

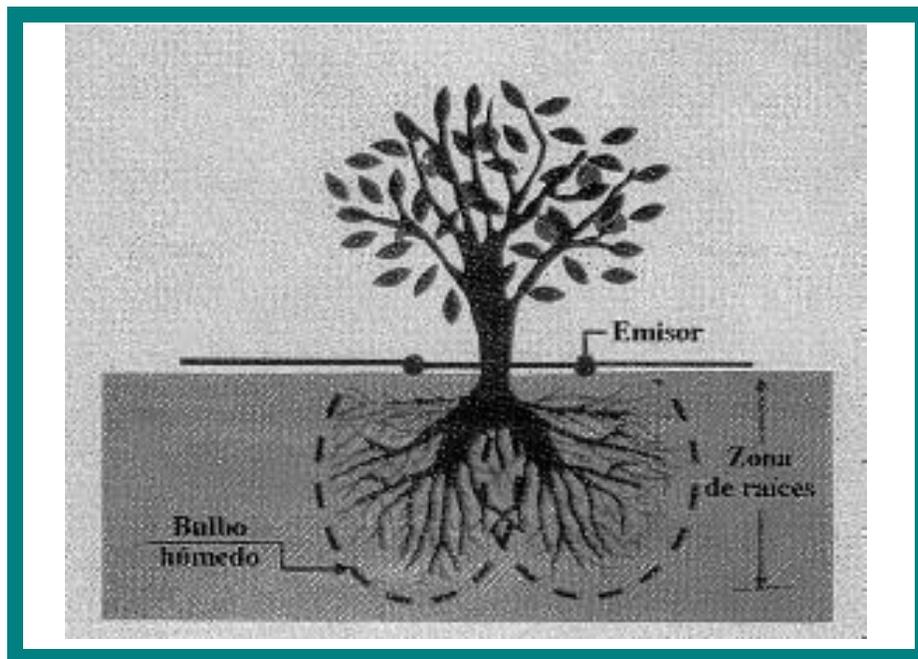


COMISION NACIONAL DE RIEGO
Departamento de Proyectos

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS



CONCEPTOS SOBRE DISEÑO Y MANEJO DE RIEGO PRESURIZADO



El departamento de Proyectos de la Comisión Nacional de Riego (CNR) encargó al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) la elaboración de la presente cartilla técnica que complementa la publicación anterior denominada "Elementos de Riego Tecnificado".

Su objetivo es iniciar, en forma fácil y sencilla, a los profesionales del sector agrícola y agricultores, en el diseño y manejo de sistemas de riego presurizado.

La comisión Nacional de Riego espera que esta publicación ayude a cubrir el vacío existente en la difusión masiva de las técnicas de riego.

Autores:

Francisco Tapia Contreras, Ingeniero Agrónomo
Alfonso Osorio Ulloa, Ingeniero Agrónomo, M. Sc.,
Departamento Recursos Naturales y Medio Ambiente.

Editores:

Alfonso Osorio Ulloa, Ingeniero Agrónomo M. Sc.,
Departamento Recursos Naturales y Medio Ambiente.

Roberto Salinas Yasuda, Ingeniero Agrónomo,
Unidad de Comunicaciones.

TENGA EN SUS MANOS
**LA LLAVE DEL
RIEGO**

Este material fue reproducido en diciembre de 1999 en un tiraje de 1.000 ejemplares, en el marco del Programa Manejo Tecnológico de Sistemas de Riego Intrapredial, Subprograma Capacitación de Extensionistas Zona Norte, financiado por la Comisión Nacional de Riego y ejecutando por INIA Intihuasi.

INTRODUCCION

El agua es un elemento esencial e todo organismo vivo y de vital relevancia en zonas de clima árido, donde una gota es sinónimo de vida. A causa de ello, los asentamientos agrícolas y humanos se han ubicado y desarrollado, preferentemente, cercanos a una fuente de agua, como es posible observar en torno a los oasis y valles transversales del norte de Chile.

Sin embargo, los cambios climáticos que se vienen produciendo en el último tiempo en el planeta, están ocasionando en forma cada vez más frecuente ciclos de sequías, que provocan problemas a la población humana, que día a día demanda mayores cantidades de agua para uso doméstico, la industria y la agricultura, actividad que presenta el mayor nivel de consumo comparativo (Fig. 1).

Surge así la necesidad de que la agricultura, sobre todo la agricultura de zonas áridas, utilice metodologías de riego de alta eficiencia, como goteo, cintas, microjet y microaspersión, descritos en la cartilla de esta misma serie, «Elementos de Riego Tecnificado».

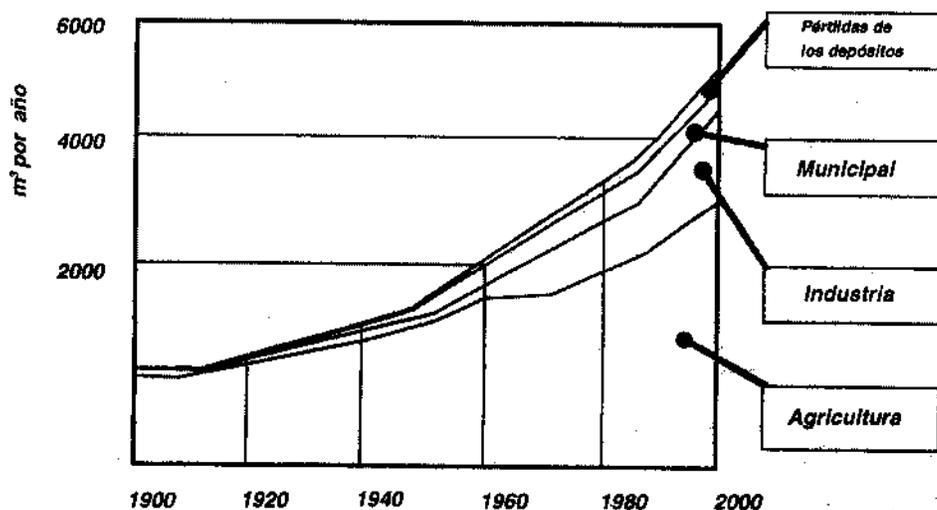


Figura 1. Consumo anual estimado de agua en el mundo. Total y por sectores, 1900-2000. (Fuente:FAO 1994)

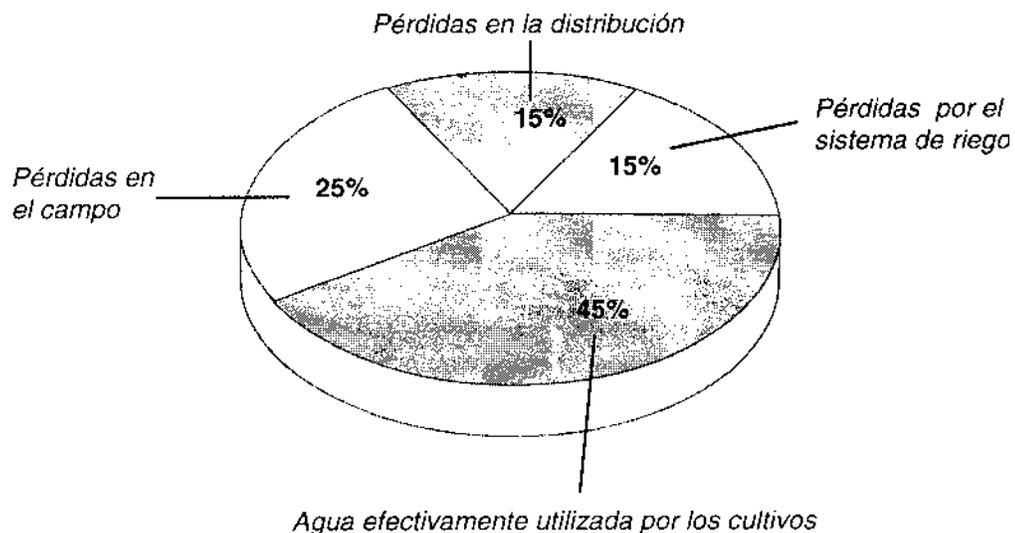


Figura 2. Perdidas medias de aguas de irrigación (Fuente FAO 1994)

¿ Qué es un sistema de riego eficiente ?

Se considera eficiente un método de riego cuando el agua que se destina al cultivo es utilizada en un porcentaje superior al 70%.

A nivel mundial (según señala FAO), actualmente hay enormes pérdidas de un bien tan escaso como el agua, llegando en promedio hasta un 55%.

(Fig. 2) Este riego altamente ineficiente está caracterizado por:

- 25% de aguas que se pierden en el campo mismo.**
- 15% de pérdidas por el sistema de riego.**
- 15% de pérdida en la distribución extra predial**
- 45% de agua que es efectivamente utilizada por los cultivos (1).**

A modo de ejemplo, se señala en la TABLA 1 las eficiencias de los distintos métodos de riego, consideradas en la Ley N°18.450, para efectos de postulación a los subsidios que se otorgan a la inversión privada en obras de riego y drenaje.

(1) Según lo señala la FAO en "El agua germen de vida". Día Mundial de la Alimentación 1994.

Tabla 1. Eficiencia aproximada de aplicación del agua según el método de riego utilizado. (reglamento Ley N° 18.450).

<i>Métodos de riego</i>	<i>Eficiencia de Aplicación (%)</i>
<i>Tendido</i>	<i>30</i>
<i>Surcos</i>	<i>45</i>
<i>Bordes rectos</i>	<i>50</i>
<i>Bordes en contorno</i>	<i>60</i>
<i>Pretilas</i>	<i>60</i>
<i>Tazas</i>	<i>65</i>
<i>Californiano</i>	<i>65</i>
<i>Aspersión</i>	<i>75</i>
<i>Microjet</i>	<i>85</i>
<i>Goteo</i>	<i>90</i>

Cada método de riego presenta características propias de implementación y manejo, que influyen en la eficiencia de aplicación y aprovechamiento del agua por las plantas.

Como puede observarse en la Tabla 1, los métodos más eficientes corresponden a aquellos en que el agua se conduce por tuberías con cierta presión y es aplicada en forma localizada, como es el caso de goteo y microaspersión (ó microjet).

Criterios que se deben considerar en el diseño de un sistema de riego presurizado.

Existen criterios generales que deben tomarse en cuenta para el diseño de un sistema de riego, considerándose aspectos agronómicos y aspectos hidráulicos, tal como se indica en el Figura 3.

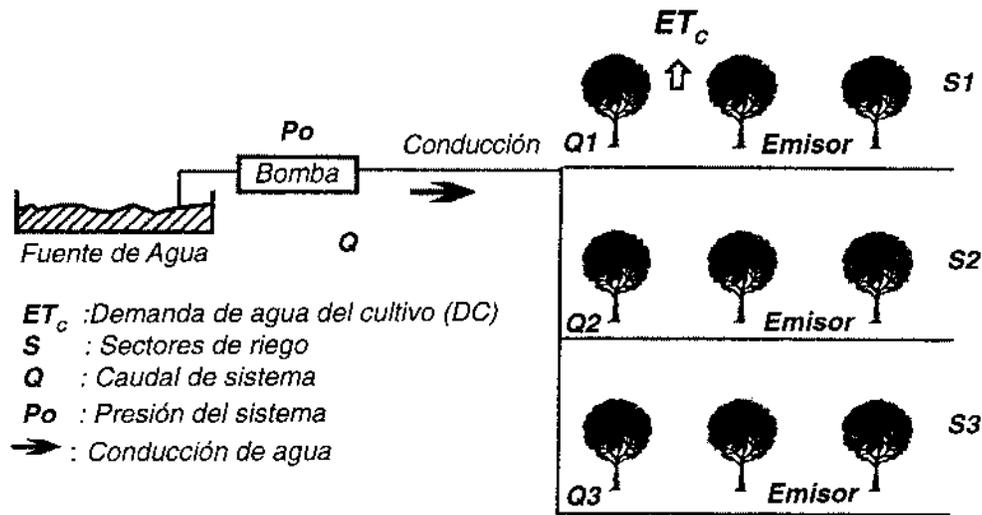


Figura 3: Esquematización de los criterios a considerar en el diseño de un riego presurizado.

Los tres primeros criterios, demanda de agua del cultivo, sectores de riego y caudal del sistema, responden fundamentalmente a decisiones de tipo agronómico que influyen en el diseño y están relacionados con el complejo **suelo-agua-planta-atmósfera**. Los criterios sobre presión del sistema y conducción del agua obedecen a principios de tipo hidráulico.

DISEÑO AGRONÓMICO

¿Cómo determinar las demandas de agua del cultivo?

La demanda de agua de un cultivo o Evapotranspiración del cultivo (etc), depende del estado de desarrollo en que se encuentre el vegetal, por ejemplo, brotación, desarrollo de frutos, cosecha; de las condiciones climáticas -temperatura, humedad relativa, viento -; de las características del suelo profundidad, textura, infiltración, pedregosidad, estratas - y de la disponibilidad de agua que se tenga.

Una forma práctica de determinar las demandas de agua es a través de la bandeja de Evaporación clase A (Fig. 4), instrumento que se encuentra en la mayoría de las Estaciones Meteorológicas y donde usted puede solicitar la información sobre evaporación de bandeja.



Figura 4. Medición de la evaporación en una bandeja de evaporación Clase A.

De esta forma, la EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO (ET_c será igual a:

$$ET_c = EB \times K_p \times K_c \text{ (mm/día)}$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo en mm/día

EB = Evaporación desde la bandeja en mm/día

K_p = Coeficiente de la bandeja

K_c = Coeficiente del cultivo

¿Qué es K_p y K_c ?

El coeficiente de la bandeja (K_p) es un factor característico del evaporímetro (o bandeja Clase A) y depende de las condiciones donde está instalado. Varía normalmente entre valores de 0,6 y 0,8.

El coeficiente del cultivo (K_c) es un factor que varía según el tipo de cultivo y según las distintas etapas de su desarrollo.

En la TABLA 2 aparecen los valores para algunos cultivos.

Ahora bien, para fines de diseño de un sistema de riego presurizado se debe considerar valores de Evaporación de bandeja del mes de mayor consumo de agua por la planta, lo que en general ocurre en los meses de verano (diciembre-enero-febrero); época cuando la planta transpira una mayor cantidad de agua.

Un ejemplo:

En los distritos agroclimáticos III y IV del Valle del Huasco, la máxima evaporación de bandeja ocurre en el mes de enero y alcanza los 189,00 mm/mes, equivalentes a 6, 10 mm/día. Si estamos cultivando Vid (ver TABLA 2), la demanda del cultivo o ET_c , será igual a:

Tabla 2. Coeficiente del cultivo (Kc).

FASES DEL DESARROLLO DEL CULTIVO						
CULTIVO	INICIAL	DESARROLLO DEL CULTIVO	MEDIADOS DE PERIODO	FINAL DEL PERIODO	COSECHA	PERIODO VEGETATIVO TOTAL
POROTO						
<i>Poroto verde</i>	0.30-0.40	0.65-0.75	0.95-1.05	0.90-0.95	0.85-0.95	0.85-0.90
<i>Poroto Seco</i>	0.30-0.40	0.70-0.80	1.05-1.20	0.65-0.75	0.25-0.30	0.70-0.80
REPOLLO	0.40-0.50	0.70-0.80	0.95-1.10	0.90-1.00	0.80-0.95	0.70-0.80
CEBOLLA						
<i>Cebolla Seca</i>	0.40-0.60	0.70-0.80	0.95-1.10	0.85-0.90	0.75-0.85	0.80-0.90
<i>Cebolla Verde</i>	0.40-0.60	0.60-0.75	0.95-1.05	0.95-1.05	0.95-1.05	0.65-0.80
ARVEJA FRESCA	0.40-0.50	0.70-0.85	1.05-1.20	1.00-1.15	0.95-1.10	0.80-0.95
MORRON FRESCO	0.30-0.40	0.60-0.75	0.95-1.10	0.85-1.10	0.80-0.90	0.70-0.80
TOMATE	0.40-0.50	0.70-0.80	1.05-1.25	0.80-0.95	0.60-0.65	0.75-0.90
SANDIA	0.40-0.50	0.70-0.80	0.95-1.05	0.80-0.90	0.65-0.75	0.75-0.85
MAIZ						
<i>Maiz Dulce</i>	0.30-0.50	0.70-0.90	1.05-1.20	1.00-1.15	0.95-1.10	0.80-0.95
<i>Maiz Grano</i>	0.30-0.50	0.70-0.85	1.05-1.20	0.80-0.95	0.55-0.60	0.75-0.90
PAPA	0.40-0.50	0.70-0.80	1.05-1.20	0.85-0.95	0.70-0.75	0.75-0.90
TABACO	0.30-0.40	0.70-0.90	1.00-1.20	0.90-1.00	0.75-0.85	0.85-0.95
TRIGO	0.30-0.40	0.70-0.80	1.05-1.20	0.65-0.75	0.20-0.25	0.80-0.90
ALFALFA	0.30-0.40				1.05-1.20	0.85-1.05
VID	0.35-0.55	0.60-0.80	0.70-0.90	0.60-0.80	0.55-0.70	0.55-0.75
CITRICOS CON Desmalezado						
<i>Total</i>						0.65-0.75
<i>Sin control De malezas</i>						0.85-0.90
OLIVO						0.40-0.60
PALTO(1)						0.60-0.80
DURAZNERO(1)	0.45	0.80	1.15	1.05	0.85	0.80
ALMENDRO(1)	0.45	0.80	1.15	1.05	0.85	0.80
NOGAL(1)	0.45	0.80	1.15	1.05	0.85	0.80

Fuente Manual FAO 33. Serie Riego y Drenaje.

(1) Estimación de los autores sobre la base del Manual FAO 24. Serie Riego y Drenaje.

(*) Mayores antecedentes consultarlos con su Técnico Extensionista del Area.

DATOS:

EB = 6.10 mm/día

Kp = 0.75

Kc = 0.90

Etc = $6.10 \times 0.75 \times 0.90 = 4.12$ mm/día

Ello equivale a 41.20 m³ /ha/día

Para efecto de diseño debe considerarse el valor Kc mayor que aparece en la Tabla 2.

¿Cómo se transforman mm/día a litros/planta/día?

Basta multiplicar los mm/día por el marco de plantación (M.R) y por el porcentaje de cubrimiento (P.C.) del follaje en relación al marco de plantación; de esta forma las demandas netas del cultivo (D.N.C) serán las siguientes:

$$\text{D.N.C.} = \frac{\text{ETc} \times \text{M.P.} \times \text{P.C.}}{100}$$

El valor del porcentaje de cubrimiento (P.C.) varía según el estado de desarrollo del cultivo, siendo igual al 100% en plena producción.

Datos.

Etc = 4.12 mm/día

M.P = 3.5 x 3.0 m (10.50 m²)

PC = 90%

$$\text{D.N. C.} = \frac{4.12 \times 10.50 \times 90}{100} = 38.93 \text{ lts./planta/día}$$

Pero como los métodos de riego que utilizamos no son 100% eficientes, la demanda real o bruta (D.B.C) será igual a la demanda neta dividida por la eficiencia. Si estamos regando por goteo esta eficiencia será igual a 90% (ver Tabla I). Luego entonces la Demanda Bruta será

$$\text{D.B. C.} = \frac{\text{D. N. C.}}{\text{Eficiencia}} = \frac{38.93 \times 100}{90.00} = 42.25 \text{ lftros/planta/día}$$

¿Cómo aplicamos este volumen diario a la planta?

Una vez seleccionado el método de riego a emplear, como goteo, cintas o microaspersión, será necesario definir 3 aspectos: tipo de emisor a utilizar, número de emisores por planta y espaciamiento entre ellos.

Los siguientes datos se refieren a un sistema por goteo, pero los cálculos son similares para los otros sistemas mencionados. Al momento de seleccionar el gotero o emisor a utilizar deben tomarse en cuenta aspectos como: relación caudal/presión (ver Fig.5) material de construcción, sensibilidad a la obstrucción, forma de inserción en la tubería lateral, etc. En el mercado nacional existe una amplia gama de emisores, encontrándose abundante información sobre sus características hidráulicas y de diseño.

Los de uso común entregan un caudal de 3.5 a 4.0 litros/hora y con presiones de operación de 10 a 15 metros de columna de agua (m. c. a.) ó 0.7 a 1 lb/pulg².

CAUDAL DEL GOTERO EN RELACIÓN A LA PRESIÓN						
CAUDAL(l/h)	PRESIÓN(m. c. a.)					
	5	10	15	20	25	30
2.05	1.50	2.05	2.45	2.85	3.15	3.15
4.10	2.90	4.10	4.90	5.80	6.50	7.10
8.00	5.80	8.00	9.80	11.30	12.60	13.80

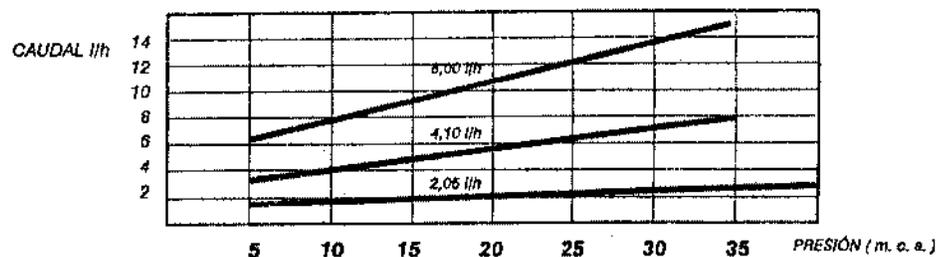


Figura 5. Relación caudal versus presión para goteros de 2,4 y 8 litros por hora.

El **número de goteros** o emisores por planta va a depender fundamentalmente de qué proporción del suelo se quiera mojar (P.S.M.), la cual no debiera ser inferior a 30-40%. De esta forma el número de goteros (n.g.) puede quedar definido por la siguiente relación:

$$n.g. \geq \frac{M.P. \times P.S.M.}{100 \times A_{mg}}$$

donde:

n.g. = número de goteros por planta

M.p. = marco de plantación (m²)

P.S.M = porcentaje de suelo a mojar

A_{mg} = área mojada por emisor (m²)

El área mojada por emisor (A_{mg}), puede calcularse tomando en cuenta la información de la TABLA 3, donde se indican los diámetros mojados por emisor para distintas condiciones de suelo y profundidad de raíces. De esta forma para un suelo estratificado, con textura media y 80 centímetros de profundidad de raíces; el diámetro de mojadura será aproximadamente de 1.25 metros y el área mojada es igual a:

$$A_{mg} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.1416 \cdot (1.25)^2}{4} = 1,23 \text{ m}^2$$

Tabla 3. Diámetro mojado por un emisor de 4 l/h.

<i>Profundidad de raíces y textura del suelo</i>	<i>Grados de estratificación del suelo</i> <i>Homogéneo Estratificado En capas</i> <i>Diámetro mojado (m)</i>		
<i>Profundidad - 0,80 m.</i>			
<i>Ligera</i>	<i>0,50</i>	<i>0,80</i>	<i>1,10</i>
<i>Media</i>	<i>1,00</i>	<i>1,25</i>	<i>1,70</i>
<i>Pesada</i>	<i>1,10</i>	<i>1,70</i>	<i>2,00</i>
<i>Profundidad - 1,70 m.</i>			
<i>Ligera</i>	<i>0,80</i>	<i>1,50</i>	<i>2,00</i>
<i>Media</i>	<i>1,25</i>	<i>2,25</i>	<i>3,00</i>
<i>Pesada</i>	<i>1,70</i>	<i>2,25</i>	<i>2,50</i>

En el caso de nuestro ejemplo de las vides, el número de emisores por planta será el siguiente:

$$\text{n.g.} = \frac{10,5 \times 35}{100 \times 1,23} = 2,99 \text{ goteros} = 3 \text{ goteros}$$

¿Cómo ubico los goteros en la línea lateral?

Acá entra el concepto de distanciamiento de los goteros (dg.). Es decir ¿a qué distancia ubico uno de otro, para dar cumplimiento al número antes calculado?

Para el ejemplo, la distancia entre plantas en la línea es de 3,0 metros. Luego el distanciamiento de goteros será igual a:

$$\text{d.g.} = \text{separación de las plantas} / \text{n.g.} = 3,0 / 3 = 1,0 \text{ m.}$$

Con este distanciamiento se asegura un traslape de los bulbos de mojamiento y se cumple el requisito de porcentaje de suelo humedecido. Si se desea colocar los goteros a un mayor distanciamiento, se puede hacer, pero hay que tener un mayor control en el manejo del sistema.

Ya hemos definido varias cosas, pero nos falta determinar los sectores de riego y el caudal de diseño.

Previo a ello es necesario preguntarse lo siguiente:

¿Durante cuánto tiempo voy a regar mi cultivo al día?

¿Cuántas horas al día dispongo para el riego del huerto?

La primera pregunta se puede responder con la información que tenemos, calculándose el Tiempo de Riego Diario (T.R.D), con la siguiente relación.

$$T.R.D. = \frac{D. B. C.}{n.g.xq.g.}$$

Donde:

D.B. C. = *demanda bruta del cultivo (ya calculada)*

n.g. = número de goteros (ya determinado)

q.g. = caudal del gotero(predeterminado)

De esta forma nuestro tiempo de riego diario será igual a:

$$T.R.D. = \frac{42,22 \text{ (litros/día)}}{3 \times 3,5 \text{ (litros/hora)}} = 4.02 \text{ horas/día}$$

Es decir, mis plantas o cada sector de riego deberán regarse durante 4.02 horas al día, en el mes de máximo consumo.

La segunda pregunta obliga definir el concepto de Horas Laborables, es decir el número de horas disponibles para el riego al día. Obviamente un proyecto de riego tecnificado debe diseñarse para que los equipos instalados tengan un uso intensivo en el período de mayor demanda de agua, de lo contrario, su utilidad es bastante discutible. En este sentido la Ley N°18.450, de fomento a la inversión de obras de riego y drenaje, administrada por la Comisión Nacional de Riego, estipula en su reglamento que los equipos deben diseñarse para tiempos mínimos de funcionamiento de 12 horas, en proyectos de pequeños agricultores y 18 horas en proyectos de agricultores medianos y grandes.

En tales circunstancias y tomando como base nuestro ejemplo, el número de sectores de riego quedará definido de la siguiente forma:

*Número de sectores de riego en el caso de agricultores pequeños:

$$\begin{aligned} N^{\circ} \text{sectores de riego} &= \frac{12 \text{ horas}}{4.12 \text{ horas}} = 2,91 \text{ sectores} \\ &\approx \mathbf{3 \text{ sectores}} \end{aligned}$$

*Número de sectores de riego en el caso de agricultores medianos y grandes:

$$\begin{aligned} N^{\circ} \text{sectores de riego} &= \frac{18 \text{ horas}}{4.12 \text{ horas}} = 4,37 \text{ sectores} \\ &\approx \mathbf{5 \text{ sectores}} \end{aligned}$$

¿Cuál será entonces el caudal de diseño?

Dependerá de la superficie que cubre nuestro proyecto. Supongamos que el agricultor pequeño desea regar 6 hectáreas y el agricultor mediano 20 hectáreas. En el primer caso cada sector tendrá en promedio 2 ha (613) y en el segundo 4 ha (2015).

El caudal de diseño (**Qd**) será igual a:

$$Qd = (Ng \text{ de plantas/ha}) \times (\text{superficie del sector (ha)}) \times (n.g.) = xqg(\text{l/hr}).$$

El resultado se obtendrá en litros por hora. Para expresarlo en litros por segundo hay que dividirlo por 3.600.

En el caso de los sectores irregulares deberá tomarse el sector de mayor superficie.

Siguiendo con nuestro ejemplo, los caudales de diseño serían los siguientes:

***Pequeño agricultor**

$$Qd = (952 \text{ plantas/ha}) \times (2 \text{ ha}) \times (3,0) \times (3,5 \text{ l/hr}) = 19.992 \text{ l/hr} = 5,55 \text{ l/seg}$$

***Agricultor mediano**

$$Qd = (952 \text{ plantas/ha}) \times (4 \text{ ha}) \times (3,0) \times (3,5 \text{ l/hr}) = 39.984 \text{ l/hr} = 11,11 \text{ l/seg}$$

Estos caudales de diseño permitirán dimensionar los equipos y tuberías del sistema.

Como usted puede ver, ya tenemos dimensionado el sistema desde el punto de vista agronómico. Ahora interesa entregar conceptos hidráulicos para el cálculo de las tuberías (diámetro, longitud y calidad), presión que requiere el sistema y dimensionamiento del cabezal.

Bajo este concepto debe entenderse la realización de una serie de cálculos matemáticos que permiten definir la presión requerida por el sistema de riego. De esta forma deberá determinarse el diámetro y longitud de las tuberías, presión de operación de los emisores, pérdidas de energía por roce y singularidades, tamaño del cabezal, etc.

DISEÑO HIDRAULICO

¿Qué se entiende por presión de operación?

Esta corresponde a la presión de trabajo de los emisores del sistema de riego. Esto significa que el sistema tiene que operar con una presión tal que, luego de producirse las pérdidas de presión por conducción del agua, los goteros o emisores deben operar con la presión de trabajo que indican los fabricantes. Las presiones de operación de los emisores son específicas para cada tipo de ellos. A modo de ejemplo, en la TABLA 4 se indican los requerimientos de presión de algunos emisores utilizados.

EMISORES	PRESION OPERACION		CAUDAL l/hr
	m.c.a.	P.S.I.*	
Gotero Autorregulado (Netafim)	5-40	7,3-58,8	4,00
Microaspersores de puente Vinilit	20	29,4	35,00
Gotero línea Vinilit	5	7,3	3,00
	10	14,7	4,00
	15	22,0	4,80
Tubería RAM 17 (goteros insertados)	5-40	7,3-58,8	3,50
Tubería NAAN Tif (goteros insertados)	5-35	7,3-51,5	3,8
Aspersor NANN 5033/91	15	22,0	1.510,00

*P.S.I. = Libras por pulgada cuadrada

La unidad de medida de las presiones, comúnmente utilizada, es metros de columna de agua (m.c.a), cuyas equivalencias más importantes son:

$$1 \text{ atmósfera} = 10 \text{ m.c.a.} = 14,7 \text{ lb/pulg}^2 \\ 1 \text{ kg/cm}^2$$

¿Qué se entiende por pérdida de carga en una tubería?

Esta corresponde a la **pérdida de energía**, que experimenta el agua en su recorrido en el interior de la tubería, desde la entrada hasta el final de ella. El efecto de lo anterior provoca una disminución de la presión interna del sistema, produciéndose un diferencial de presión. Esta diferencia de presión es lo que se conoce como pérdida de carga.

La pérdida de carga en una conducción está estrechamente relacionada con el caudal conducido, diámetro, longitud y rugosidad de las tuberías (pérdidas por fricción).

Otro factor que afecta la presión son las pérdidas por singularidades, que son aquellas producidas por uniones, válvulas y fittings existentes.

En relación a las pérdidas por fricción, estas han sido determinadas y graficadas en tablas. En ellas se indican las pérdidas en función del diámetro y caudal conducido, tal como se muestra en las Figuras 6 y 7.

En la Figura 6, aparecen graficadas las pérdidas de carga para tuberías de Polietileno (P E), de 3 diámetros diferentes y distintos caudales. Por ejemplo si se desea conducir un caudal de 4 lt/min., en una tubería de P.E. de 16 mm de diámetro externo (13,448 mm de diámetro interno (línea del medio)), la pérdida de carga es equivalente a 3m. En 100 m. de longitud.

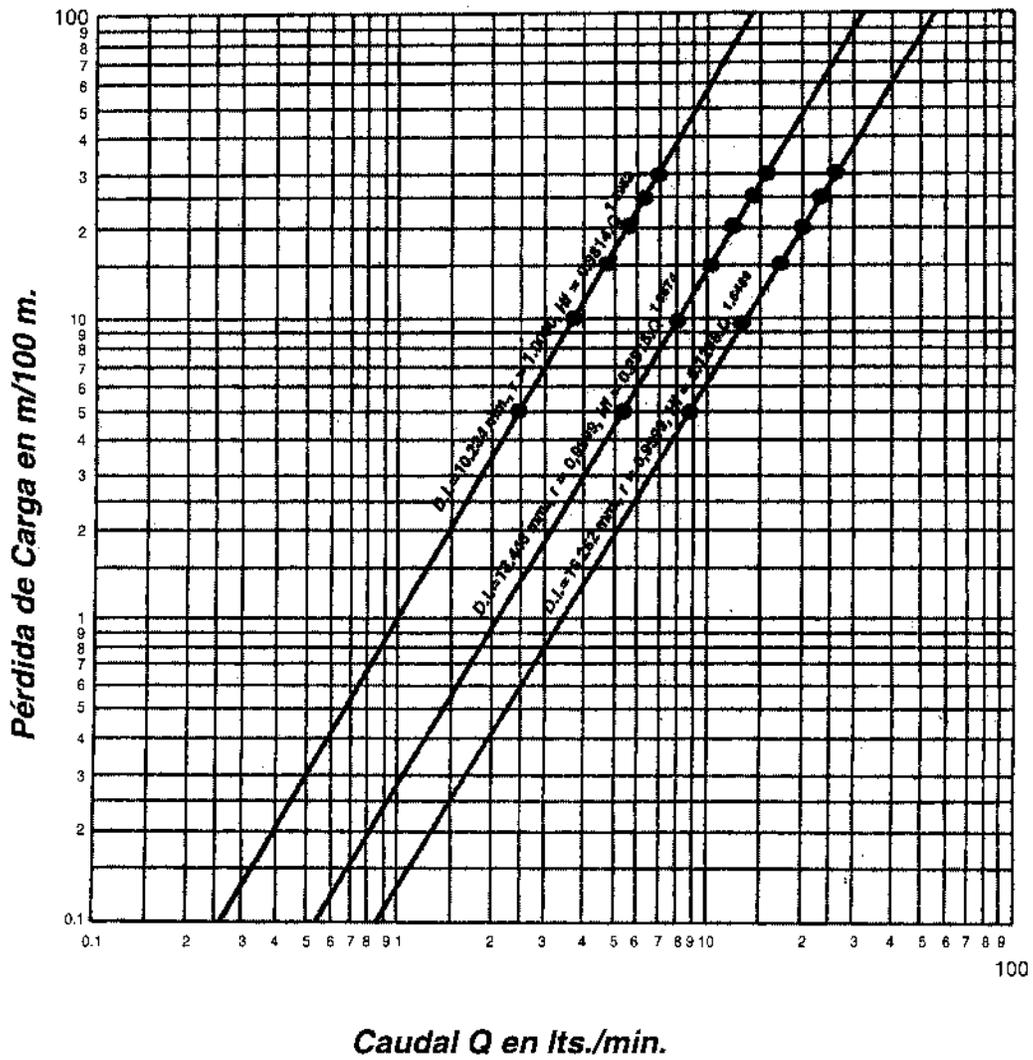


Figura 6. Pérdidas de carga en tuberías de polietileno de 3 diámetros diferentes para distintos caudales.

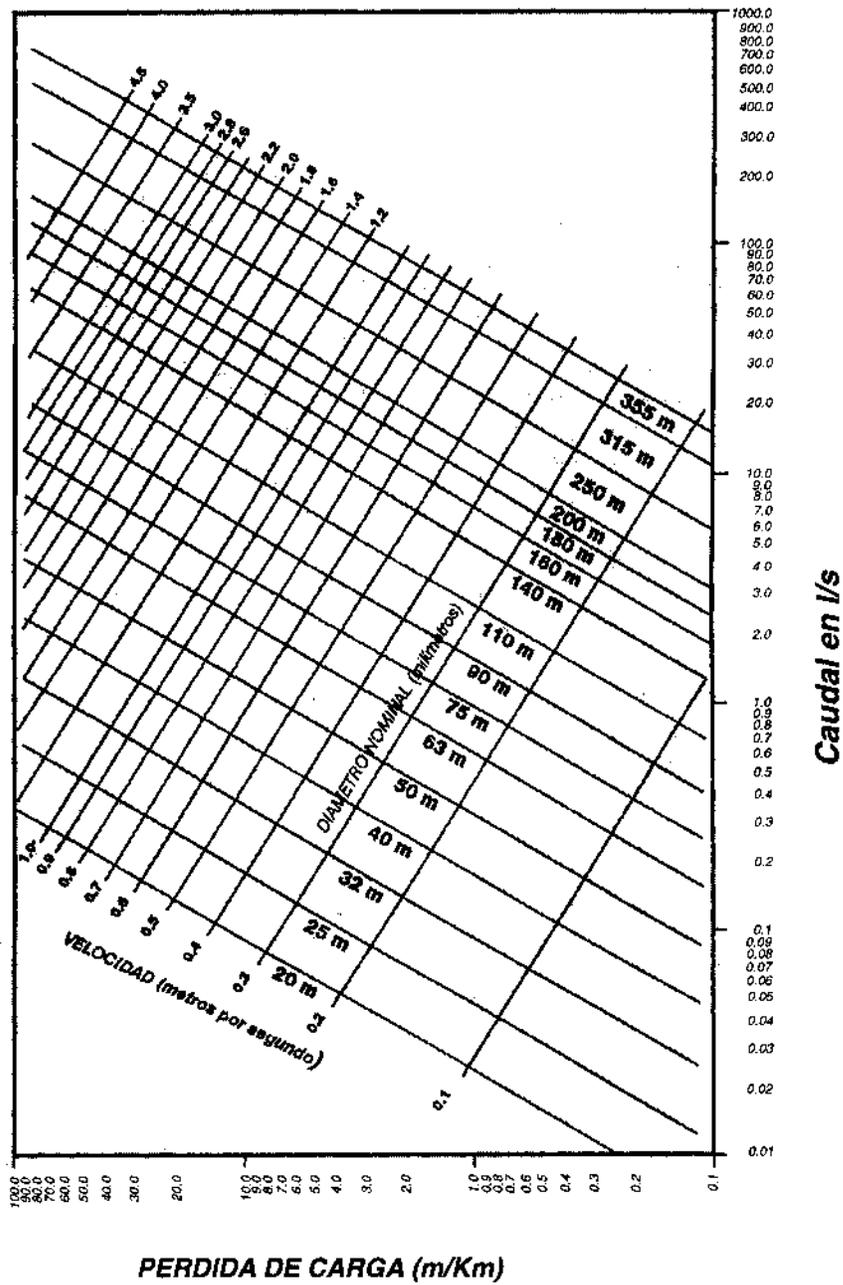


Figura.7. Pérdidas de carga en tuberías de PVC, clase 10 para distintos diámetros y caudales.

Para el caso de las tuberías de P.V.C., las pérdidas aparecen graficadas en la Figura 7, para 16 diámetros diferentes y distintos caudales.

Así por ejemplo si desea conducir un caudal de 2 lt/seg en una tubería de 75 mm de diámetro externo, C- 1 0, la pérdida de carga será igual a 5 m. Por Km ó 0,5 m. Por 100 m. La determinación del diámetro y longitud de estas tuberías de conducción, va a depender de la pérdida de carga permisible.

En el caso de accesorios-codos, válvulas, etc,- la pérdida de carga se determina a través de la siguiente fórmula:

$$DH = K \times V^2 / 2g$$

Donde:

DH = pérdida de carga del accesorio en metros.

K = Factor del accesorio

V = Velocidad del agua en m/seg

g = Aceleración de gravedad en m/seg²

Nota: En publicaciones especializadas se encuentran valores de K

¿Cómo se diseña una lateral de riego por goteo?

Una tubería lateral de riego por goteo es aquella que lleva insertados los goteros o emisores. Son normalmente de polietileno y se comercializan en diámetros de 12, 16 y 20 mm. Su diseño contempla la determinación del diámetro, longitud y pérdidas de carga. Para ello es necesario conocer. número de goteros y caudal de la lateral y pérdida de carga máxima permisible. Este último factor se prefija sobre la base de un porcentaje de la presión de operación (10 a 15%) y a partir de ese valor se calcula la longitud y diámetro necesario.

(mayores antecedentes se pueden revisar en texto especializado)

¿ Cómo se dimensionan las tuberías terciarias o múltiples?

De acuerdo a lo señalado en la Cartilla "Elementos de Riego Técnico", las tuberías Terciarias o Múltiples son aquellas que distribuyen el agua hacia las líneas laterales o portagoteros.

Al igual que las tuberías laterales, su dimensionamiento va a depender del., número de laterales que sirve, del caudal que conduce y de la pérdida de carga permisible. Dicha pérdida de carga se puede prefijar o bien establecer como criterio hacer equivalente la pérdida de carga al desnivel del terreno y a partir de ese valor se calcula la longitud y diámetro necesario. En este caso pueden combinarse dos y más diámetros, para lograr la pérdida de carga permisible (mayores antecedentes se pueden revisar en texto especializado).

¿Cómo se dimensionan las tuberías secundarias y matrices?

Tuberías secundarias son aquellas que suplen de agua a las terciarias o múltiples y la matriz o principal es aquella que inicia su recorrido en el cabezal y entrega el agua en la secundaria. Normalmente la tubería matriz se diseña con diámetros mayores.

Un criterio general para el dimensionamiento de ellas es aquel que indica que en su interior no se produzcan velocidades superiores a 1,5 m/seg., siendo práctica la fórmula siguiente para efectuar la estimación:

Donde:

$$D > \sqrt{0,236xQ}$$

Seleccionado el diámetro preciso se procede a calcular la pérdida de carga del tramo correspondiente, de acuerdo a lo señalado en punto anterior.

FINALMENTE ¿Cuál es la presión del sistema?

Para su determinación es necesario computar todas las pérdidas de carga que se producen desde la toma de agua hasta la entrega al terreno y sumarle la presión de operación que requiere el gotero o emisor para su normal funcionamiento. En la TABLA 5 se presenta un desglose de las pérdidas a considerar

Tabla 5. Presión y pérdidas de carga de un sistema de riego por goteo.

PRESION Y PERDIDA	SIMBOLO
<i>Presión de operación del gotero</i>	<i>Ho</i>
<i>Pérdida de carga en la tubería lateral</i>	<i>ΔHI</i>
<i>Pérdida de carga en la tubería terciaria</i>	<i>ΔHt</i>
<i>Pérdida de carga en la válvula del sector</i>	<i>ΔHv</i>
<i>Pérdida de carga en la tubería secundaria</i>	<i>ΔHs</i>
<i>Pérdida de carga en la tubería matriz</i>	<i>ΔHm</i>
<i>Pérdida de carga en accesorios (10-15% de las anteriores)</i>	<i>ΔHacc</i>
<i>Pérdida de carga en la cabezal</i>	<i>ΔHcab</i>
<i>Desnivel de bombeo</i>	<i>ΔZ</i>
<i>Reserva de presión</i>	<i>Hr</i>
<i>Presión total requerida (m.c.a.)</i>	<i>Hd</i>

Como ya se tiene el caudal de diseño y ahora se ha determinado la presión que requiere el sistema, es posible dimensionar el equipo de impulsión o bombeo.

¿ Cómo elegir y dimensionar los elementos del cabezal?

El dimensionamiento del cabezal debe considerar el diseño de cada uno de los elementos que lo componen:

- Filtros de grava o arena
- Filtros de malla
- Fertilizador
- Grupo motobomba

Sistema de filtraje: Básicamente el cabezal de filtraje depende de la calidad de agua y del tipo de emisor que se utilizará.

Si se desea regar con aguas con abundante materia orgánica en suspensión, el tipo de filtraje será diferente a aquel que utilice agua con arena en suspensión.

Por otro lado, si se tienen emisores del tipo goteros, cuyo orificio de salida de agua es muy pequeño, debe considerarse un filtraje más fino, si se compara con sistemas de filtraje para regar por aspersión, donde el diámetro de boquillas normalmente es superior a 1 mm.

En la TABLA 6, se presenta el tipo de filtraje recomendado según diferentes orígenes del agua de riego.

Tabla 6. Tipo de filtro recomendable según origen del agua.

TIPO DE FILTRO	ORIGEN DEL AGUA		
	Pozo	Estanque	Canal
Hidrociclón	X		
Gravas		X	X
Anillas	X	X(1)	X(1)
Malla	X	X	X

(1) Filtro de anillas puede reemplazar a filtro de gravas en el caso de bajos niveles de materia orgánica en el agua.

Normalmente, el cabezal de filtraje se compone de dos o más filtros, los cuales deben ser seleccionados de acuerdo al tipo de agua existente.

Por ejemplo, el agua de un pozo, la mayoría de las veces, acarrea arena, para lo cual es indispensable la utilización de un filtro especial denominado hidrociclón. Con esto se evita el desgaste del sistema de riego a causa del efecto abrasivo de la arena. En segundo lugar, y a continuación del hidrociclón se debe ubicar un filtro de gravas, anillas o malla, tomando en consideración lo anteriormente indicado. (ver Cartilla Elementos de Riego Tecnificado).

Es recomendable poner un sistema de filtraje fino para el caso de emisores del tipo goteo o cintas, siendo el tamiz o tamaño del filtrado muy pequeño. Lo utilizado normalmente en este caso son los filtros de malla o anillas de 120 a 140 mesh, asegurando con ello una retención de partículas groseras que pudieran obstruir los emisores. De esta manera se asegura una mayor vida útil del sistema de riego.

El dimensionado de los equipos debe considerar aspectos como caudal de diseño, tasa de filtraje, tamaño de orificios de filtraje; lo cual debe consultarse con algún especialista o bien al distribuidor de equipos de riego.

Equipo fertilizador. En cartilla Elementos de Riego Tecnificado se entregan antecedentes sobre las diferentes modalidades de equipos de fertilización. Se recomienda consultar catálogos y distribuidores de equipos para la selección del sistema más adecuado.

Grupo de impulsión. La selección del grupo de impulsión se realiza una vez que se ha determinado el caudal máximo de diseño, la presión de operación de emisores, las pérdidas de carga y el gradiente topográfico. Con estos antecedentes usted, puede proceder como se indica en la Cartilla Elementos de Riego Tecnificado.

AUTOMATIZACION

La automatización de un sistema de riego es considerada para aliviar labores de los operarios. Particular importancia la tiene cuando los turnos de riego son de más de 8 horas. Para el caso del método de riego por goteo, éste puede alcanzar las 24 horas de riego diario.

Los equipos de automatización de riego, están formados principalmente por válvulas hidráulicas accionadas a control remoto mediante impulsos hidráulicos, o eléctricos o por ondas de radio.

El "cerebro" de la automatización es el programador (computador) de riego

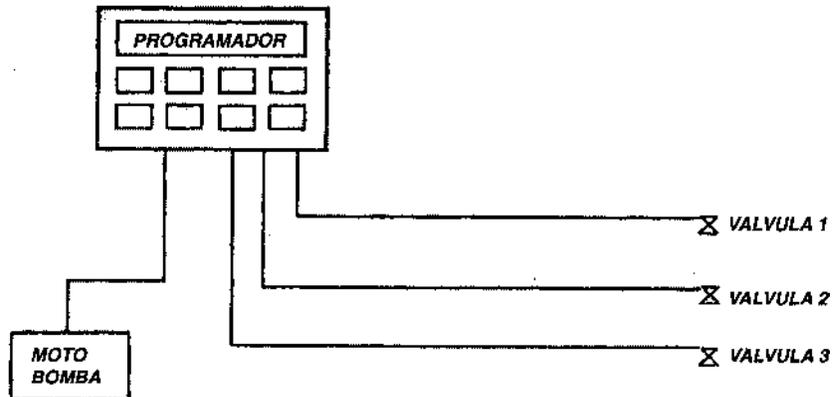


Figura 8. Componentes de un sistema de automatización

el cual corresponde a un pequeño equipo electrónico, capaz de almacenar programas de irrigación y sectores de riego sin que sea necesario que un operador accione las válvulas sectoriales.

En la Figura 8, se muestra los componentes de un sistema de automatización controlado por un programador.

¿Cómo se debe manejar el equipo de riego?

Para que un sistema de riego presurizado sea eficiente, independientemente de que sus elementos hidráulicos sean los adecuados, la operación del mismo debe responder a los requerimientos de agua del cultivo, lo cual obliga a ceñirse a ciertas pautas y en el tiempo efectuar un mantenimiento y limpieza del sistema.

¿Cuánto tiempo y con qué frecuencia se debe regar?

El tiempo de Riego, como se vio al inicio, depende del cultivo y de las condiciones climáticas en que se encuentre éste, pudiéndose calcular los Tiempos de Riego Diario (TR.D) para cualquier condición del cultivo, siguiéndose la metodología explicada anteriormente.

Para ello es necesario disponer de la siguiente información:

- EB** = Evaporación de bandeja en mm/día
- Kp** = Coeficiente de la bandeja
- Kc** = Coeficiente del cultivo para diferentes etapas de desarrollo
- M.P** = Marco de plantación en m.xm.
- P.C.** = Porcentaje de cubrimiento según etapas de desarrollo del cultivo.
- Ef** = Eficiencia del sistema en %
- n.g.** = Número de goteros por planta
- q.g.** = Caudal de gotero en lt/hora

Todos estos factores pueden relacionarse en la siguiente expresión, para calcular el TR.D.:

$$\text{T.R.D.} = \frac{\text{EB} \times \text{Kp} \times \text{Kcx} \times \text{M.P} \times \text{PC.}}{\text{n.g.} \times \text{qg.} \times \text{Ef} \times 100} \text{ (horas)}$$

Su mayor problema podría ser la obtención de la EB. En ese caso lo más recomendable es que usted adquiera una bandeja de evaporación y la maneje en el predio y de esa forma genere su propia información.

Con esta metodología, diariamente se repone el agua consumida por la planta el día anterior, considerándose al suelo como una fuente de almacenaje transitoria.

De esta forma se trata de mantener una humedad constante del suelo, cercana a la Capacidad de Campo; es decir, la planta se desarrolla en un ambiente óptimo de humedad, sin sufrir estrés hídrico, dándose las condiciones para que exprese su máximo potencial de producción.

Tabla 7. Calendario de tiempos de riego diario para un parronal adulto (M. Austria), plantado a 3x3 metros, con tres goteros de 4 l/hr por planta, considerando diferentes períodos fenológicos.

EST. DESARROLLO	TIEMPO DE RIEGO (MINUTOS)											
	MILIMETROS EVAPORADOS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
YEMA HINCHADA	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1
PUNTAS VERDES	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1
INICIO BROTAION	-	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4	5
BROTAION*	4	7	11	14	18	22	25	29	32	36	40	43
INICIO FLORACION*	8	16	24	32	41	49	57	65	73	81	89	97
PLENA FLOR	12	24	36	48	61	73	85	97	109	121	133	145
CUAJA	14	29	43	58	72	86	101	115	130	144	158	173
CRECIMIENTO GRANO	22	45	67	90	112	134	157	179	202	224	246	269
PINTA	28	56	84	112	140	168	196	224	252	280	308	336
MADUREZ	27	54	81	108	135	162	189	216	243	270	297	324
COSECHA	22	45	67	90	112	134	157	179	202	224	246	269
POST COSECHA	14	29	43	58	72	86	101	115	130	144	158	173
INICIO CAIDA HOJAS	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110	121	132

Nota : Para el cálculo de la tabla se consideraron los siguientes valores: Kp = 0,8 Kc = variable según tabla 2-P C., variable (10 a 90%)-Ef. = 90%

Si no desea hacer cálculos, a modo referencial puede utilizarse la información que se indica en la TABLA 7, que presenta los Tiempos de Riego Diarios para un cultivo de parronal de años de edad, plantado a una distancia de 3 x 3 metros, con tres gotero por planta de 4 l/hr cada uno.

El calendario de riego, indicado en la TABLA 7, puede ser confeccionado para cada cultivo en particular, considerando los aspectos enunciados en los capítulos anteriores.

El manejo del calendario es bastante simple, requiriendo sólo de información de bandeja, la que debe ser tomada diariamente por el agricultor. El conocimiento de los estados de desarrollo es de fácil determinación, lo que se hace con una simple observación visual del cultivo.

Para obtener el tiempo de riego, entregado en minutos, se debe tener la lectura de la evaporación y enfrentarla en la columna de los estados de desarrollo correspondiente. En el punto de intersección entre las filas y columna se encontrará el tiempo de riego correspondiente.

¿Cómo verifico que el sistema está funcionando con la presión de operación indicada?

Un aspecto importante en el manejo del equipo es verificar si se dispone de la presión de operación predeterminada, puesto que ello garantiza que los emisores tengan una presión de funcionamiento igual a la establecida por el fabricante, lo que permitirá contar con el caudal estandar de los emisores.

Si un emisor fue diseñado para trabajar a una presión de operación e 10 m.c.a. y entregar un caudal de 4 l/hr, usted debe verificar en terreno que así suceda, o de lo contrario algunas plantas estarán recibiendo más agua y otras mucho menos, lo que provocará un crecimiento y desarrollo disparejo.

De ser mayor la presión de operación, el caudal será mayor lo que provocaría problemas hídricos en las plantas por exceso de agua. Por el contrario, si la presión es inferior, el caudal será menor a los 4 l/hr, produciéndose estrés hídrico en las plantas. Esto es particularmente importante en emisores no compensados.

Los emisores autocompensados presentan rangos de operación de mayor amplitud, los que oscilan entre los 5 m.c.a. a más de 20 m.c.a. Esto permite un cierto margen de variación en las presiones de operación del sistema.

En resumen es recomendable que con la ayuda de un manómetro (instrumento para medir presión), usted, verifique en diferentes puntos del sistema la presión existente y con un vaso graduado mida el caudal de los goteros.

Si existe algún problema de presión y caudal revise el sistema y localice la posible falla.

¿ Qué labores de mantención deben realizarse?

La mantención de los equipos de riego es fundamental para la duración de los elementos de riego que componen el sistema.

Una buena mantención debe considerar observaciones periódicas del sistema, de manera de detectar con anticipación cualquier problema y tratarlo en forma oportuna. A lo menos una vez al año se debe revisar todo el equipo y realizar una limpieza a fondo de filtros, tuberías y emisores.

Para lo anterior, se debe tener las siguientes consideraciones:

Equipo Impulsor. Se debe verificar que la presión generada sea la que se indica en el catálogo; de no ser así y la presión es inferior, implicaría un problema en el rodete de la bomba, el cual habría que revisar y proceder a su reemplazo si fuese necesario. En el sistema de transmisión de la motobomba, se debe verificar el correcto funcionamiento de rodamientos. De existir ruidos extraños se debe proceder al cambio de ellos.

Equipos de filtraje. Estos se deben destapar al menos una vez al año, revisando el desgaste interno de las paredes y proceder a su limpieza y pintado con pinturas epóxicas.

La arena se debe revisar y comprobar si aún los granos presentan aristas. Si sus cantos se encuentran redondeados, se debe proceder a reemplazar la arena por otra nueva.

Revisar permanentemente los manómetros situados antes y después de filtros, los que deben dar una diferencia de 1 a 3 m. c. a. De ser mayor, indica que los filtros están taponeados (sucios), debiéndose realizar un cuidadoso y profundo retrolavado.

Válvulas. Las válvulas eléctricas se deben revisar periódicamente, limpiando sus orificios y membranas.

Tuberías y goteros. La limpieza interna de las tuberías se realiza inyectando ácido sulfúrico o ácido fosfórico en soluciones al 10%. Se debe lograr una concentración del ácido dentro del sistema de 1 a 2%. Ello se puede corroborar

midiendo el pH del agua a salida de los goteros, utilizando un papel especial (papel pH), el que debe indicar niveles de 2 a 3. Esta limpieza debe ser hecha a baja presión y la solución mantenerla durante 12 horas en el sistema. Posteriormente se realizan lavados a presiones elevadas, lo que se logra al parcializar los sectores de riego con la bomba a plena capacidad, dejando sólo gran parte de caudal por un menor número de tubería o laterales.

Esta misma operación se debe hacer al realizar lavados con hipoclorito de sodio para eliminar algas del sistema. Aquí, las cantidades deben estar en el rango de 0,5 y 1,2 litros por hectárea. Su concentración debe ser del 10%. Con esto se logra la limpieza, tanto en tuberías como en goteros.

¿Se puede evaluar el funcionamiento del sistema?

Siempre es necesario comprobar, si realmente se está cumpliendo con lo proyectado, en cuanto a los caudales de agua que entregan los emisores y las presiones de operación.

Para lo anterior, se deben hacer evaluaciones al menos dos veces al año de aforo de emisores. Esto consiste en determinar cuantos litros por hora está entregando un gotero, microjet, cinta, etc. Estos valores deben coincidir con lo indicado en los catálogos de los emisores.

En textos especializados usted encontrará fórmulas para determinar la eficiencia con que está operando su sistema.

Si existe problemas en relación a los caudales, esto se puede deber a obturaciones de ellos o a una diferencia de presión del sistema.

Para pesquisar esto último, se recomienda revisar los manómetros de filtros. Comprobar la presión de operación en el sistema, a través del recorrido de las tuberías, hasta llegar a laterales. Ello debe coincidir con las presiones indicadas en el plano de diseño del riego.

Siguiendo todas estas indicaciones, se obtendrá el mayor beneficio del método de riego y se podrá garantizar una larga vida útil del sistema, siendo lo normal entre 8 y 10 años, para la mayoría de sus elementos.

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

Comisión Nacional de Riego y CIREN. 1996. Manual de obras de riego. Publicación CIREN N°111, Santiago, Chile, 346 p.

Medina, J.A. 1985.

Riego por goteo, teoría y práctica. Ed. Mundi Prensa, Madrid, España, 216 p.

Osorio, A. 1996.

Riego por goteo. Conceptos y Criterios de diseño. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación INTIHUASI, Serie INTIHUASI N° 18, 158 p.

Osorio, A. Y Tapia, F 1995.

Métodos de riego tecnificados para el Valle del Huasco. Proyecto validación de tecnologías de riego en el Valle del Huasco. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y comisión Nacional de Riego. Cartilla Divulgativa N°2, 16 p.

Pizarro, E 1987.

Riego localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación. Ed. Mundi Prensa, Madrid, España, 459 p.

Publicaciones de Riego y Drenaje :

- Manual de Obras Menores de Riego 1996
- Elementos de Riego Tecnificado
- Conceptos Sobre Diseño y Manejo de Riego Presurizado
- Experiencias en Captación y Utilización de Agua en el Secano de la VII Región, Provincia de Cauquenes.
- Riego en Viñas
- Agronomía en Suelos con Obras de Drenaje
- Técnicas de Drenaje para el Sur de Chile
- Diagnóstico y Consecuencias del Mal Drenaje en el Sur de Chile
- Normas Técnicas para la Construcción de Obras de Drenaje Superficial
- Aprovechando las Ventajas de la Ley de Riego: Texto Integral y Reglamento
- Aprovechando las Ventajas de la Ley de Riego: Beneficios de la Ley 18.450
- Aprovechando las Ventajas de la Ley de Riego: Antecedentes de Postulación
- Aprovechando las Ventajas de la Ley de Riego: Fiscalización de las Obras
- Técnicas y Materiales de Construcción
- Sistemas de Impulsión
- Necesidades de Agua de los Cultivos
- Evaluación de Fuentes de Agua
- Manual de Fertirrigación

COMISION NACIONAL DE RIEGO

Teatinos 50, pisos 4 y 5

Teléfono 2-6728679

Fax 2-6716939

Casilla 424-V. Correo 21

Correo electrónico: cnr@entelchile.net

Santiago

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACION INTIHUASI

Colina San Joaquín s/n°

Apartado Postal 36-B

Teléfono 51-223290

Fax 51-227060

Correo electrónico: info@intihuasi.inia.cl.

La Serena