácido Nítrico

Cantidad de producto (gr)	Cantidad de elementos (gr)
HNO_3	N
5	0.81

Ácido Fosfórico (0-54-0)

Cantidad de producto (gr)	Cantidad de elementos (gr)
H_3PO_4	P_2O_5
24	13

Sulfato de Magnesio 16%; 13% S

Cantidad de producto (gr)	Cantidad de elementos (gr)	
$MgSO_4$	Mg	S
8.1	1.3	1.05

Consideraciones básicas

La concentración total de productos en el agua de riego no debe superar los 2 g/l de agua aplicada.

Es necesario utilizar productos solubles.

Los productos que se utilicen simultáneamente en una misma solución deben ser compatibles entre sí, es decir, no producir precipitados.

El nitrato de calcio es incompatible con productos que contengan sulfatos y con productos fosforados, por lo cual no es recomendable aplicar estos productos juntos, por posibles riesgos de formar precipitados.

El ácido fosfórico se puede aplicar junto con el nitrato de potasio. No existe incompatibilidad entre la úrea y el nitrato de potasio.

Por lo tanto para cumplir con el plan de fertilización para árboles aplicar en un riego sólo sulfato de magnesio, en otro riego nitrato de potasio y ácido fosfórico, y finalmente nitrato de calcio.

El nitrato de calcio es recomendable aplicarlo con ácido nítrico concentrado, en una relación de 0.42 kg de nitrato de calcio. El ácido nítrico aporta 16% de nitrógeno, cantidad que es necesario tomar en cuenta, si no se desea sobrepasar la dosis de nitrógeno recomendada.

Aplicación de los Productos

Aplicación de Sulfato de Magnesio

Solubilidad del sulfato de magnesio : 700 g/l

La cantidad de producto se disuelve fácilmente en el tanque fertilizador y la concentración en el agua de riego es inferior a 2 gr/l.

Aplicación de Nitrato de Potasio y Ácido Fosfórico

Dada la solubilidad del nitrato de potasio (175 gr/l), será necesario aplicar la dosis en dos oportunidades, disolviendo la mitad de la dosis en el estanque de fertilización.

Aplicando la solución a 4 l/min, en un tiempo total de 50 min. Luego de aplicado el primer estanque, se aplica el segundo sólo con nitrato de potasio.

Aplicación de Úrea

Solubilidad : 1.000 gr/l

Aplicación de Nitrato de Calcio y Ácido Nítrico concentrado

Aplicando la solución a 4 l/min, en un tiempo total de 50 min.

La aplicación del fertilizante se debe iniciar unos 15 a 20 minutos de iniciado el riego, a objeto de asegurar una buena distribución de los productos. Al mismo tiempo, la fertilización debe terminar unos 20 a 30 minutos antes de finalizado el riego a objeto de que en las tuberías no permanezcan residuos de fertilizantes.

Producto	gr/planta	gr/sector	gr/l estanque fertilizador	gr/litro agua de riego
Sulfato de Magnesio	8.1	11.202	56	0.12
Nitrato de Potasio (1/2 dosis)	20	27.660	138	0.31
Ácido Fosfórico	24	33.192	166	0.37 0.68
Úrea	4.9	6.776	33.83	0.08
Nitrato de Calcio	12	16.596	83	0.18
Ácido Nitrico	5	6.915	34.6	0.07 0.25

Cantidad de producto (gr)	Cantidad de elementos (gr)
$CO(NH)_2$	N
9.54	4.39

4. Mantención del equipo de riego

Para que un equipo de riego pueda operar en forma adecuada, cumpliendo con lo indicado en su selección y manejo, es necesario mantenerlo en condiciones óptimas de operación.

Para lograr los objetivos, se debe realizar un programa de mantención que involucre todos los componentes del sistema de riego: bomba, filtros, válvulas, matrices, laterales y emisores.

4.1. MOTORES Y BOMBAS

Gran parte de los equipos de riego necesitan, para operar, de presión proporcionada por una bomba, ya sea con motor bencinero o eléctrico.

La mantención de los motores bencineros requieren de una mayor atención ya que de ella depende directamente su funcionamiento y vida útil. En general, se deben seguir las siguientes especificaciones técnicas:

- Revisar el nivel de aceite cada 8 horas de funcionamiento.
- Cambio de aceite del motor cada 50 horas.
- Limpiar filtro de bencina cada 50 horas.
- Cambio de bujías cada 100 horas.
- Mantener libre de suciedad los resortes y cables de mando.
- En períodos donde no se utilice el equipo por más de 30 días se debe vaciar el estanque de combustible.

Adicionalmente, hay que mantener un suministro constante de combustible para su funcionamiento.

En los motores eléctricos no se requiere tanta mantención. Se debe procurar mantenerlos limpios y se debe estar atento a aumentos de temperatura y a los ruidos de los rodamientos.

En relación a las bombas, casi la totalidad de las que se comercializan en Chile son del tipo centrífugo, es decir, hacen uso de la fuerza centrífuga para impulsar el agua en forma perpendicular al eje de rotación del rodete.

En el mantenimiento de las bombas centrífugas debe considerarse las siguientes indicaciones:

- Observar si se produce fuga de agua a través de las empaquetaduras, retenes de eje del impulsor y de las empaquetaduras de la carcaza. El agua actúa como líquido refrigerante y lubricante de la empaquetadura del eje, evitando su desgaste. Adicionalmente, al existir una fuga de agua,

especialmente en las empaquetaduras de la carcaza, se produce la entrada de aire, lo que impide la impulsión del agua.

- Periódicamente se deberá revisar el impulsor, ya que un desgaste excesivo produce una disminución del caudal útil y del rendimiento. La rapidez con que este desgaste aumente dependerá de la calidad del agua bombeada. Así, aguas con mucha arena en suspensión gastarán rápidamente el impulsor y será conveniente cambiarlo.

  Es recomendable desmontar la unidad de impulsión por lo menos una vez al año para proceder a la limpieza y revisión de todas las partes móviles que puedan sufrir desgastes, y reponerlas en caso necesario (Figura 13).

- Para retirar de servicio una bomba, se debe cerrar paulatinamente la válvula reguladora de caudal y presión montada en la tubería de impulsión hasta interrumpir completamente la circulación del fluido, desconectando a continuación el motor.

- Una vez realizada la mantención de la bomba es necesario montarla perfectamente en una fundación sólida de manera de evitar vibraciones que originen desplazamientos de bomba o motor, con las consiguientes perturbaciones por falta de alineación. Luego, se procederá a poner en marcha la bomba de forma contraria a como se sacó de servicio,

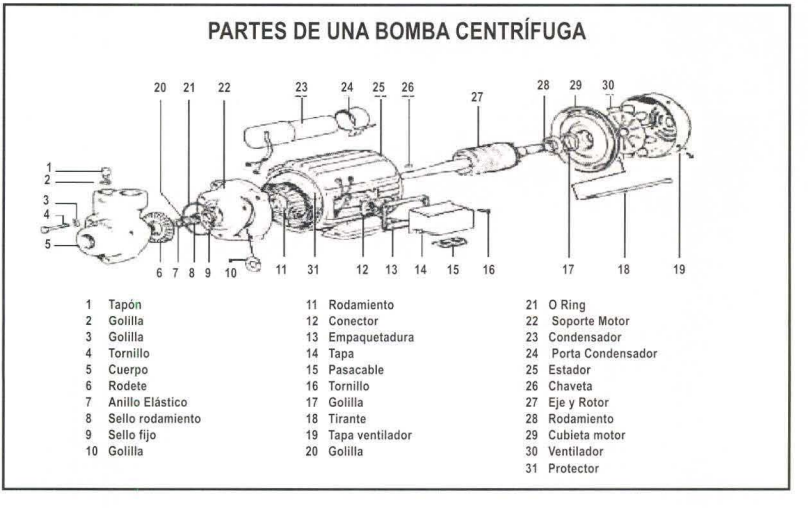

Figura 13. Componentes de una bomba centrífuga.

es decir, se debe mantener cerrada la válvula reguladora del caudal ya que a caudal y presión cero es mínima la potencia absorbida y por ende no se sobrecarga el motor. Con la bomba en funcionamiento y alcanzada la velocidad de régimen (y por lo tanto, la presión máxima), se procede a abrir lentamente la válvula reguladora hasta establecer la corriente normal de servicio; con ello se evitan sobrecargas repentinas del motor.

- En las bombas con impulsores axiales y semiaxiales, como las bombas para pozos profundos, la puesta en marcha deberá realizarse precisamente al contrario de los impulsores radiales, pues en ellas la potencia absorbida es mínima para máximo caudal y altura cero.

Los problemas de funcionamiento de la bomba y sus posibles causas se detallan en el Cuadro 14.

4.2. FILTROS

Los filtros son elementos importantes en un equipo de riego, ya que tienen la función de impedir el paso de gran cantidad de impurezas presentes en el agua de riego (algas, semillas, insectos, restos de hojas, basuras, arena, etc.) Estas partículas pueden tapar los orificios de los emisores. Por tal motivo es muy importante su correcta mantención.

Los filtros deberían hacer un proceso de retrolavado en forma periódica para extraer la suciedad almacenada producto de su funcionamiento normal. Los manómetros, ubicados antes y después de los filtros, indicarán cuando debe realizarse esta labor. En general, la diferencia de presión normal antes y después de los filtros de grava es de 1 a 3 metros, cifra que aumenta a medida que se tapan. Cuando la diferencia sobrepasa los 6 metros resulta imprescindible hacer un retrolavado.

En algunos casos, después del retrolavado el manómetro que se encuentra a la salida de los filtros no aumenta su lectura, lo que puede ser índice de una obturación severa. Ello obliga a mover la arena y realizar sucesivos retrolavados.

Sin perjuicio de lo anterior, una vez al mes -o con mayor frecuencia si las condiciones de agua así lo determinan-, se deberá destapar el filtro, remover la grava depositada al interior e inyectar agua con una manguera, provocando que el rebalse que se produce por la misma abertura arrastre las partículas depositadas en el interior. Este lavado debe prolongarse hasta que el agua salga limpia y la grava se vea blanca. La remoción debe hacerse hasta el fondo del filtro, de manera que todo el volumen ocupado por la grava sea removido.

Al final de la temporada, los filtros tienen que ser desmontados con el fin de observar el desgaste de sus paredes interiores, aprovechando la oportunidad para realizar una aplicación de pintura antióxido. También es necesario revisar la arena ,y si los cantos están redondeados hay que cambiarla.

CUADRO 14
Problemas de funcionamiento de una bomba y sus posibles causas

Problemas	Causas
La bomba no parte	Falla en la alimentación eléctrica. Voltaje insuficiente. Fusibles quemados. Motor o bomba bloqueado por problemas mecánicos. Rodete bloqueado por suciedad.
La bomba gira sin entregar agua	Bomba descebada. Bomba tapada. Succión de aire por la aspiración. Altura de aspiración muy alta. Altura manométrica superior a la de diseño de la bomba (Bomba no adecuada). Válvula de pie tapada. Rotación invertida.
La bomba no entrega suficiente agua o no alcanza presiones esperadas	Succión de aire por la aspiración. Válvula de pie, tuberías o bomba con suciedad. Velocidad de giro baja. Altura de descarga superior a la prevista. Altura de succión muy alta. Rodete semitapado por suciedad. Temperatura de cuerpo de bomba defectuosa. Rodete dañado. Sello en mal estado.
La bomba funciona durante un lapso y posteriormente se desceba.	Entrada de aire en la aspiración. El nivel del agua disminuye por debajo de la altura de aspiración. Aire disuelto en el agua (en caso de bombear agua con aire se debe usar una bomba autocebante). Falla en la válvula de pie. Insuficiente profundidad de la válvula de pie.
Consumo excesivo de potencia	Líquido demasiado denso. Voltaje de alimentación insuficiente. Operación de la bomba en un rango fuera del especificado. Altura total inferior al valor mínimo aceptable. Rodete roza contra el cuerpo de la bomba. Falla en el motor.
Vibración excesiva	Base de fundación de la bomba no suficientemente rígida. Rodete parcialmente tapado y desequilibrado. Entrada de aire por la aspiración. Falla en los rodamientos.

En relación a los filtros de mallas, también deben ser revisados y limpiados en forma constante. Si la malla está rota o saturada de partículas finas debe cambiarse. Si se encuentra arena del filtro de grava, es posible que alguna cribas del filtro estén rotas, por lo tanto, se deberán renovar.

En el caso de los filtros de anillos, para su limpieza manual se tiene que desenroscar la tapa y separar los anillos aplicando un chorro de agua a presión ayudando con un cepillo. Una vez al año es recomendable lavarlos con ácido clorhídrico para evitar incrustaciones cálcicas.

4.3. VÁLVULAS

Es necesario realizar limpieza y chequeos periódicos de los orificios y membranas de las válvulas solenoides ya que tienden a fallar al tercer o cuarto año de funcionamiento. Por otro lado, si la válvula solenoide no cierra bien, puede tratarse de una basura existente entre la membrana. Para ello se debe proceder a desarmarla y lavarla interiormente con cepillo y agua limpia. Al armar la válvula, deberán reponerse las empaquetaduras que se hayan deteriorado. En el proceso de armado, deberá tenerse la precaución de seguir la secuencia inversa al desarme y mantener las piezas internas en su posición original. Adicionalmente debe revisarse las conexiones eléctricas.

En relación a las válvulas de aire y alivio es necesario realizar limpieza y chequeos periódicos de los orificios y membranas, las que deben cambiarse si existe algún tipo de problema.

4.4. EMISORES, LATERALES Y MATRICES

En las tuberías matrices, laterales y goteros tienden a depositarse precipitados de carbonato de calcio y partículas finas que atraviesan los filtros, los que deben ser eliminados de la red para evitar obturaciones de los emisores. La mejor manera de evitar obturaciones es mediante la prevención, pero muchas veces el detectar anticipadamente este tipo de fallas no es fácil. En la mayoría de los casos el problema se descubre cuando el grado de obturación es avanzado, resultando de un costo elevado la limpieza de emisores y conductores.

4.4.1. Lavado de la red de riego

Las obturaciones físicas generalmente se pueden mejorar con una adecuada selección de los elementos de filtrado, pero hay partículas que de todas formas logran depositarse en los emisores, formando agregados de mayor tamaño. Para evitar este problema se debe realizar en forma periódica un lavado mecánico del sistema con presiones de 3 a 4 kg/cm^2 (30 a 40 m), conocida como «flushing». Para esto último es fundamental disponer de presión extra en el equipo de riego.

El lavado debe comenzar en el cabezal y en la conducción principal, manteniendo cerradas las válvulas de las unidades de riego. Para ha-

cerlo conviene instalar válvulas o tapones roscados en los extremos de las tuberías. Una vez aseada la conducción principal, se procede a limpiar una por una todas las portalaterales y luego las laterales, haciendo fluir el agua durante unos minutos. Como medida de precaución, antes de cerrar completamente el extremo de la tubería que se está limpiando, se abre parcialmente el extremo de la tubería del siguiente sector, continuando el proceso. Así se evitan sobrepresiones en la red. Este tipo de limpieza es aconsejable realizarlo cada 2 meses, dependiendo de la calidad del agua.

Las obturaciones químicas son provocadas por la precipitación en el interior de la estructura, de sustancias que vienen en el agua de riego. Las más frecuentes son las de carbonato de calcio. Esta es una sal de muy baja solubilidad (0.031 g/l), aunque a pH cercano a 6 puede aumentar hasta 100 veces.

Antes que nada, es indispensable conocer la magnitud del problema, lo que se logra a través de un análisis químico del agua de riego. El análisis se procesa según el índice de Langelier, el cual relaciona la calidad de agua con las precipitaciones de los compuestos que contiene. Conociéndose este dato, existen dos tipos de solución:

- Preventiva: Aplicaciones de ácido permanente, cuando el problema es grave.
- Correctiva: Aplicaciones de ácido en algunas oportunidades, cuando el agua es de mejor calidad.

El ácido tendría que usarse en la totalidad del agua que requieren los cultivos y que pasa a través del equipo, pero con frecuencia los volúmenes resultan muy grandes como para inyectarlo durante el riego. Por ello se recurre a aplicar la cantidad indicada sólo durante la última parte del riego, con el fin de que no precipiten las sustancias que se encuentran dentro de la instalación cuando se termina de regar.

Los ácidos más utilizados son sulfúrico (H_2SO_4) 36 N y fosfórico (H_3PO_4) 45N, según su disponibilidad y precio.

En la mayoría de los casos, aunque el índice de Langelier no indique aplicación preventiva, es necesario realizar los tratamientos correctores o de limpieza cuando se detectan obturaciones. Se efectúan aplicando ácido hasta conseguir concentraciones en el agua de riego de 1 a 2 por ciento. Para lograr este objetivo, se recomiendan los siguientes pasos:

- Se coloca en el estanque inyector una solución de ácido al 10 por ciento
- Primero se pone el agua necesaria y luego el ácido concentrado.
- Se aplica la mezcla a muy baja presión, funcionando los goteros con un gasto mínimo.
- Luego se mide con papel pH el nivel de acidez del agua en los goteros más extremos, hasta encontrar valores de 2 a 3, lo que se logra con aproximadamente 3 a 6 litros por hectárea de ácido.

- Se mantiene la instalación cerrada durante 12 horas.
- Se realiza una limpieza a presión como la indicada anteriormente (flushing).

En ocasiones, cuando el grado de obturación es alto, se debe proceder a la limpieza individual de los emisores sumergiéndolos durante 15 minutos en ácidos al 1 a 2 por ciento de concentración.

Otros precipitados, como los de hierro, manganeso y azufre, también pueden obturar los emisores. El tratamiento preventivo consiste en provocar la oxidación y precipitación antes de los filtros de arena, para así retener las partículas.

Un método eficaz de evitar estos precipitados es la aplicación continua de oxidantes como hipoclorito de sodio. Si el pH del agua es inferior a 6.5 el cloro puede evitar estos precipitados de hierro, cuando la concentración de este es inferior a 3.5 ppm. Si el pH es superior a 6.5 los precipitados se evitan con concentraciones de hasta 1.5 ppm. La aplicación de ácidos puede ser necesaria para mejorar el pH. La concentración adecuada de hipoclorito de sodio se calcula a razón de 1 ppm de hipoclorito de sodio por 0.7 ppm de hierro. La reacción es muy rápida. En presencia de manganeso hay que tener cuidado con la aplicación de hipoclorito, ya que la oxidación de este elemento es mucho más lenta que la de hierro y los precipitados pueden formarse después de superado el filtro de arena. Cuando los emisores están parcialmente obturados, se puede aplicar ácido en la forma descrita para las obturaciones con carbonato de calcio.

Las obturaciones biológicas son ocasionadas principalmente por algas transportadas por el agua de riego, o desarrolladas en los filtros o en las salidas de los emisores. También son causadas por sustancias mucilaginosas producidas por microorganismos, fundamentalmente bacterias.

Cuando se presentan taponamientos de este tipo, es necesario realizar tratamientos de limpieza (correctores) de manera análoga a la descrita para un tratamiento con ácido, pero empleando biocidas de alta concentración.

Uno de estos compuestos es el cloro, ampliamente utilizado en forma de hipoclorito de sodio al 10 o al 12%. Posee un efectivo control sobre algas y otros microorganismos. Al mezclarse con agua, el cloro adquiere un fuerte poder oxidante, aunque sólo una fracción permanece en estado libre con acción biocida. Requiere un pH entre 5 y 7.5 para lograr un control adecuado, pero el óptimo funcionamiento se obtiene con pH entre 5.5 a 6.0. La limpieza del sistema consiste en mantener una concentración de cloro libre entre 0.5 y 1 ppm. en el agua que sale desde el emisor más lejano, durante unos 45 minutos aproximadamente. Si la concentración de cloro libre es menor, el efecto puede ser incluso contraproducente, ya que bajas concentraciones de cloro pueden estimular el rápido crecimientos de bacterias. Para conseguir esta

condición pueden ser necesarias dosis de entre 3 y 10 ppm. de cloro total. Cuando el pH es superior a 7.5 las necesidades de cloro libre al final de los emisores debe ser del orden de 2 a 3 ppm.

Los tratamientos se pueden repetir cada 6 horas. El cloro se puede aplicar en cualquier momento del riego, pero es conveniente que durante la última hora no salga cloro por los emisores. La inyección debe hacerse antes de los filtros para evitar crecimientos bacterianos en las arenas.

Cálculo de la cantidad de cloro. Por ejemplo, para obtener una concentración de 10 ppm (10 g/m^3) y sabiendo que la concentración de hipoclorito de sodio es de 10%, se requiere 0.1 litro de hipoclorito por m^3 de agua. Si se requiere tratar 20 m^3 de agua se necesitan 2 litros de hipoclorito de sodio disuelto en 100 litros de agua y se inyectan a la red en el tiempo requerido. La dilución en el tanque de fertilizantes no tiene importancia. Los metros cúbicos a tratar se obtiene multiplicando al caudal de un emisor por el número de emisores en el perfil de suelo y por el tiempo de aplicación del biocida, que debe ser de a lo menos 45 minutos. En general se requiere entre 1 a 1.5 litros de hipoclorito al 10% por hectárea en goteo; 6 a 7 litros en riego por cinta espaciado a 1.5 metros.

Finalmente, para el control de algas en fuentes de agua (pozos y embalses) se recomiendan tratamientos con sulfato de cobre en dosis de 0.05 a 2 ppm (0.05 a 2 g/m^3 de agua). No se debe utilizar material de aluminio para su preparación, porque se forman compuestos tóxicos para los peces.

En el Cuadro 15 se presenta una secuencia de labores de mantención y limpieza de equipos de riego localizado antes, durante y con posterioridad a la temporada de riego.

CUADRO 15

Secuencia de labores de mantención antes, durante y al término de la temporada de riego

Equipos	Término temporada	Inicio temporada	Durante temporada
FILTROS	- Drenar el agua del equipo de filtración después del lavado. - Inspeccionar los filtros interiormente. - Pintar y limpiarlos. - Desconectar de la fuente de energía. - Revisar las arenas. - Revisar los cables eléctricos.	- Revisar conexiones eléctricas. - Revisar controles automáticos. - Revisar limpieza interior. - Revisar retrolavado.	- Observar que la filtración sea buena y que los controles automáticos funcionen. - En los filtros de arena, cuando la diferencia de presión entre los manómetros de entrada y salida del agua sea igual o mayor a 5 m.c.a, se efectuará automáticamente un retrolavado o se deberá efectuar manualmente accionando la válvula de tres vías. - En los filtros de malla, se deberá efectuar un lavado de la malla cuando el manómetro indique una caída de presión igual o mayor a 3 m.c.a. Destapar el filtro y sacar la malla para limpiarla. - Terminar el riego diario con una limpieza de los filtros de arena y malla.
BOMBAS	- Sacar la bomba y revisar rodamientos y sellos desgastados. - Revisar la curva de funcionamiento y consumo de energía en un servicio técnico especializado.	- Revisar conexión eléctrica. - Revisar funcionamiento general.	- Revisar funcionamiento ruidos, vibraciones y otros.
VÁLVULAS	- Vaciar todas las válvulas. - Revisar válvulas. - Dejar todas las válvulas abiertas.	- Inspeccionar válvulas automáticas. - Verificar funcionamiento de las válvulas.	- Verificar operación de válvulas. - Lubricar según recomendación del fabricante.
TABLERO ELÉCTRICO Y PROGRAMADOR	- Limpiar tablero. - Desconectar de la fuente de energía.	- Revisar conexiones. - Verificar funcionamiento en general (amperímetro, voltímetro y otros).	- Cada semana, revisar visualmente todos los componentes externos.

Equipos	Término temporada	Inicio temporada	Durante temporada
TUBERÍAS	- Cuando el sistema de riego aún esté funcionando, marcar roturas en la red de riego. - Drenar matrices, submatrices y laterales. - Abrir todas las válvulas. - Inspeccionar tubería.	- Revisar operación del sistema.	- Limpiar tuberías, hacer correr el agua por ellas todas las veces que sea necesario. - Abrir grupos de cinco laterales hasta que el agua salga limpia. - En caso de persistir algún problema, llamar en general. al servicio técnico especializado.
EMISORES	- Aprovechar de cambiar emisores rotos o con algún problema.	- Revisar visualmente obstrucciones, daños u otros signos de deterioro.	- Revisar mensualmente la descarga y presión de operación. - Revisar obstrucción y daños por lo menos una vez en la temporada.
INYECTOR DE FERTILIZANTE	- Lavar bien y verificar el equipo. - Revisar válvulas. - Revisar visualmente conexiones eléctricas. - Prevenir cualquier corrosión.	- Revisar cualquier obstrucción. - Revisar funcionamiento general. - Revisar dosificación.	- Lavar y vaciar el estanque después de cada uso.

Índice de Figuras

Figura 1. Estación microclimática ..... pág. 9

Figura 2. Bandeja de evaporación Clase A 10

Figura 3. Distribución gravimétrica de humedad en ensayos de frecuencias de riego 16

Figura 4. Tensiómetro con manómetro de vacío o vacuómetro 24

Figura 5. Instalación correcta de una batería de tensiómetros en un cultivo 26

Figura 6. Esquema de bomba de presión tipo Scholander 28

Figura 7. Potenciales xilemáticos medidos en uva de mesa para tres niveles de reposición de la evapotranspiración del cultivo 28

Figura 8. Esquema de un cabezal de riego presurizado tipo, señalando la inyección de fertilizantes 29

Figura 9. Inyector tipo Venturi 31

Figura 10. Diversas formas de instalación de un inyector tipo Venturi 31

Figura 11. Variación de la producción con la salinidad del suelo (extracto de saturación) 32

Figura 12. Forma de describir a los fertilizantes 34

Figura 13. Componentes de una bomba centrífuga 46