



Ministerio de
**Agricultura,
Ganadería
DE COSTA RICA**



Gestión integral del recurso hídrico en un sistema productivo

Tema:

Sistemas de riego por goteo

FICHAS TÉCNICAS

Proyecto:

**Creación de capacidades para la adaptación al cambio
climático en sistemas agropecuarios en Costa Rica**

Ing. Juan Carlos Valverde Conejo

San José, Costa Rica. 2022.



Ministerio de
Agricultura,
Ganadería
DE COSTA RICA



Gestión integral del recurso hídrico en un sistema productivo

Tema: **Sistemas de riego por goteo**

FICHAS TÉCNICAS



Proyecto:
**Creación de capacidades para la adaptación al cambio
climático en sistemas agropecuarios en Costa Rica**

Ing. Juan Carlos Valverde Conejo

San José, Costa Rica. 2022.

INTRODUCCIÓN

El agua se puede considerar un recurso escaso, considerando que tan solo un 0,1 % del agua del planeta es aprovechable para consumo humano y para los procesos productivos, pero su uso se ve limitado por tres aspectos fundamentales: la contaminación, la sobreexplotación y la alteración del ciclo hidrológico; dada esta situación, han surgido una serie de acciones tendientes a buscar la forma de hacerle frente a esa amenaza, entre ellas una muy importante es el uso racional que se le pueda dar en los sistemas agro productivos.

La presencia de estaciones climáticas bien definidas, en donde la lluvia es escasa durante prolongados períodos de tiempo, obliga a la utilización de métodos de riego desde épocas antiguas, cuyo mal manejo ha provocado problemas de degradación de suelos y un inadecuado desarrollo de las plantaciones.

En las circunstancias actuales, la necesidad de riego y la disponibilidad del agua son cada vez más críticas, de ahí la importancia de identificar, validar y transferir técnicas y métodos de riego que contribuyan a su conservación, máxime que como factor de producción es vital para la seguridad alimentaria.

En Costa Rica, específicamente en la Región Chorotega, el Pacífico Central y la Región Central, la época seca se prolonga de diciembre a abril y la lluviosa de mayo a noviembre con la presencia de un período de escasez de lluvias bien definido conocido como veranillo; en el resto del país, el comportamiento varía siendo la época lluviosa más prolongada, pero en muchas ocasiones se pueden presentar períodos de escasez de lluvia bastante significativos.

En la Figura 1 se aprecia el comportamiento de las lluvias en Atenas, Región Central, en donde se observa una época bien definida de escasez de lluvias que se prolonga de diciembre a abril y la época lluviosa de mayo a noviembre, con la presencia de un veranillo en junio-julio.

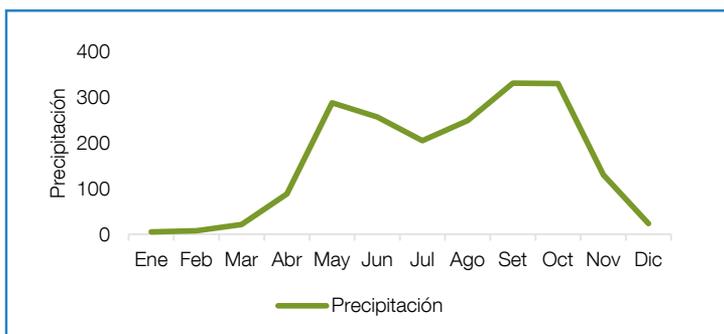


Figura 1. Gráfico de precipitación de Estación climática en Atenas, Alajuela, Costa Rica. 2020

La presencia de esos períodos secos limita ampliamente la actividad agropecuaria, por lo que es de suma importancia establecer proyectos de riego en determinadas regiones que reúnan las condiciones óptimas para organizar planes de cultivo, tarea que ha sido asignada por ley al SENARA y que también desarrolla la empresa privada.

El método de riego prevaleciente es el riego por gravedad y sus diferentes modalidades: surcos rectos y al contorno, melgas rectas y al contorno, principalmente en el Distrito Arenal en Cañas, Guanacaste; pero en los últimos años han tomado mucho auge los métodos presurizados como riego por aspersión y recientemente se han difundido bastante los riegos localizados, específicamente el riego por goteo, que se caracteriza por su alta eficiencia.

Dados los efectos derivados de la alteración del ciclo hidrológico, se presentan regiones con escasa precipitación que limita significativamente la producción agrícola, lo que favorece la utilización de sistemas de riego altamente eficientes, como el goteo.

Su desarrollo ha sido vertiginoso a nivel mundial, en donde se encuentran países cuya producción depende de su uso y en donde la tecnología está tan desarrollada que prácticamente todas las fases de producción están completamente automatizadas.

1. Concepto

Consiste en la aplicación diaria del agua en forma de gotas continuas, en la cantidad requerida según el resultado obtenido en el cálculo de la ETp, (Evapotranspiración potencial) en el área cubierta por las raíces, formando un bulbo húmedo cuya distribución depende de la textura del suelo y del caudal utilizado principalmente. Cuando son cultivos de alta densidad como el culantro y la lechuga, se forma una hilera húmeda, pero dicha humedad no debe alcanzar el entresurco. Si se trata de frutales, se instalan varios emisores de caudales altos, del orden de 8 lph o más, que establecen un bulbo húmedo en el área dominada por las raíces.

Debido a que los emisores están conformados por agujeros muy pequeños, es de vital importancia el uso de filtros con rangos mayores de 120 mesh, (Nº de hilos por pulgada lineal), para evitar problemas de obstrucción.

En la Figura 2 se aprecia la hilera húmeda formada cuando se termina el riego.



Figura 2. El bulbo húmedo se traslapa y forma una hilera húmeda. Alajuela, Costa Rica, 2020.

2. Características

El riego por goteo se caracteriza porque requiere de bajas presiones para operar, en un rango de 5 a 10 m, la eficiencia es sumamente alta, superior al 90 %, y se aplica solamente el agua que se evapotranspira diariamente, según el resultado de aplicar alguna fórmula empírica como Hargreaves o Blanney Criddle, afectada por el coeficiente K_c del cultivo.

El suelo no se considera un almacén de agua como en los otros sistemas de riego, sino solamente como un sustrato, de manera que se puede usar con cualquier tipo de material que sirva de sostén a la planta.

Sus características principales son: se humedece solamente una porción del suelo, los caudales utilizados son pequeños y la aplicación del agua se hace con una alta frecuencia, normalmente en forma diaria.

3. Componentes

Un sistema de riego localizado está conformado básicamente por los siguientes elementos:

- **Cabezal:** accesorios que sirven para medir, filtrar, verificar presión e inyector de fertilizantes.
- **Red de distribución:** sirve para llevar el agua desde el cabezal hasta la plantación por medio de la red primaria y de distribución o secundaria, a partir de la cual se desprenden los laterales que distribuyen el agua a las plantas por medio de los emisores.
- **Emisores:** se encuentran en los laterales y son los que entregan el agua a las plantas.

En la Figura 3 se aprecian los componentes principales de un sistema de riego por goteo.

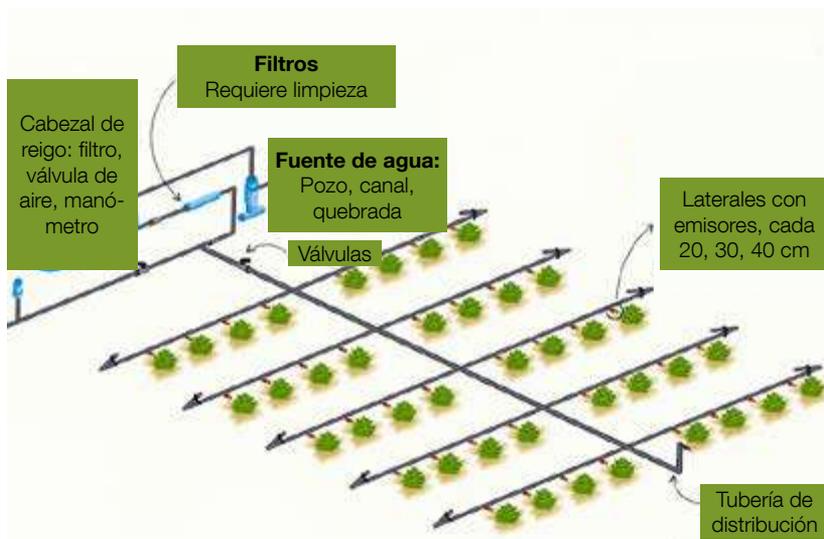


Figura 3. Componentes principales de un sistema de riego por goteo.

Fuente: Gestiriego, 2016.

4. Ventajas y desventajas

Ventajas:

- Uso racional del agua.
- Alta uniformidad de riego.
- Aumento de la eficiencia de los fertilizantes pues se aplican con el agua de riego.
- Facilita labores agrícolas por ausencia de humedad en la entrecalle.
- Disminuye mano de obra.
- Menor incidencia de plantas innecesarias.
- Aumento del rendimiento y calidad de los productos.
- Requiere presiones muy bajas del orden de 5 a 10 m

Desventajas:

- Riesgo de salinización por mal manejo del agua.
- Revisión constante del sistema.
- Inversión inicial es alta, pero luego se mantiene a niveles bajos.
- Requiere alguna especialización del personal encargado.
- Cualquier desperfecto debe ser reparado inmediatamente.

5. Diseño agronómico

El diseño agronómico consiste en determinar los parámetros requeridos para que el manejo del riego a nivel de parcela satisfaga las necesidades de los cultivos en todas sus etapas, considerando la dosis, frecuencia y duración del riego, según número de goteros y caudal.

Para ello se deben determinar una serie de parámetros a nivel de campo, que, en su ausencia, se utilizan fórmulas o tablas con información que se ha recopilado durante muchos años, a saber:

Superficie que abarca cada emisor o gotero

Se refiere a la distribución del agua del emisor en el suelo, que depende directamente de su textura. Normalmente es un dato que se obtiene de tablas elaboradas por diferentes autores, aunque en muchos distritos de riego tienen una unidad de investigación encargada de su determinación. También se pueden utilizar unas fórmulas como se indica en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Fórmula para calcular el diámetro cubierto por emisor según caudal y textura.

Textura	Diámetro en m
Arcillosa	$1,2 + 0,1 q$
Media	$0,7 + 0,11 q$
Arenosa	$0,3 + 0,12 q$

q: caudal en l/h

Fuente: Fuentes, 1998.

También se han elaborado tablas como la del Cuadro 2, que considera textura y grados de estratificación del suelo, para un caudal específico de 4 l/h.

Cuadro 2. Diámetro de mojado para emisores de 4 l/h según grados de estratificación y textura, a 0,80 m de profundidad.

Textura	Niveles de estratificación		
	Homogéneo	Estratificado	Capas
Diámetro mojado en m			
Arenosa	0,50	0,80	1,10
Media	1,00	1,25	1,70
Arcillosa	1,10	1,70	2,00

Fuente: López, JR. 2003.

Porcentaje de superficie mojada P.

Se refiere a la relación porcentual entre el área mojada por los emisores y el área total cubierta por la planta, para satisfacer un mínimo de superficie mojada que permita el desarrollo normal de las raíces. Se expresa por medio de la siguiente fórmula:

$$P = 100 \times \frac{\text{área mojada por emisores}}{\text{área ocupada por planta}}$$

Área en m²

Pero a nivel práctico se utilizan valores de P recomendados según la densidad de los cultivos como se indica en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Valores recomendados de P según densidad de cultivos.

Densidad de siembra	P porcentaje de superficie mojada	
Densidad baja	25	35
Densidad media	40	60
Hortalizas	70	90

Fuente: López, 2003.

Profundidad del bulbo húmedo

Debe estar comprendida entre el 90% y el 120% de la profundidad de raíces.

Nº de goteros por planta

Nº goteros: $P \times (Sp / 100) \times A_{me}$

Donde:

P: porcentaje de superficie mojada

Sp: Superficie ocupada por planta

A_{me} : Área mojada por emisor

Una forma práctica sería a priori escoger goteros de un Q alto (8 L/hr), conociendo la DB por árbol y dividiendo. Se ajusta con el tiempo de riego.

Necesidades totales de agua

Para su cálculo se debe determinar la evapotranspiración real diaria, a partir de la evapotranspiración de referencia (ET_0), aplicando alguna de las fórmulas existentes, siendo la de Hargreaves la más usada, pues considera datos de temperatura *máxima y mínima, presentes en la mayoría de* las estaciones climáticas y la radiación solar extraterrestre, obtenida de tablas. Dicha evapotranspiración se afecta por el coeficiente de cultivo K_c promedio.

La fórmula de la ET_0 es:

$$0.0023 * Ra (T_m + 17.78) * \sqrt{TD}$$

Donde:

ET_0 : evapotranspiración de referencia en mm diarios

Ra: radiación extraterrestre en mm diarios

T_m : temperatura media

\sqrt{TD} : raíz cuadrada de la diferencia entre temperatura máxima y mínima

De manera que:

$$ET_{\text{real diaria}} = ET_0 \times K_c$$

Entonces la lámina de riego a aplicar, considerando el % de área a regar P sería:

$$L_r = ET_{\text{real}} \times P$$

Siendo entonces la lámina bruta, la L_r dividido por la eficiencia:

$$L_b = L_r / \text{Efic. \%}$$

Las necesidades totales serían:

$$N_t: L_b \times \text{marco de siembra}$$

L_b : lámina bruta

Tiempo de riego

$$T_r: N_t \times l / N^{\circ}_{em} \times q_e$$

Donde:

N_t : Necesidades totales de agua, l/planta

l : Intervalo de riego

N°_{em} : Número emisores por planta

q_e : Caudal por emisor, L/h

Caudal requerido

Es el caudal necesario para regar el área sembrada.

$$Q(\text{m}^3/\text{h}) = 10 \times \frac{(A \times L_b)}{(N \times T_r)} \text{ o también, } Q(\text{lps}) = 2,78 [(A \times L_b) / (N \times T_r)]$$

Donde:

A : ha

N : Número de sectores

L_b : Lámina bruta en mm

T_r : Tiempo de riego en h

6. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico se refiere a la determinación de los diámetros de las tuberías de conducción y distribución a utilizar, para lo cual se requiere estimar las eficiencias del sistema, que dependen de tres factores: manejo del riego (pérdidas de carga, caudal, etc), mantenimiento del sistema y el coeficiente de uniformidad.

Para determinar las pérdidas de carga se utilizan varias fórmulas, aunque la más usada es la de Hazen-Williams, a partir de la cual se calculan los diámetros requeridos.

$$H_f = 1,131 * 10^9 * (Q/C)^{1,852} * D^{-4,877} * L * F$$

En donde:

H_f: pérdidas de carga en m.

Q: caudal en m³ por hora

C: coeficiente de Hazen Williams, según material de la tubería

D: diámetro interno de la tubería en mm

L: longitud de la tubería en m

F: factor de Christiansen, depende del n° de salidas, usado solo en laterales y tubería de distribución.

La incógnita consiste en determinar el diámetro de la tubería a utilizar, el cual se estima conociendo la máxima pérdida de carga que se puede dar en la tubería y despejando D:

Despejando el diámetro:

$$D = \left[\frac{1,131 * 10^9}{h_f} * (Q/C)^{1,852} * L \right]^{0,2052}$$

Despejando el caudal

$$Q = \left[\frac{H_f * C^{1,852} * D^{4,871}}{1,131 * 10^9 * L} * (Q/C)^{1,852} * L \right]^{0,5399}$$

Los laterales son las mangueras o cintas que llevan el agua proveniente de las tuberías de distribución a los emisores o goteros. Son de polietileno PE con emisores incorporados o de inserción, o cintas de

goteo con emisores incorporados cada cierta distancia desde 15 hasta 40 cm. El diámetro de los laterales oscila de 12 hasta 20 mm y trabajan con presiones nominales de 5 a 10 mca (metros columna de agua).

La tubería de distribución es la que distribuye el agua a los laterales.

Ejemplo:

A. Realizar el diseño agronómico e hidráulico para una plantación de aguacate de 1 ha, con los datos que se adjuntan.

Croquis plantación de aguacate con riego por goteo

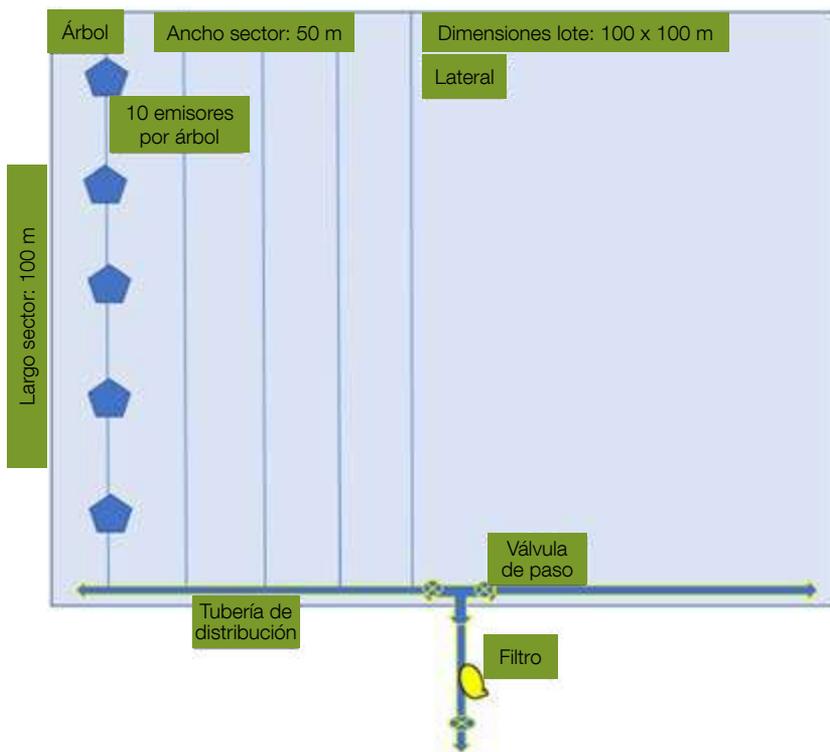
Área: 100 x 100 m

Sectores: Dos de 100 x 50 m

Cinco laterales por sector

10 árboles por lateral

Marco de siembra: 10 x 10



Datos				
Cultivo	Aguacate		% área bajo riego PAR	35
Profundidad raíces cm	50		Area ha	1
Coefficiente cultivo Kc	0.7		Horas de riego	7
Dimensiones sector m	100	50	Presión de operación m	15
Marco siembra m	10	10	%eficiencia	90
N° árboles / lateral de riego	10		Densidad aparente g/cm ³	0,9
ETp diaria mm	5.9		Textura suelo	F
Longitud tubería principal m	18			

DISEÑO AGRONOMICO		Observaciones
Cálculos		
ETp real mm/día	4.13	Etp x Kc
ETp goteo mm/día	1.4	Etreal x PAR
Lámina neta riego LN mm	1.4	Etp goteo x IR
Lámina bruta riego LB mm	1.61	LN/ efíc.
Dosis bruta árbol L/día	161	LB x Marco siembra
		Se instala una manguera alrededor del árbol con 10 goteros con Q de 5 L/hr
Tiempo de riego TR hrs	3.2	DB / (N° got. X Q)
Intervalo de riego IR días	1	
N° de sectores de riego	2	IR x (Hrs riego/ TR. Se riegan en 1 día
Caudal necesario L/s	0.65	10 x Aha x LB x 1000/ TR x sectores x 3600
Area de cada sector m ²	4590	
N° laterales por sector	5	Long lat./ separac
N° goteros por lateral	100	N° arboles * N° goteros
Caudal por lateral L/hr	500	N° goter x Q gotero / 1000
Caudal por sector L/hr	2500	Q lateral * N° laterales

DISEÑO HIDRAULICO		Observaciones
Pérdida máxima permisible en lateral 20 % de la presión de operación de 15 m Se usa diámetro de 20 mm	3	
Pérdida de carga lateral m	0.31	$H_f = 1,131 * 10^9 * (Q/C)^{1,852} * D^{-4,877} * L * F$ Tubería con 100 salidas para un $F= 0.356$
Cálculo del diámetro distribución mm	38	Ver fórmula
Pérdida línea distribución m	0.6	Tubería con 5 salidas para un $F= 0.457$
Cálculo del diámetro de la tubería principal mm	38	
Cálculo potencia de la bomba HP	1 HP	$Q_{req.} * CDT / 76 * 0.65$ CDT: suma de pérdidas más presión de operación; se asume de 60 m.

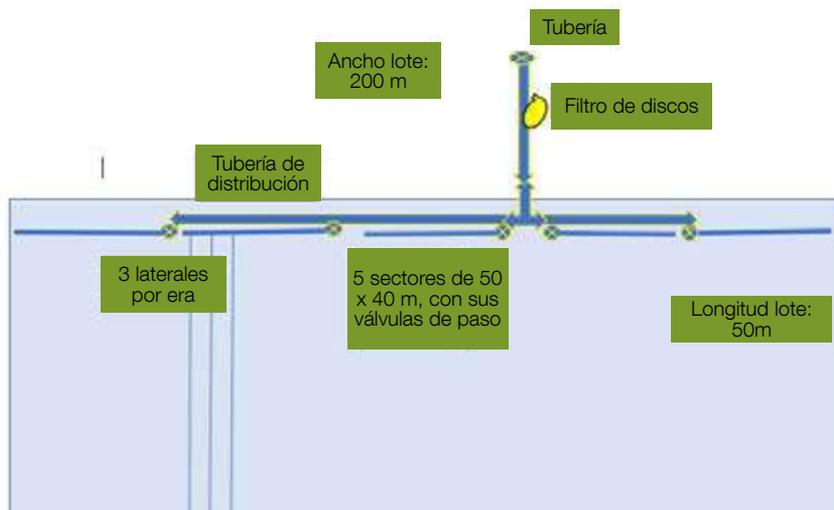
B. Realizar el diseño agronómico e hidráulico para una plantación de cebolla de 1 ha, con los datos que se adjuntan.

Croquis plantación de cebolla con riego por goteo

Sectores: Cinco de 50 x 40 m

100 laterales por sector

Área: 100 x 100 m



Datos			
Cultivo	cebolla	Eficiencia %	90
Profundidad raíces cm	30	Hrs de riego	3
Coeficiente de cultivo Kc	0,8	PAR %	90
Separación/goteros/lateral	0,2 x 1	Area ha	1
Densidad de siembra	0,2 x 0,2	Intervalo riego días IR	1
Nº emisores/planta(aprox.)	1	Dimensiones del lote	200 x 50
Se colocan 2 laterales por era de 90 cm de ancho		Presión de operación m	15
ETp mm	5,2	Sector L x A m	50 x 40
Velocidad infiltración VI mm/h	20	Longitud tubería principal m	120

Cálculos		Observaciones	
Diseño agronómico			
ETp mm/día	3,9		Etp x Kc
ETp goteo mm/día	3,5		Etreal x PAR
LN riego mm	3,5		Etp goteo x IR
LB riego mm	3,9		LN/ efíc.
		Se utiliza cinta de goteo con goteros cada 0,20 m y caudal de 1,6 Lph	
Tiempo de riego hr	0,57		DB x Sep. Goteros x sep. laterales / (Nº got. X Q)
Intensidad aplicación mm/hr	7	Es menor de 20 mm/hr, se acepta	Q / (Sep. Goteros x sep. Laterales)
Ciclo de riego días	1		
Nº sectores de riego N	5		IR x hrs riego / TR
Caudal requerido Lps	3,9		10x Aha x LB x1000 / TRx N x 3600
Area de cada sector ha	0,2		
Nº laterales/sector	40		
Nº goteros/ lateral	250		Long lat./ sep. goteros
Caudal / lateral m³/h	0,35		Nº goter x q got/1000
Caudal / sector m³/h	14	3,9 Lps	Q lateral * Nº laterales

Diseño hidráulico			
Pérdida máxima permisible mca (metros columna de agua)	3		
Pérdida carga lateral m	0,71	Cinta de 16 mm	$H_f = 1,131 * 10^9 * (Q/C)^{1,852} * D^{-4,977} * L * F$
Q/C	0,003		
Caudal transportado por lateral con 250 salidas.		F= 0,353	
Pérdida carga línea distribución m	0,2		
Q/C	0,114		
Caudal transportado por tubería con 40 salidas		F= 0,363	
Cálculo diámetro línea distribución mm	63	Se usa la fórmula de Hazen Williams, con tubería de polietileno PE y pérdida de carga en línea distribución	Ver fórmula
Cálculo diámetro tubería principal mm	63		
Pérdida carga tubería principal m	0,8		
Bomba HP	3	En 3 hrs se riegan los 5 sectores, de manera que se puede aumentar el área de riego.	
También se puede aplicar la fórmula de Manning; con ambas (Manning y Hazen Williams) se hacen varios tanteos hasta encontrar las dimensiones adecuadas. El diseño hidráulico es más detallado, por lo que este ejemplo es una orientación.			

7. Limpieza del sistema de riego

El mantenimiento y limpieza en los sistemas de riego es fundamental, pues, aunque se hayan considerado todas las variables de riego, fertirriego y eficiencia, no sirve de nada si los emisores se obturan y entregan un caudal diferente al calculado.

Los sistemas de riego requieren de un proceso de lavado que se debe efectuar cada cierto período de tiempo, generalmente al final de cada ciclo, pues pueden sufrir de una serie de imperfecciones que alteran

la distribución del agua y disminuyen los coeficientes de uniformidad a niveles críticos. La limpieza que se recomienda es un lavado profundo con ácidos, limpieza de los filtros, desprender los laterales, enrollar y almacenar.

Uso de ácidos

Para el lavado se pueden usar varios tipos de ácidos como nítrico, sulfúrico, clorhídrico, etc., durante unos 20 minutos, con los extremos de los laterales abiertos y revisando los emisores. Se debe alcanzar un pH de 2 al final de los laterales de riego.

Se recomienda usar equipo de protección como anteojos, guantes, mangas largas y botas. Siempre debe agregarse ácido al agua y no al revés.

El ácido disuelve los depósitos producidos por los carbonatos, hidróxidos y fosfatos, pero no tiene ningún efecto en sedimentos orgánicos ni sustancias inertes; son corrosivos para el acero, aluminio y asbesto, pero el PE y el PVC son resistentes. La concentración del ácido en el agua de riego depende del tipo y de la concentración del ácido utilizado; en el Cuadro 4 se indican las concentraciones en el agua según el ácido utilizado.

Cuadro 4. Concentración recomendada para cada ácido utilizado.

Ácido	% de ácido	Observación: Cantidad de ácido por 1000 lt
Ácido clorhídrico	33	500 - 1000 cc
Ácido fosfórico	75	250 - 500 cc
Ácido nítrico	60	500 - 1000 cc
Acido sulfúrico	65	500 - 900 cc

Fuente: López, JR. 2003. Riego localizado.

La inyección del ácido en el sistema de riego se realiza por medio del mismo sistema de inyección, o en el tanque de derivación, pero antes se hace un prelavado en toda la tubería principal y de distribución con un buen flujo de agua. Los laterales se dejan para el final.

Uso de cloro

El producto más común para la limpieza y mantenimiento del sistema de riego es el hipoclorito de sodio, que es el que se usa para blanquear la ropa. Su uso es peligroso por lo que se deben cumplir las recomendaciones del fabricante y evitar el contacto con la piel y ojos.

Si se inyecta al agua de riego se transforma en ácido hipocloroso que es un fuerte biocida, pero puede provocar toxicidad en algunos sustratos. También es efectivo en el control de algas y bacterias, oxida el Fe y Mn y mejora la filtración.

Para un mejor efecto, primero se acidifica ligeramente el agua de riego y luego aplicar el hipoclorito de sodio, pues a pH bajo se favorece la formación de ácido hipocloroso (HOCl).

Una de las formas de usar el cloro es al final del ciclo de riego, en donde la concentración en el punto más alejado debe ser de 2 a 3 ppm. El hipoclorito de sodio al 10 %, (100 g/litro) se utiliza a una dosis de 300 a 500 cc por 1000 L de agua, cada 15 días y mantener la solución unos 30 minutos y luego lavar el sistema.

LITERATURA CONSULTADA

Carrazón, J. 2007. *FAO Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego*. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria. PESA. Honduras. 218 p.

Calvo, L. 2005. *Métodos de riego: un enfoque práctico para el diseño*. San José: ACCS. 210 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2012. *Riego y Drenaje. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. Roma, Italia. 509 p.

Fuentes, J. 2003. *Técnicas de riego*. Madrid: Editorial Mundiprensa. 469 p.

López, JR. 2003. *Riego localizado*. Madrid: Editorial Mundiprensa. 150 p.

Mendoza, E. 2013. *Riego por goteo*. San Salvador: CENTA. 87 p.

Valverde, J. 1998. *Riego y Drenaje*. San José, Costa Rica. EUNED. 240 p.

Valverde, J. 2016. *Principios de riego y drenaje en suelos tropicales*. San José, Costa Rica. EUNED. 236 p.