



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
INIA-CNR



Gobierno Regional de Atacama

BOLETÍN TÉCNICO INIA N° 65

ISSN 0717-4829

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DE EQUIPOS DE RIEGO PRESURIZADO



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIÓN INTIHUASI
CENTRO EXPERIMENTAL HUASCO
VALLENAR, CHILE, 2001



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
INIA



Gobierno Regional de Atacama

BOLETIN INIA N° 65

ISSN 0717 - 4829

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DE EQUIPOS DE RIEGO PRESURIZADO



Autor:

**Leoncio Francisco Martínez Barrera
Ingeniero Agrónomo Ph.D.**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIÓN INTIHUASI,
CENTRO EXPERIMENTAL HUASCO
VALLENAR, CHILE, 2001**

Autor: Leoncio Francisco Martínez Barrera
Ingeniero Agrónomo Ph.D.
Especialista en riego y biosistemas
Centro Regional de Investigación Intihuasi

Comité Editor: Alfonso Osorio Ulloa
Ingeniero Agrónomo M.Sc.
Claudia Zóccola Fernández
Ingeniera Agrónoma
Centro Regional de Investigación Intihuasi

Cristian Navarrete González
Ingeniero Agrónomo
Comisión Nacional de Riego

Marcela Del Solar Aguirre
Ingeniera Agrónoma
Gobierno Regional de Atacama

Director Responsable: Alfonso Osorio Ulloa
Ingeniero Agrónomo M.Sc.
Centro Regional de Investigación Intihuasi

Editor Divulgativo: Roberto Salinas Yasuda
Ingeniero Agrónomo
Unidad de Comunicaciones

Boletín INIA N° 65

Este boletín fue editado por el Centro Experimental Huasco, del Centro Regional de Investigación Intihuasi, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, del Ministerio de Agricultura de Chile, como parte de las actividades del Proyecto «Validación de Tecnologías de Riego en el Valle del Huasco», financiado por la Comisión Nacional de Riego y el Gobierno Regional de Atacama.

Cita bibliográfica correcta:

MARTÍNEZ, L. 2001. Manual de operación y mantenimiento de equipos de riego presurizado. Gobierno Regional de Atacama, Comisión Nacional de Riego e Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile). Centro Regional de Investigación Intihuasi (La Serena), Centro Experimental Huasco (Vallenar). Boletín INIA N° 65, 76 p.

Diseño y diagramación: Binden Art
Impresión: Grafic Suisse
Cantidad: 1.300 ejemplares

Vallenar, Chile, 2001

CONTENIDO

	Página
1.- INTRODUCCIÓN	4
2.- FILTROS	5
2.1. Necesidad de filtrado del agua de riego	5
2.2. Tipo, tamaño y concentración de partículas	6
2.3. Caudal de diseño y pérdida de carga nominal	7
2.4. Filtros de grava o arena de cuarzo	7
2.5. Filtros de anillas	14
2.6. Filtros de malla	17
2.7. Hidrociclón	20
3.- APLICACIÓN DE ÁCIDOS AL AGUA DE RIEGO	22
3.1. Concentración de sales en el agua	22
3.2. Formación de precipitados	23
3.3. Análisis químico del agua	23
4.- CONTROL DE ALGAS Y BACTERIAS	38
5.- EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DE APLICACIÓN	45
6.- LAVADO DE LATERALES	52
7.- OTROS COMPONENTES	62
7.1. Desarenador	62
7.2. Problemas en acumuladores	65
7.3. Otros componentes	66
7.3.1. Canastillo	66
7.3.2. Trampa de basuras	66
7.3.3. Mantenión de tranques	67
8.- ACTIVIDADES RUTINARIAS EN LA OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DE LOS EQUIPOS DE RIEGO PRESURIZADO	69
8.1. Revisión todos los días	69
8.1.1. Centro de control	69
8.1.1.1. Equipo de impulsión	69
8.1.1.2. Filtros	70
8.1.1.3. Inyectores de fertilizante	70
8.1.2 Instalaciones de campo	70
8.2. Revisiones una vez por semana	71
8.3. Revisiones cada 30 días	71
8.4. Trabajos en post-temporada	72
8.4.1 Otros trabajos en el centro de control	72
8.4.2 Otros trabajos en terreno	72
9.- LITERATURA CONSULTADA	73
10.- GLOSARIO	75

1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, los sistemas de riego localizados como goteo, microaspersión y microjets, se asocian a un ahorro significativo de agua en comparación a los sistemas de riego tradicionales, como surcos, tendido y bordes. El alto grado de eficiencia se logra al reducir a cero el escurrimiento superficial y minimizar las pérdidas por percolación profunda. Así, el agua aplicada es prácticamente la misma que el cultivo requiere para satisfacer sus necesidades metabólicas y de regulación de temperatura interna.

Otro aspecto favorable es la utilización de suelos marginales en cuanto a topografía, textura, profundidad de suelo, pedregosidad y contenido salino. Suelos considerados improductivos de acuerdo a la clasificación típica de capacidad de uso del suelo tienen un potencial productivo interesante empleando estos métodos de riego.

Todo lo mencionado anteriormente es válido, pero el aspecto más relevante se ha descubierto con el transcurso de los años y es la manipulación del agua y los fertilizantes para producir mayor cantidad de productos hortofrutícolas y de mejor calidad.

En Chile, los sistemas de riego localizado han experimentado un rápido crecimiento en los últimos 15 años. Todo comenzó en las regiones del norte de Chile caracterizadas por la baja disponibilidad del recurso hídrico, en donde era imperioso utilizar sistemas de riego altamente eficientes. En la actualidad el riego localizado se utiliza en todo el país existiendo cerca de 100.000 hectáreas bajo esta modalidad.

Para obtener el máximo beneficio de los recursos naturales, de la gestión productiva y de los nuevos elementos tecnológicos que permiten hacer la actividad agrícola más competitiva y rentable, el manejo de los sistemas de riego debe ser óptimo. El presente Boletín Técnico recoge la experiencia de muchos años de un grupo de profesionales del INIA en diseño, instalación, manejo y operación de sistemas de riego localizados.

Este documento ha sido elaborado dentro del Programa de Validación de Tecnologías de Riego, Valle del Huasco, co-financiado por el Gobierno Regional de Atacama y la Comisión Nacional de Riego (CNR), como material de apoyo a los profesionales y extensionistas que trabajan junto a los agricultores que utilizan estos métodos de riego en el valle del río Huasco, III Región. El conocimiento del principio de funcionamiento de los sistemas de filtrado y acondicionamiento de aguas, ayudará a comprender de mejor forma las prácticas de operación requeridas para asegurar un buen funcionamiento del equipo durante muchos años.

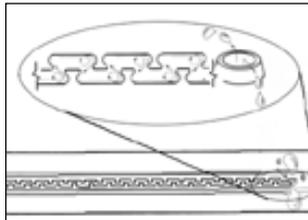
2. FILTROS

2.1 Necesidad de filtrado del agua de riego.

La calidad física del agua es un factor muy importante en el manejo de los sistemas de riego localizado. Los emisores pueden obstruirse por la presencia de sólidos en suspensión del tamaño de una partícula de arena fina (tamaño menor a 0,05 mm).

El diseño de los emisores considera el paso del agua por pequeños orificios (**Figura N° 2.1**). Estos, al obstruirse, alteran la sección o área conductora de agua reduciendo el caudal de descarga. El nuevo caudal dependerá del grado de obstrucción del emisor y que puede ser parcial o total. Un alto grado de obstrucción en los emisores provocará una distribución desuniforme del agua. Sectores con una menor tasa de aplicación presentarán problemas de crecimiento vegetativo, vigor, calibre de fruta y producción, debido a la menor aplicación de agua y fertilizantes en la temporada.

Figura N° 2.1. Laberinto disipador de energía en un emisor (gotero o cinta) no compensado.



Para minimizar el riesgo de taponamiento, se debe disponer de sistemas de filtrado que mejoren la calidad física del agua. Estos sistemas deben ser diseñados en forma cuidadosa y operados en forma apropiada para mantener permanentemente, el buen rendimiento de todo el sistema de riego.

Los sistemas de filtro no mejoran la calidad química del agua, sino que reducen significativamente el contenido de compuestos orgánicos y sólidos en suspensión, sin llegar a eliminarlos totalmente. Parte de material fino, como limos y arcillas y también bacterias y hongos, pasan al sistema de riego. Se necesita la adición de compuestos químicos como biocidas, en forma periódica, para mejorar estos aspectos.

Para asegurar una alta confiabilidad del sistema de filtrado, este debe ser diseñado para funcionar bajo las condiciones más adversas. En este sentido debe considerarse que la calidad física del agua varía ampliamente desde una fuente de agua a otra y entre diferentes períodos del año. Esto es particularmente importante cuando la fuente de agua es un canal de riego, estero o quebrada. En general, durante períodos de deshielo, el agua contiene mayor cantidad de sólidos en suspensión. En épocas de verano, es común observar mayor cantidad de algas.

Aguas de pozos profundos y norias presentan una calidad de agua más estable a lo largo del año, aunque puede observarse cambios en el contenido salino debido a fluctuaciones estacionales y anuales del nivel freático.

Para la selección del tipo y tamaño del filtro apropiado deben considerarse los siguientes aspectos:

- Tipo, tamaño y concentración de las partículas en suspensión en el agua de riego.
- La calidad del agua requerida para asegurar el buen funcionamiento de los emisores.
- El caudal de diseño y pérdida de carga nominal del filtro.

2.2 Tipo, tamaño y concentración de partículas.

Las partículas en suspensión en el agua de riego pueden ser de naturaleza orgánica (algas, bacterias, semillas, pequeños insectos, musgos y en general cualquier cosa en suspensión que tiene o tuvo vida) o inorgánicas como arena, limo, partículas de arcilla y cualquier tipo de precipitados que pudiesen ocurrir.

Respecto de las partículas de tipo inorgánico, es importante conocer el tamaño, ya que es el primer paso para determinar el diseño apropiado y asegurar el buen funcionamiento de un sistema de filtros. El **Cuadro N° 2.1** proporciona información respecto del tamaño de partículas que pueden encontrarse en suspensión en el agua de riego.

La capacidad de los filtros para retener partículas por sobre un determinado tamaño se expresa en unidades «mesh» que significa el número de orificios que tiene una malla por pulgada lineal, contados a partir del centro de un hilo. El **Cuadro N° 2.2** muestra la relación entre número de mesh y tamaño de orificio.

Respecto de la concentración de sólidos en suspensión en el agua de riego, Nakayama y Bucks (1986) sugieren que niveles de concentración superiores a 100 mg/L pueden hacer difícil el proceso de filtrado. Aguas con niveles menores a 50 mg/L no provocan mayores problemas.

Los tipos más comunes de filtros son: de grava o arena de cuarzo, anillas, malla e hidrociclones. En el punto 2.4. se aborda en detalle cada uno de ellos.

Cuadro N° 2.1. Caracterización de partículas en el agua de riego
(Fuente: Keller, J. y R.D. Bleisner. 1990)

CLASIFICACIÓN	DIÁMETRO DE PARTÍCULAS	
	(mm)	(micrones)
Arena grano grueso	1,00-2,00	1.000-2.000
Arena grano grueso	0,50-1,00	500-1.000
Arena grano medio	0,25-0,50	250-500
Arena grano fino	0,10-0,25	100-250
Arena grano muy fino	0,05-0,10	50-100
Limo	0,002-0,05	2-50
Arcilla	0,002	2
Bacterias	0,0004-0,002	0,4 - 2
Virus	<0,0004	< 0,4

1.000 micrones = 1 mm.

Cuadro N° 2.2. Tamaño de orificio para diferentes mesh.
(Fuente: Lopez, J.R. et al., 1992)

NUMERO MESH	DIÁMETRO EQUIVALENTE	
	(mm)	(micrones)
16	1,180	1.180
20	0,850	850
30	0,600	600
40	0,425	425
100	0,150	150
140	0,106	106
170	0,090	90
200	0,075	75
270	0,053	53
400	0,038	38

2.3 Caudal de diseño y pérdida de carga nominal.

El filtro, por ser un dispositivo que dificulta el paso del agua, requiere de una presión mínima para que circule el caudal deseado a través de él. Esta presión mínima se conoce como «pérdida de carga nominal» del filtro y no debe ser superior a 3,5 metros columna de agua (m.c.a), 0,35 bar o 5,0 lb/pulgada² (psi). Una pérdida de carga nominal mas allá de este valor afectará la potencia requerida para hacer funcionar el sistema. Un consumo extra de 1 HP por exceso de pérdida de carga en el sistema de filtro, puede significar decenas de kilowatts al año, lo que aumenta el consumo de potencia eléctrica originando mayores costos de operación.

La pérdida de carga del sistema de filtros no debe ser superior a 3,5 m.c.a. cuando está completamente limpio. A medida que comienza a retener partículas, esta aumenta. El momento de limpiar los filtros llega cuando la pérdida de carga de todo el sistema es 6 m.c.a. Permitir que el sistema de filtros pierda más de 6 m.c.a. por acumulación de residuos, afecta la presión de funcionamiento de las laterales, por lo tanto, el caudal de cada emisor puede disminuir afectando la intensidad de aplicación de agua.

El efecto de filtros sucios puede provocar una disminución total de agua aplicada en la temporada de un 15%, cuando se utilizan goteros no autocompensados. En sistemas con emisores autocompensados, aquellas áreas que funcionan con la mínima presión recomendada por el fabricante pueden sufrir una reducción en el volumen total del agua aplicada en la temporada.

Para minimizar el efecto negativo en la presión producido por filtros sucios, hay que lavarlos cuando la diferencia de presión entre la entrada y salida del filtro supera los 6 m.c.a. (0,6 bar o en el rango de 7 a 8 psi).

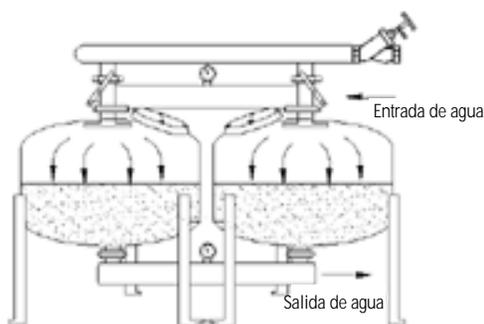
2.4 Filtros de grava o arena de cuarzo.

Los filtros de grava son muy utilizados cuando se dispone de aguas con altos niveles de

partículas orgánicas e inorgánicas, ya que tienen la particularidad de atrapar y retener niveles importantes de contaminantes sin aumentar significativamente la pérdida de carga, debido a que el cuerpo filtrante (masa de grava) trabaja en tres dimensiones: superficie y profundidad.

Los filtros de grava consisten generalmente en dos o más estanques conectados en paralelo con una entrada y salida de agua común. En el modo «filtración» todos los estanques trabajan en paralelo (**Figura N° 2.2**). El agua ingresa al estanque por arriba, pasa a través de la grava que actúa como medio filtrante y es colectada agua limpia en el fondo.

Figura N° 2.2. Esquema filtro de grava de dos unidades.



Un caso especial de filtro de grava es aquel conformado por una sola unidad. Este modelo es utilizado preferentemente en pequeños sistemas de riego ya que su costo es relativamente bajo, en comparación con los filtros en paralelo. Un esquema de este tipo de filtro aparece en la **Figura N° 2.3**.

Figura N° 2.3. Esquema filtro de grava de una unidad.



La capacidad de flujo de un filtro de grava está determinada por el diámetro y la tasa de filtrado expresado en unidades de longitud y caudal/área respectivamente. El diámetro de los filtros se expresa en pulgadas y la tasa de filtración en galones por minuto/pie² (gpm/pie²) o metros cúbicos por hora y por metro cuadrado (m³/hora/m²). Los diámetros de cilindro (d) pueden ser: 18, 24, 30, 36 y 48 pulgadas. Las tasas de filtración más utilizadas son 15, 20, 25 y 30 gpm/pie². El **Cuadro N° 2.3** muestra la equivalencia entre unidades inglesas y sistema métrico decimal.

Cuadro N° 2.3. Equivalencia entre unidades inglesas y sistema métrico decimal.

DIÁMETRO		TASA DE FILTRACIÓN	
(pulgadas)	(metros)	(gpm/pie ²)	m ³ /hora/m ²
18	0,46	15	36,67
24	0,61	20	48,89
30	0,76	25	61,11
36	0,91	30	73,34
48	1,22		

La calidad del agua puede clasificarse de acuerdo al tipo, tamaño y concentración de las partículas presentes. La tasa de filtración es seleccionada sobre la base de los parámetros de calidad de acuerdo al **Cuadro N° 2.4.**

Cuadro N° 2.4. Tasas de filtración para el diseño de filtros en función del contenido de sólidos en suspensión del agua (Nakayama, F.S. y D. Bucks, 1985).

NIVEL DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	CONCENTRACIÓN (ppm)	TASA DE FILTRACIÓN (gpm/pie ²)
Leve	0 - 10	25 - 30
Moderado	10-100	20 - 25
Severo	100-400	15 - 20

El **Cuadro N° 2.5.** muestra los caudales de trabajo por filtro expresado en m³/hora en función del diámetro (d) y la tasa de filtración.

Diámetros inferiores a lo técnicamente recomendado pueden producir los siguientes problemas:

- Aumento de la pérdida de carga nominal del filtro a niveles superiores del máximo permitido. La presión de trabajo en las laterales disminuye, reduciendo la descarga de los emisores, especialmente en aquellos goteros de tipo no-autocompensado.
- Necesidad de limpieza frecuente de los filtros. Estos se saturan más rápido.
- La calidad del filtrado no es buena ya que no se logra retener todas las partículas.

Cuadro N° 2.6. Caudales de trabajo (m³/h) por unidad de filtro en función de la tasa de filtrado.

TASA DE FILTRACIÓN		DIÁMETRO FILTRO (pulgadas)				
(gpm/pie ²)	m ³ /hora/m ²	18	24	30	36	48
15	36,67	6,13	10,67	16,81	24,08	42,93
20	48,89	7,95	14,31	22,26	32,02	57,01
25	61,11	9,99	17,94	27,94	40,20	71,32
30	73,34	12,04	21,35	33,39	48,15	85,63

Un diámetro mayor que el sugerido implica una disminución de la tasa de filtración (menos agua pasa por unidad de área de filtro), esto reduce la pérdida de carga nominal, disminuye la frecuencia de limpieza y aumenta el costo de implementación del sistema de filtros (se requiere instalar filtros más grandes).

En aquellos sistemas donde la fuente de presión es gravitacional y la presión disponible para el filtrado es una limitante, se recomienda sobredimensionar utilizando tasas de filtrado menores a las recomendadas.

En filtros de arena no es posible medir el tamaño de los orificios como podría hacerse directamente en un filtro de malla, pero se puede asociar la calidad del filtrado a un equivalente de unidades mesh.

La grava o arena se clasifica en «clases» de acuerdo a la granulometría del material y del tamaño de los poros. El **Cuadro N° 2.6** proporciona información acerca del diámetro de poros y la equivalencia con filtros de mallas. El diámetro de los poros incide en el tamaño mínimo de partículas que serán retenidas, mientras que la tasa de filtrado es función del caudal de trabajo, el diámetro de los filtros y del número de unidades.

La calidad del agua después del filtrado es importante para asegurar el buen funcionamiento de todo el sistema de riego por un largo tiempo. Como regla general, el número mesh de 170 asegura una buena calidad de filtrado en sistemas de riego por goteo.

Cuadro N° 2.6. Equivalente en número mesh de diferentes tipos de grava.

MATERIAL	Clase	Ø EFECTIVO		Ø POROS		Mesh
		(mm)	Micrones	(mm)	Micrones	
Granito molido	N° 8	1,50	1.500	0,214	214	70
Granito molido	N° 11	0,78	780	0,111	111	140
Arena de Sílice	N° 16	0,66	660	0,094	94	170
Arena de Sílice	N° 20	0,46	460	0,066	66	230
Arena de Sílice	N° 30	0,27	270	0,039	39	400

Retrolavado.

Para el retrolavado de los filtros, los estanques son sometidos en forma individual a un ciclo de flujo inverso. El agua que previamente ha pasado por uno o más filtros es utilizada para lavar el estanque que está en proceso de «retrolavado» (**Figura N°2.4**). En sistemas de filtros con un solo estanque, el retrolavado se efectúa utilizando agua sin filtrar mediante la manipulación de un conjunto de válvulas que permiten invertir el flujo. (**Figura N° 2.5**).

Para optimizar el proceso de retrolavado, este debe ser efectuado en forma apropiada. Un caudal excesivo de retrolavado produce una expansión en volumen de la grava hasta un punto que se produce un arrastre de material fuera del filtro. Por otro lado un caudal pequeño no expandirá la grava lo suficiente como para permitir el arrastre de las impurezas y el

lavado de la grava. Esto produce un sellamiento de la grava y por consiguiente en un aumento de la pérdida de presión nominal del sistema de filtros.

Figura N° 2.4. Batería de filtros en paralelo durante el «retrolavado»

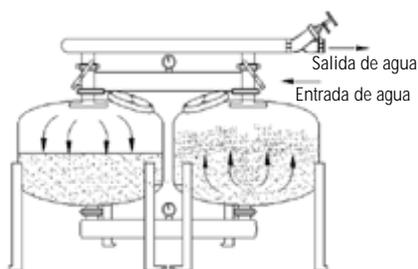
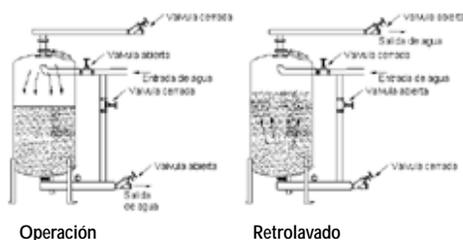


Figura N° 2.5. Filtro de grava de un estanque en «retrolavado»



El **Cuadro N° 2.7** proporciona información de los caudales mínimos que deben ser utilizados en función del diámetro de los estanques y del tipo de grava utilizada para asegurar un buen retrolavado (Fuente: Boswell, M., 1990).

Cuadro N° 2.7. Caudales de retrolavado mínimos (l/min) en función del tipo de arena y diámetro de los filtros.

TIPO DE ARENA	DIÁMETRO DEL FILTRO (pulgadas)				
	18	24	30	36	48
N° 8	193	344	534	761	1363
N°11	98	182	280	397	712
N° 16	121	216	337	477	852
N° 20	98	182	280	397	712

Aunque el volumen de agua requerido para el retrolavado es pequeño comparado con todo el volumen filtrado, hay una pérdida de agua y esta debe ser vertida en un lugar especial, arrojlarla a un canal de desagüe o reciclarla.

El tiempo que debe durar el retrolavado depende del grado de suciedad de los filtros. Desde que se inicia el proceso hasta que el agua sale limpia transcurre entre dos y tres minutos. El volumen total de agua que se utiliza por ciclo es función del número de filtros, del diámetro de los cilindros y del tiempo del proceso.

Asumiendo que un sistema cuenta de 2 unidades de 30 pulgadas, utiliza arena tipo N° 8 y el tiempo del proceso es 3 minutos por unidad, el volumen total de agua por ciclo es 3.200 litros. Si el proceso se repite cada 1 hora y el tiempo de operación del equipo es 18 horas, el volumen requerido para el retrolavado es aproximadamente 45 a 57,6 m³/día con un tiempo utilizado en el proceso de 108 minutos.

Como el tiempo total de operación fue de 18 horas (1.080 minutos) se ocupó un 10% del tiempo en el retrolavado, lapso en que la presión del sistema se redujo enormemente, y en la práctica, el agua aplicada al cultivo fue nula. Cuando el operador no considera este tiempo en el cálculo del agua aplicada, se puede cometer un error en cuanto a la cantidad efectiva de agua aplicada al cultivo.

El ejemplo tuvo como finalidad dar a conocer que el manejo del retrolavado debe ser cuidadoso, tanto por el agua utilizada para el lavado de la arena que pierde calidad como por el tiempo empleado.

La frecuencia de retrolavado es función de la calidad del agua. Se esta posee un alto nivel de sólidos en suspensión, los filtros se saturan en menor tiempo elevando la pérdida de carga del filtro y disminuyendo la presión disponible en las laterales. Los filtros se deben lavar tan pronto como la pérdida de presión haya alcanzado el umbral máximo de diseño (6 o 7 m.c.a.).

Lavar los filtros en forma frecuente sin esperar que la pérdida de presión debido a las impurezas haya alcanzado su valor máximo no mejora la calidad del proceso, solo aumentará el volumen de agua utilizado en el retrolavado.

Otro aspecto a considerar es el consumo de potencia durante el retrolavado en sistemas que utilizan bombas como fuente de presión. La presión de funcionamiento del sistema baja a niveles cercanos a presión atmosférica (presión manométrica cercana a cero), ya que el agua utiliza el camino de menor resistencia para moverse modificándose el punto de trabajo de la bomba. La **Figura N° 2.6** corresponde a una curva característica de un determinado modelo. El punto normal de trabajo aparece señalado con la letra A en donde la combinación de caudal, presión y energía consumida es cercana al óptimo. Al efectuar el retrolavado, el punto de trabajo se desplaza a B, zona de mucho caudal, poca presión y baja eficiencia. La potencia consumida cambia desde C a D produciéndose un aumento del consumo de energía que dura todo el tiempo de retrolavado. Este aumento de potencia consumida se refleja en la factura de energía eléctrica o consumo de gasolina o petróleo.

El diseño del sistema de riego debe considerar este mayor consumo de energía al momento

de seleccionar el modelo de bomba y motor a utilizar. Cuando este factor no es contabilizado, se produce:

- Aumento de temperatura en motores eléctricos.
- Interrupción del suministro de energía por acción del sistema de protección automático de sobrecarga
- Recalentamiento de cables eléctricos.

Como forma de controlar el exceso de potencia consumida, es común instalar una válvula de compuerta a la salida del retrolavado (**Figura N° 2.7**). Esta válvula se debe cerrar parcialmente para controlar el caudal efluente de los filtros y disminuir la potencia consumida. Es importante seguir la pauta de caudales mínimos de retrolavado sugeridas en el **Cuadro N° 2.7** para asegurar una buena limpieza del sistema.

Figura N° 2.6. Curva característica de una bomba. Consumo de potencia en operación normal y retrolavado.

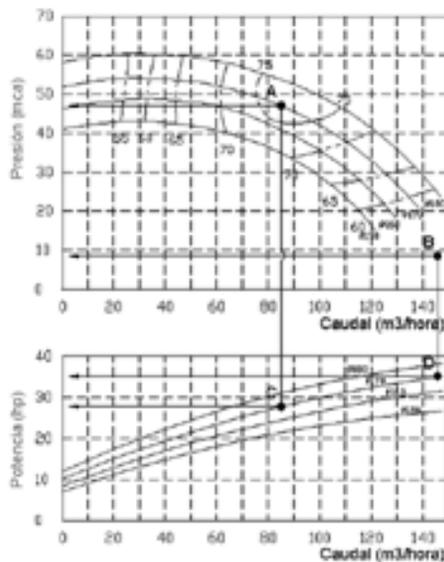
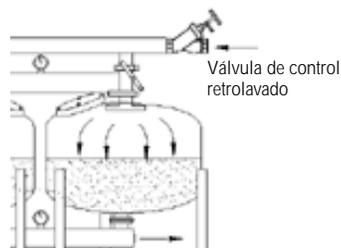


Figura N° 2.7. Válvula de control de flujo en el retrolavado.



Automatización.

Cuando la calidad del agua provoca que el retrolavado se efectúe mas de dos veces por día, es necesario automatizar el proceso. Existen dos formas básicas de procedimiento:

- Por tiempo. Se estima que los filtros deben ser lavados cada determinado numero de horas y para ello se utiliza un programador de riego y válvulas eléctricas para la operación.
- Por diferencia de presión. Hay sensores de presión instalados a la entrada y salida del filtro. Cuando la diferencia de presión alcanza el valor máximo permitido, el sistema de retrolavado se activa.

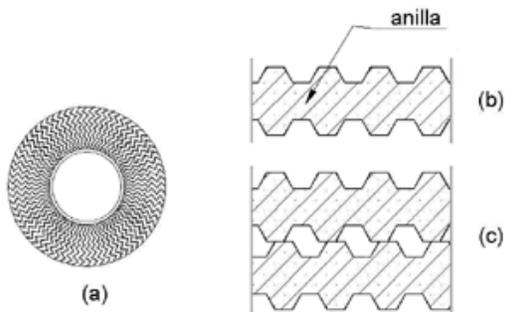
El tiempo que transcurre entre dos ciclos de retrolavado para un sistema de filtros en particular depende de la calidad del agua. En general, esta no cambia en forma abrupta con el tiempo, por lo tanto, la frecuencia de lavado tampoco cambia en condiciones normales de operación.

Una forma de determinar la frecuencia de retrolavado es medir el tiempo que transcurre entre el término de un retrolavado y la saturación del sistema (la pérdida de carga ha llegado hasta el límite recomendado). Se sugiere hacer esta prueba 3 veces. El tiempo promedio de las tres observaciones es el que debe utilizarse como período para el retrolavado. Este procedimiento se recomienda para sistemas de operación manual y automatización por tiempo. El operador del equipo debe recibir instrucciones para realizar el proceso de acuerdo a los resultados del test.

2.5 Filtros de Anillas.

Anillas son discos de plástico con ranuras impresas sobre un soporte central cilíndrico y perforado. El agua es filtrada al pasar por los pequeños conductos formados entre dos anillas consecutivas (**Figura N° 2.8**). Dependiendo del número de ranuras de cada disco es la calidad del filtrado. Hay filtros de anillas equivalentes a mallas de 40, 80, 120, 140, 200 y 600 mesh. La forma de las ranuras no es uniforme, por lo tanto, los pequeños ductos que se forman tienen diferentes secciones y tamaños. Estos filtros tienen un efecto de filtrado tanto en superficie como en profundidad al igual como sucede con los filtros de gravas. La profundidad esta dada por el radio de los discos.

Figura N° 2.8. Anilla con ranuras (a), detalle de una anilla (b) y dos anillas en contacto (c)



Los filtros de anillas se comercializan en unidades. Un esquema de un filtro aparece en la **Figura N° 2.9**. El material de fabricación es plástico, polietileno de alta resistencia u otro material sintético resistente a la corrosión. Debido a las características del material, es altamente resistente a la corrosión tanto de los productos utilizados en fertirrigación como en la mantención del sistema (ácidos, hipoclorito de sodio, etc.).

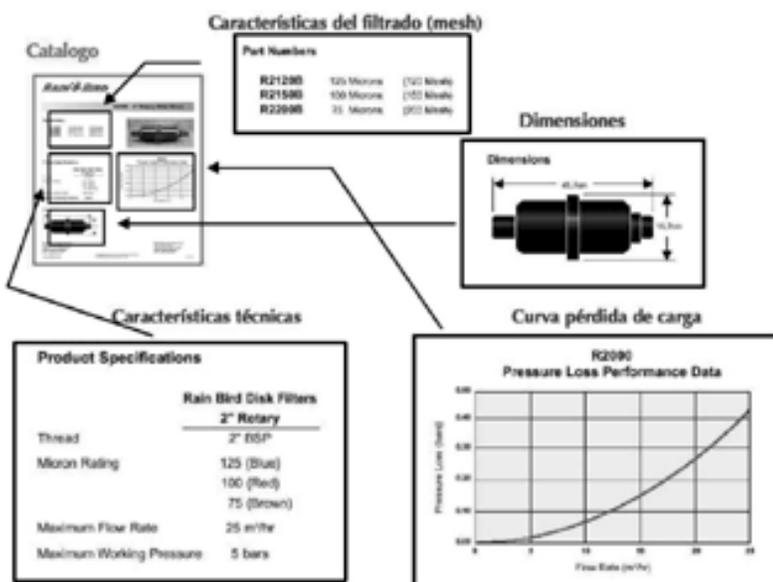
El catálogo del producto indica información importante acerca de caudal máximo de diseño, curva de pérdida de carga, dimensiones, tamaño equivalente (mesh), etc. La **Figura N° 2.10** muestra la información más relevante de un catálogo.

Cuando el caudal de diseño excede la capacidad de filtración de un filtro individual, dos o mas unidades en paralelo permiten hacerlo. Un caudal de 100 m³/h puede filtrarse con cuatro unidades de 25 m³/h cada uno. Varias unidades en paralelo pueden conformar filtros de gran capacidad. La **Figura N° 2.11** muestra un sistema de filtros de unidades múltiples.

Figura N° 2.9. Esquema de funcionamiento Filtro de anilla.



Figura N° 2.10. Información técnica de filtros de anillas



Cada unidad trabaja en forma independiente. Para la limpieza de cada unidad, se utiliza agua filtrada que previamente ha pasado por otra unidad adyacente. El flujo se hace en sentido inverso, un mecanismo automático separa las anillas, por lo cual, las impurezas se eliminan fácilmente reduciendo significativamente el volumen de agua utilizado en retrolavado. El mecanismo de limpieza aparece en la **Figura N° 2.12**.

El retrolavado puede ser automatizado por tiempo (limpieza cada una determinada cantidad de minutos) o por diferencia de presión. El retrolavado comienza cuando las impurezas aumentan la pérdida de carga del filtro mas allá del rango permitido.

En el caso de utilizar el tiempo como parámetro para determinar el retrolavado, se sugiere medir el tiempo que transcurre entre un retrolavado y cuando se alcanza el nivel máximo de pérdida de presión. El tiempo promedio de tres lavados consecutivos constituye el valor a utilizar para programar el programador electrónico.

Las ventajas de este sistema de filtros en relación al filtro de grava son:

- Menor tamaño. Para una misma capacidad de filtrado, el tamaño de un sistema de anillas es menor a dos o tres unidades de grava. Esto reduce significativamente el tamaño de la sala destinada a centro de control.
- Poco volumen para el retrolavado. Filtros de anillas requieren para retrolavado entre 10 a 15 % del volumen requerido por un sistema de gravas.
- No requiere de filtro de malla. Filtros de grava deben ir acompañados de filtros de mallas debido a que no es fácil determinar el número mesh de la grava (tamaño de partículas en suspensión a eliminar). El número mesh es función del tipo de grava y eso puede variar entre sistemas.
- Fácil mantención. Mantener en buenas condiciones de funcionamiento en sistema de anillas requiere menos trabajo que uno de gravas. Su construcción es en base a materiales sintéticos que sufren muy poco deterioro en el tiempo.
- La pérdida de presión del sistema durante el proceso de retrolavado es mínimo.

En la actualidad un sistema de filtros de anillas resulta de mayor costo que uno equivalente de grava debido a que estos últimos pueden ser fabricados en el país por pequeños talleres o maestranzas. Filtros pequeños presentan valores competitivos respecto a filtros de malla. En sistemas de inyección de fertilizantes, es preferible utilizar filtros de anillas debido a su mayor capacidad para retener impurezas y menor riesgo de rotura de la malla. Este último aspecto es importante debido a lo difícil que es encontrar mallas de repuesto en lugares apartados.

Figura N° 2.11. Sistema de filtros de unidades múltiples.

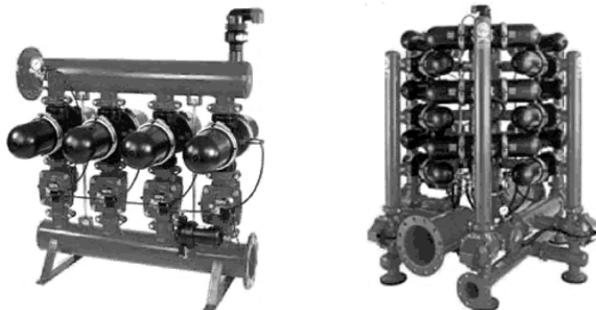


Figura N° 2.12. Esquema del retrolavado en sistemas de filtros de anillas.



2.6. Filtros de malla.

Este tipo de unidades es utilizado principalmente para filtrar aguas con contaminantes inorgánicos como arenas de distintas clases y moderadas cantidades de contaminantes orgánicos. No es recomendable su uso en aguas con alto contenido de residuos orgánicos ya que estos obstruyen rápidamente las cribas (aperturas de la malla) aumentando rápidamente la pérdida de carga mas allá de los niveles aceptables.

Las mallas se clasifican por el tamaño de la abertura, asociada al número de malla (Norma ISO/R 565) o número Mesh. El termino «Mesh» se refiere al número de orificios por pulgada lineal. Tamaños de orificios y su apertura para distintas mallas aparecen indicados en el Cuadro N° 2.8.

Cuadro N° 2.8. Norma ISO/R 565 para mallas metálicas.

N° MALLA	N° MESH	ABERTURA criba (µm)	DIÁMETRO alambre (µm)
16	14	1.180	650
18	16	1.000	580
20	20	850	510
25	24	710	450
30	28	600	390
35	32	500	340
40	35	425	290
45	42	355	247
50	48	300	215
60	60	250	180
70	65	212	152
80	80	180	131
100	100	150	110
120	115	125	91
140	150	106	76
170	170	90	64
200	200	75	53
230	250	63	44

(1µm = 0.001 mm)

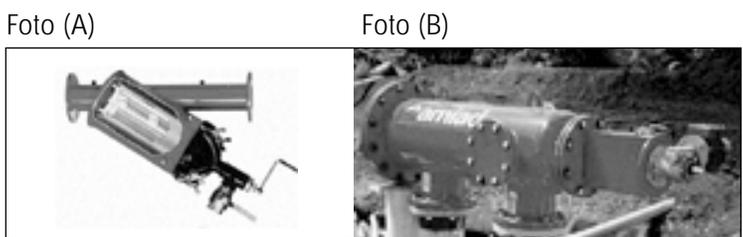
El cuadro anterior es útil ya que permite conocer las características de una malla conociendo su número ISO o mesh.

Filtros confeccionados en pequeños talleres o maestranzas utilizan mallas de nylon de características equivalentes a las mallas metálicas en cuanto a la numeración mesh.

Existen diversos tipos de filtros, aquí es necesario diferenciar entre aquellos fabricados por empresas especializadas como Lama (España), AMIAD (Israel) o Netafim (Israel) (filtros industriales) y aquellas fabricadas por industrias locales o pequeñas maestranzas (filtros artesanales).

Los filtros de malla «industriales» poseen diversas características interesantes como la capacidad para automatizar el retrolavado, uso de escobillas móviles, eliminación de impurezas por succión o utilizando un flujo tipo vórtice que permite separar partículas gruesas al igual que un hidrociclón. Dos tipos de filtros industrial aparecen en la **Figura N° 2.13**.

Figura N° 2.13. Filtro de malla con escobillas móviles de acción manual (A) y automática (B).

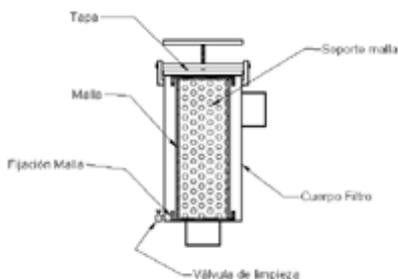


En general los filtros industriales permiten su limpieza en forma continua sin detener el flujo de agua hacia las cañerías matrices. La calidad del riego no se ve levemente afectada por un momentáneo descenso en la presión de trabajo.

Filtros «artesanales» no operan de igual forma siendo necesario detener el funcionamiento del sistema para su limpieza. Este tiempo debe ser considerado en el plan general de manejo del equipo. Dependiendo del tipo de filtros, el tiempo de limpieza puede ser entre 2 a 10 minutos.

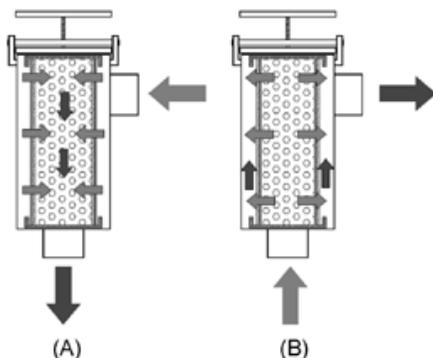
Los filtros artesanales son muy simples y consisten en dos tubos concéntricos. El exterior es metálico y constituye el cuerpo de la unidad. El tubo interior es de PVC perforado o una estructura de acero rígida cuya finalidad es sostener el elemento filtrante (malla) (**Figura N° 2.14**).

Figura N° 2.14. Esquema de un filtro de malla



La instalación de la malla debe ser cuidadosa para evitar daño mecánico de esta (rotura) y evitar que sea arrastrada hacia el sistema de riego. La **Figura N° 2.15** muestra las dos formas de instalación: por fuera (A) y por dentro (B) del tubo de soporte. Cuando el agua ingresa por el lado, el agua debe atravesar el elemento filtrante en movimiento hacia el centro del filtro, en este caso, la malla debe ser instalada en la parte externa del soporte (A). En B el agua ingresa al filtro por el centro, en este caso la malla debe ser instalada en la parte interna del soporte. El agua cruza el elemento filtrante en dirección hacia fuera. Al instalar la malla en posición inversa, esta será arrastrada por el flujo hacia las tuberías de riego.

Figura N° 2.15. Flujo de agua sucia (rojo) y limpia (azul) en un filtro de malla.



El elemento filtrante (malla) debe ser limpiado con agua y una escobilla suave. La materia orgánica se incrusta en la malla y no sale con facilidad por lo que se requiere de un detergente. En todo centro de control deben estar presente estos elementos para una buena limpieza de la malla. La **Figura N° 2.16** muestra una malla sucia y un operador efectuando el lavado correspondiente.

Figura N° 2.16 Malla sucia con residuos orgánicos (izquierda) y proceso de limpieza (derecha).



Cuando la limpieza de los filtros se debe efectuar más de dos veces por día, es necesario tomar algunas medidas para disminuir el tiempo de detención del equipo. Algunas medidas son:

- Construir un desarenador para eliminar partículas del tamaño de arena fina o superior.
- Instalar un hidrociclón previo a la entrada del agua a los filtros.
- Aumentar el área filtrante del sistema. Esto se consigue colocando más unidades en paralelo.

- Reemplazar los filtros artesanales por modelos autolimpiantes.
- Mantener limpio (libre de vegetación acuática) el estanque acumulador. La vegetación genera partículas orgánicas de pequeño diámetro que obstruyen fácilmente los filtros.

Una situación muy frecuente que dificulta el manejo de los filtros de malla ocurre cuando la captación de agua en el estanque acumulador se encuentra muy cerca del fondo (**Figura N° 2.17**). La velocidad de flujo en las cercanías de la captación es suficientemente alta como para arrastrar partículas depositadas en el fondo. El agua, en principio con baja cantidad de sólidos en suspensión adquiere un aspecto de turbidez. La solución a este problema es instalar un codo para aumentar la distancia entre la captación y el fondo del estanque (**Figura N° 2.18 A**) o colocar una manguera flexible amarrada a un flotador o boya (**Figura N° 2.18 B**).

Figura N° 2.17. Captación de agua muy cerca del fondo.

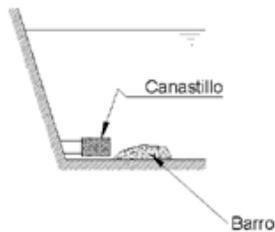
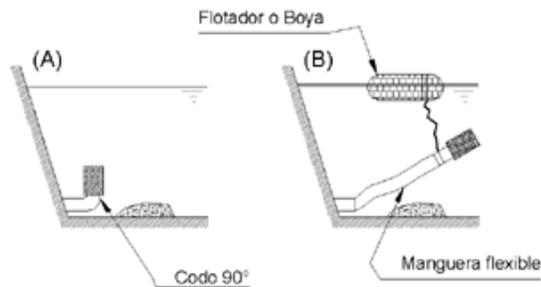


Figura N° 2.18. Posibles soluciones al arrastre de sedimentos.

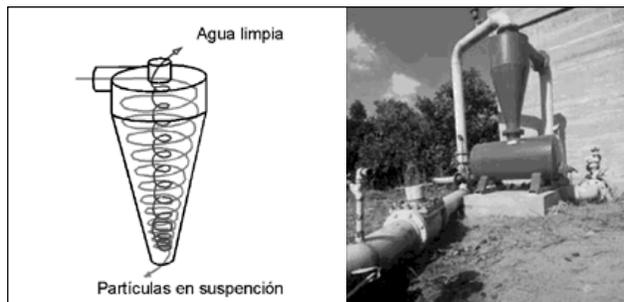


2.7. Hidrociclón.

Una forma de prolongar el período de limpieza es utilizar un Hidrociclón previo a los filtros de grava cuya finalidad es eliminar gran parte de los sólidos en suspensión. El hidrociclón trabaja muy bien reteniendo partículas de sólidos hasta el tamaño de arena fina (100 μm).

Su principio de funcionamiento es hacer girar el agua en forma de un remolino. El punto de menor presión es el centro del remolino donde tienden a emigrar las partículas sólidas en suspensión. Estas se acumulan en un pequeño receptáculo ubicado en la parte inferior. El receptáculo debe ser limpiado en forma regular para evitar la colmatación de la unidad. Un esquema del funcionamiento de un hidrociclón de tipo vertical y una foto aparece en la **Figura N° 2.19**.

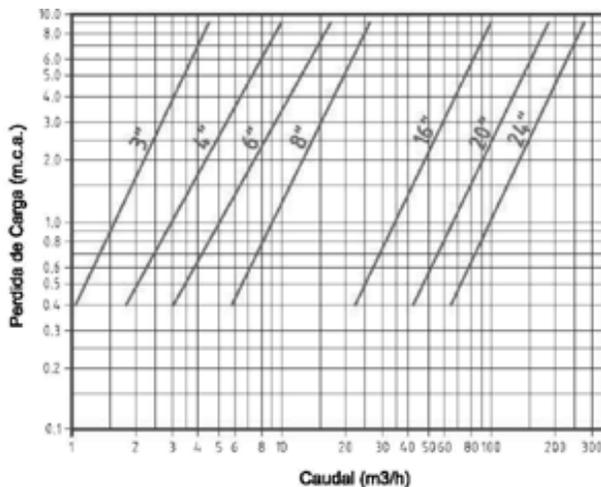
Figura N° 2.19. Esquema de funcionamiento de un hidrociclón y foto.



El hidrociclón no sirve para eliminar partículas de naturaleza orgánica como bacterias, algas y materia orgánica dispersa ya que presentan una densidad específica menor a los sólidos en suspensión. Estas partículas logran pasar el dispositivo siendo necesario su eliminación en un filtro de grava, anillas o malla.

En el hidrociclón, la pérdida de carga se mantiene constante en el tiempo, independientemente del grado de suciedad y es función del caudal y de las dimensiones del dispositivo. Un nivel aceptable de pérdida de carga para un hidrociclón es de 3 m.c.a. Un gráfico que permite calcular la pérdida de carga en función del caudal de trabajo y diámetro del dispositivo aparece en la **Figura N° 2.20**.

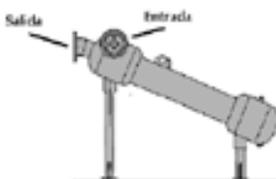
Figura N° 2.20. Perdida de carga en hidrociclones.



El hidrociclón es necesario utilizarlo cuando se riega con aguas turbias. En las condiciones de la III y IV región esta situación se produce en épocas de deshielo en donde el agua trae muchos sólidos en suspensión. El resto de la temporada, el agua contiene muy bajo nivel de sólidos.

Existe en el mercado otro tipo de separador de arena basado en el mismo principio de hidrociclón pero cuya instalación es inclinada en ángulo de 22.5°. Comercialmente reciben el nombre de separadores de arena (**Figura N° 2.21**).

Figura N° 2.21. Separado de arena con inclinación de 22.5°



En separador de arena puede dimensionarse utilizando como referencia el **Cuadro N° 2.10**.

Cuadro N° 2.10. Características separadores de arena.

DIÁMETRO (pulgadas)	CAUDAL (m³/h)	LONGITUD (cm)	PESO (kg)
1/2"	0,9 - 2,3	51	6
3/4"	2,3 - 4,6	51	7
1"	4,0 - 8,7	77	12
1 1/4"	6,0 - 12,0	77	12
1 1/2"	8,7 - 18,0	77	12
2"	14,5 - 27,6	92	20
2 1/2"	23,0 - 41,4	112	25
3"	28,8 - 59,8	122	34
4"	43,7 - 79,4	132	54

Fuente: Rain Bird Clean-flo data sheet 4221.

3. APLICACIÓN DE ÁCIDOS AL AGUA DE RIEGO

El agua se utiliza para riego no es químicamente pura, por el contrario, contiene sales solubles disueltas. La composición de las sales así como la concentración depende de cada tipo de agua en particular. Los tipos de sales más comunes son carbonatos, sulfatos y cloruros de calcio, magnesio, sodio y potasio.

3.1 Concentración de sales en el agua.

La concentración de sales disueltas se mide en unidades de conductividad eléctrica milimho/cm, micromho/cm o deciSiemens/m. Las unidades se abrevian mmho/cm, µmho/cm y dS/m respectivamente. Mientras mayor es el contenido salino del agua, mayor es la conductividad eléctrica. La relación ente contenido salino expresado en mg/l o g/m³ con la conductividad eléctrica es la siguiente:

Ecuación N° 3.1

$$STD = F * CE$$

Donde:

STD = Sólidos totales disueltos (mg/l, gr/m³ o ppm)

F = Factor de proporcionalidad: 640 para valores de conductividad eléctrica (CE) en unidades mmho/cm o dS/m o 0,64 en unidades de micromho/cm.

CE = Conductividad eléctrica del agua a 25 °C.

Las unidades de CE expresadas en mmho/cm y dS/m son equivalentes, 1 mmho/cm es igual a 1 dS/m. Sin embargo, 1 mmho/cm es equivalente a 1.000 µmho/cm. Los valores de CE se miden a temperatura constante de 25°C. En terreno, las mediciones deben ser efectuadas midiendo simultáneamente CE y temperatura del agua. Los valores de CE deben ser ajustados a la temperatura de referencia de 25°C para utilizar la **Ecuación N° 3.1**. La temperatura tiene un efecto sobre la solubilidad de las sales. En general, los carbonatos son menos solubles a temperaturas mayores de 25°C.

3.2 Formación de precipitados.

Algunos compuestos disueltos en el agua de riego pueden precipitar debido a variaciones de presión, temperatura, pH, potencial de oxido-reducción o cambios de concentración relativa de otros compuestos en la solución. El tamaño de las partículas precipitadas pueden alcanzar un tamaño tal que obstruyen los laberintos del emisor, provocando el taponamiento y por consiguiente una disminución de la tasa de aplicación de agua en el lugar afectado. Si el taponamiento es generalizado, puede ser necesario el reemplazo de todos los emisores para recuperar el buen rendimiento del sistema de riego.

3.3 Análisis químico del agua.

Conocer los componentes disueltos en el agua para riego es necesario para cuantificar el riesgo de formación de precipitados y posibles taponamientos de emisores. Un análisis químico del agua es fundamental para determinar la presencia de los diferentes compuestos y poder tomar las medidas o acciones que contribuyan a reducir o eliminar la formación de precipitados.

El **Cuadro N° 3.1** muestra parámetros que permiten determinar la calidad del agua en función del riesgo de formación de precipitados (Fuente: Nakayama y Bucks, 1986).

Cuadro N° 3.1. Calidad química del agua de riego en función de la formación de precipitados.

		RIESGO		
PARÁMETRO	UNIDADES	LEVE	MODERADO	SEVERO
pH		< 7,0	7,0 - 8,0	> 8,0
Sólidos totales disueltos	mg/l	< 500	500-2000	> 2000
Manganeso	mg/l	< 0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
Fierro total	mg/l	< 0,2	0,2 - 1,5	> 1,5
Anhídrido sulfuroso	mg/l	< 0,2	0,2 - 2,0	> 2,0
Dureza total(*)	mg/l	< 150	150-300	> 300

U. of Florida. Boletín N°258. Abril, 1990.

La dureza total se calcula a partir del contenido de calcio y magnesio de acuerdo a la siguiente ecuación:

Ecuación N° 3.2

$$DT = 2.5 * [Ca] + 4.1 * [Mg]$$

Donde:

DT = Dureza Total (mg/l)

[Ca] = Concentración de calcio (mg/l)

[Mg] = Concentración de magnesio (mg/l)

Especial cuidado se debe tener con las unidades utilizadas. La forma más común es expresar la concentración en miliequivalentes/litro (mEq/l). La **Ecuación N° 3.2** utiliza unidades de concentración en mg/l.

El taponamiento de emisores es provocado por la precipitación de uno o mas de los siguientes compuestos: carbonatos de calcio y magnesio, sulfato de calcio, carbonatos, hidróxidos, silicatos y sulfuros de metales pesados, fosfatos, fierro, cobre, zinc y manganeso. Estos compuestos precipitan formando costras que pueden obstruir parcial o totalmente los pequeños conductos u orificios de los emisores. Aguas con alto contenido de sólidos totales disueltos y pH superior a 7 tiene un alto potencial para la formación de precipitados. El compuesto que precipita con mayor facilidad es el carbonato de calcio cuya solubilidad es función del pH del agua y la temperatura. Un incremento en el pH o la temperatura reduce la solubilidad del calcio, y por consiguiente, aumenta la formación de precipitados.

Acidulación del agua de riego:

La adición de ácido al agua de riego tiene como finalidad evitar la formación de precipitados de carbonato de calcio y óxidos de fierro dentro del sistema de riego. La aplicación de ácidos al agua para prevenir el taponamiento acidulación del agua no tiene ningún efecto sobre el control de algas u otros tipos de materia de origen orgánico.

Un análisis químico del agua es necesario para evaluar la posibilidad de precipitación del carbonato de calcio. Existe un valor de pH crítico bajo el cual se asegura que no habrá precipitación de calcio. El valor del pH crítico es función del tipo de compuestos disueltos en el agua y su concentración.

Indice de Saturación de Langelier:

El Índice de Saturación de Langelier (LSI) es el indicador utilizado para determinar la tendencia del carbonato de calcio a precipitar. El Índice de Langelier se define como:

Ecuación N° 3.3

$$LSI = pH_{agua} - pH_c$$

Donde:

LSI = Índice de saturación de Langelier

pH_{agua} = pH del agua de riego

pH_c = pH del agua en equilibrio con la fase sólida del carbonato de calcio, este valor es dependiente de los cationes y aniones presentes en el agua de riego.

De acuerdo a la **Ecuación N° 3.3**, si LSI es positivo, existe riesgo de precipitación del carbonato de calcio. Valores de LSI de cero o negativos aseguran la solubilidad total del carbonato de calcio y por consiguiente, la ausencia de formación de precipitados.

La aplicación del ácido al agua de riego tiene como objetivo bajar el pH a un nivel tal que el riego de formación de precipitados sea mínimo. El valor del pH del agua de riego a nivel de laterales debe ser menor o igual al valor de pHc para obtener un LSI de cero o negativo.

El valor de pHc se calcula sobre la base de los contenidos de calcio, magnesio, sodio, carbonato y bicarbonato expresados en miliequivalentes/litro (mEq/l) utilizando la **Ecuación N° 3.4**.

Ecuación N° 3.4

$$pHc = (pK'_2 - pK'_c) + pCa + pAlk$$

Donde:

pHc = pH del agua en equilibrio con la fase sólida del carbonato de calcio.

(pk_{2'}-pk_{c'}) = Logaritmo negativo de la segunda constante de disociación del ácido carbónico y producto de solubilidad del CaCO₃

pCa = Logaritmo negativo de la concentración de calcio y magnesio en el agua de riego.

pAlk = Logaritmo negativo de la concentración de carbonato y bicarbonato en el agua de riego.

Los componentes de la **Ecuación N° 3.4** pueden determinarse basándose en el análisis químico de una muestra de agua y el uso del **Cuadro N° 3.2**. Alternativamente puede utilizarse el gráfico de la **Figura N° 3.1** o modelos matemáticos (**Ecuación N° 3.5**.)

Para calcular el valor de (pH_{2'}-pK_{c'}) se debe sumar las concentraciones de calcio, magnesio y sodio en mEq/l. Conocido este valor, se ingresa al **Cuadro N° 3.2** por la columna N°1 (Concentración (mEq/l)) y se determina el valor de (pH_{2'}-pK_{c'}) en la columna N° 2.

Cuadro N° 3.2. Información para calcular Índice de saturación de Langelier (LSI)
(Fuente: Bresler, E., B.L. McNeal y D.L.Carter, 1982).

CONCENTRACIÓN (mEq/l)	(pH _{2'} -pK _{c'})	pCa	pAlk
0.1	-	4,30	4,00
0.5	2,11	3,60	3,30
1	2,13	3,30	3,00
2	2,16	3,00	2,70
4	2,20	2,70	2,40
6	2,23	2,52	2,22
8	2,25	2,40	2,10
10	2,27	2,30	2,00
15	2,32	2,12	1,82
20	2,35	2,00	1,70
25	2,38	1,90	1,60
30	2,40	1,82	1,52
35	2,42	1,76	1,46
40	2,44	1,70	1,40
50	2,47	1,60	1,30

De igual forma se procede para determinar pCa y pAlk. El término pCa se obtiene sumando la concentración de Ca+Mg , se ingresa con este valor en la columna 1 del **Cuadro N° 3.2** y se obtiene pCa en la columna N° 3. Para calcular pAlk se suma el contenido de carbonatos y bicarbonatos (mEq/l), se ingresa con este valor en la columna 1 y se obtiene el valor de pAlk en la columna 4.

La **Ecuación N° 3.5** también sirve para calcular los valores de $(pk2'-pk'c)$, pCa y p Alk a partir de la suma de $Ca^{+2}+Mg^{+2}+Na^+$, $Ca^{+2}+Mg^{+2}$ y $CO_3^{-2}+HCO_3^-$.

Ecuación N° 3.5

$$Y = a + b * X^c$$

Donde:

Y = $(pk2'-pk'c)$, pCa o pAlk

X = Suma de $Ca^{+2}+Mg^{+2}+Na^+$, $Ca^{+2}+Mg^{+2}$ y $CO_3^{-2}+HCO_3^-$.

a,b,c = Constantes (Cuadro N° 3.3)

Cuadro N° 3.3. Constantes a,b y c ; Ecuación 3.5

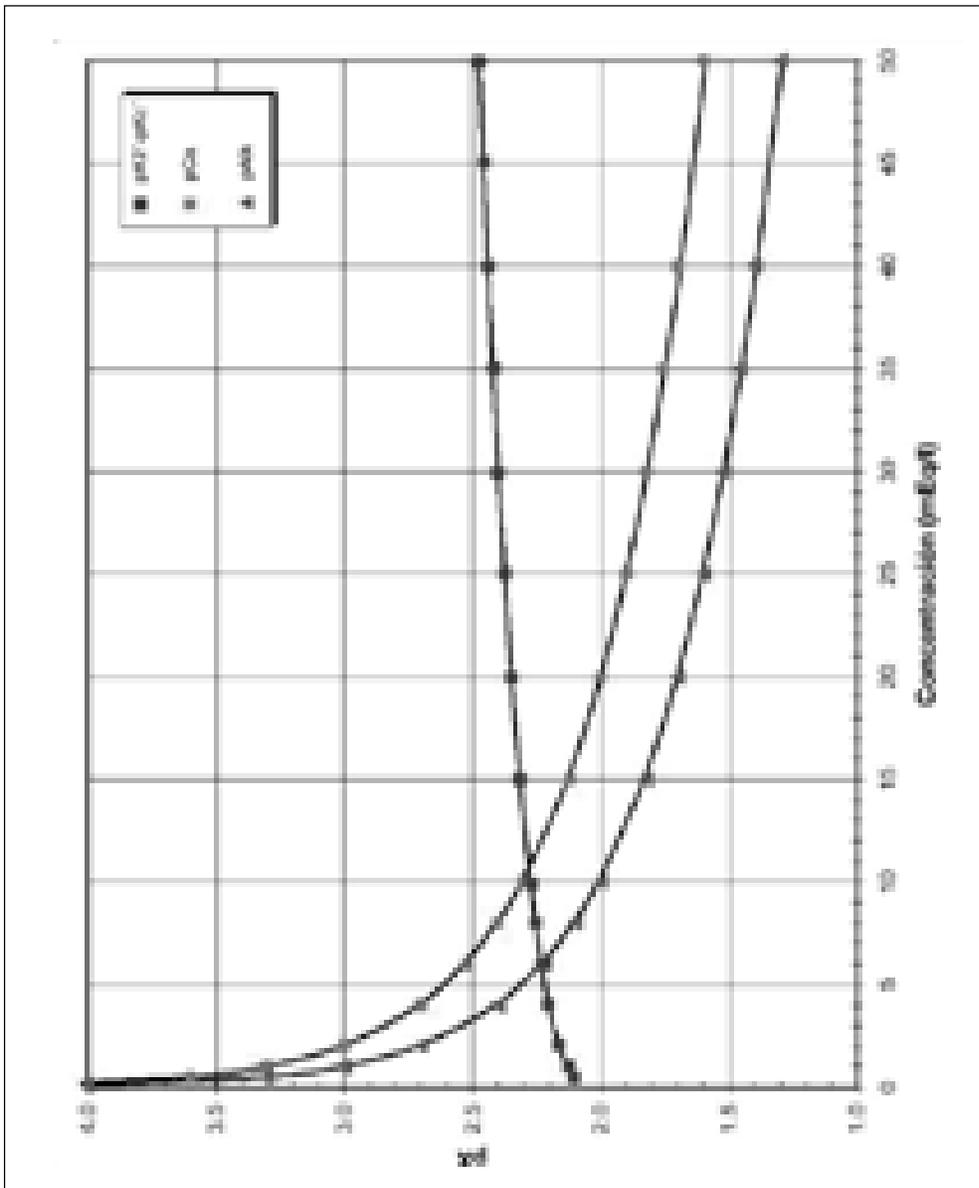
Y	CONSTANTES		
	a	b	c
$(pk2'-pk'c)$	2,021	0,109	0,363
pCa	32,512	-29,204	0,014
pAlk	32,212	-29,204	0,014

La solución gráfica de la **Ecuación N° 3.5** aparece en la **Figura N° 3.1** que también puede ayudar a determinar los valores de $(pk2'-pk'c)$, pCa o pAlk. Para ello, se ingresa con la suma de concentraciones de Ca+Mg+Na, Ca+Mg o $CO_3^{-2}+HCO_3^-$ en el eje X y se obtiene $(pk2'-pk'c)$, pCa o pAlk en el eje Y utilizando la curva correspondiente.

Para un amplio rango de muestras de agua, el valor de pHc es del orden de 6.5 a 6.7. Este es el valor de pH que debe tener el agua de riego para evitar el riesgo de precipitación de los carbonatos.

El LSI solo sirve para determinar el pH ideal del agua de riego para asegurar la ausencia de formación de precipitados. En ningún caso permite calcular la cantidad de ácido necesario a aplicar y el tipo de producto. Esto solo puede ser determinado a través de una titulación en donde se mide el cambio de pH del agua frente a la adición de un determinado volumen de ácido.

Figura N° 3.1. Solución gráfica de la Ecuación N° 3.5.



Ejercicio:

Se dispone del siguiente análisis químico de dos muestras de agua (**Cuadro N° 3.4**). Calcular el Índice de Saturación de Langelier.

Cuadro N° 3.4. Resultado de análisis químico de aguas.

COMPUESTO	MUESTRA 1	MUESTRA 2
pH	7,30	7,00
CE (dS/m)	2,62	2,26
Ca (mEq/l)	7,36	5,64
Mg (mEq/l)	7,50	6,17
K (mEq/l)	0,18	0,19
Na (mEq/l)	12,85	11,00
Cl ⁻ (mg/l)	605	598
SO ₄ ⁼ (mg/l)	192	178
HCO ₃ ⁻ (mEq/l)	8,3	4,7
B (mg/l)	0,24	0,09
RAS	4,70	4,50

Comentario:

De acuerdo con el Cuadro N° 3.1, el riesgo de precipitación del carbonato de calcio es moderado ya que el pH en ambas muestras esta en el rango entre 7 - 8 y los sólidos totales disueltos (STD) son inferiores a 2,000 (Ecuación N°3.1).

Respuesta:

1. El contenido de Sólidos Totales Disueltos se obtiene multiplicando el valor de CE por 640 (**Ecuación N° 3.1**). El resultado se puede expresar en ppm, mg/l o g/m³. Las tres unidades son equivalentes. El resultado aparece en la línea N° 3, **Cuadro N° 3.5**.
2. El valor de (pk₂'-pk'_c) se obtiene sumando el contenido de iones Ca, Mg y Na en unidades de mEq/l y luego utilizando columna 2, **Cuadro N° 3.2**. Alternativamente se puede utilizar el gráfico de la **Figura N° 3.1**. Los valores de (pk₂'-pk'_c) son aproximados. El resultado se muestra en línea 5, **Cuadro N° 3.5**.
3. El valor de pCa se obtiene sumando el contenido de Ca + Mg y luego, se determina pCa utilizando columna 3 del **Cuadro 3.2**. El resultado se muestra en línea 7, **Cuadro N° 3.5**.
4. El valor de pAlk se obtiene sumando el contenido de carbonato + bicarbonato y luego, se determina pAlk utilizando columna 4 del **Cuadro 3.2**. El resultado se muestra en línea 9, **Cuadro N° 3.5**.
5. El valor de pH_c se muestra en línea 10, **Cuadro N° 3.5**.
6. El valor de pH_c se obtiene aplicando la **Ecuación N° 3.4**. El resultado se muestra en línea 11, **Cuadro N°3.5**.

Cuadro N° 3.5. Resultados calculo de LSI.

#	COMPUESTO	MUESTRA 1	MUESTRA 2
1	PH	7,30	7,00
2	CE (dS/m)	2,62	2,26
3	STD (g/m ³) (Ec. 1)	1.676,8	1.7446,4
4	Ca + Mg + Na (mEq/l)	27,71	22,81
5	(pk ₂ '-pk' _c)	2,39	2,37
6	Ca + Mg	14,86	11,81
7	Pca	2,13	1,95
8	CO ₃ = + HCO ₃ -	8,3	4,7
9	(pAlk)	2,08	2,31
10	(pHc)	6,60	6,63
11	LSI	+0,70	+0,37

El valor de pHc para ambas muestras es del orden de 6,6, por lo tanto, el valor de LSI es positivo lo que indica la necesidad de aplicar algún tipo de ácido para bajar el pH del agua a valores cercanos a 6.5 para obtener un LSI cero.

Un aspecto importante es que los resultados de los análisis químicos se expresan en función de una temperatura de referencia 25°C. En laterales de riego, el agua puede alcanzar temperaturas mayores. A mayor temperatura, la solubilidad del carbonato de calcio decrece, por lo tanto, mayor riesgo de formación de precipitados. Debido a este fenómeno, es recomendable que la aplicación de ácido reduzca el valor del pH a un nivel tal que el valor de LSI sea levemente negativo.

Tratamientos con ácido. La aplicación de ácido tiene por objetivo ajustar el pH del agua al pH en equilibrio con la fase sólida del carbonato de calcio y provocar un valor de LSI igual a cero o negativo, situación deseable para evitar la precipitación del carbonato de calcio dentro del sistema de riego. El índice LSI solo indica la necesidad de aplicar algún tipo de producto para bajar el pH, nada indica acerca del tipo de ácido, concentración del mismo o volumen a utilizar. Los productos a utilizar pueden ser ácidos en diferentes formulaciones y concentraciones o productos químicos especialmente desarrollados para este propósito. Dado el costo de este tipo de productos, es recomendable utilizar ácidos debido al alto volumen requerido durante toda la temporada de cultivo.

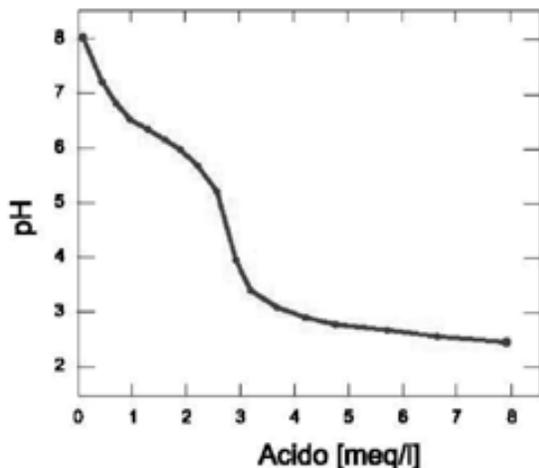
Los tipos de ácidos más comunes en el mercado son sulfúrico, fosfórico, nítrico y clorhídrico. En unidades de volumen, todos ellos tienen diferente poder acidificante. Una muestra de 10 cc de ácido sulfúrico tiene un efecto diferente a un mismo volumen de otro tipo de ácido. Cuando la concentración se expresa en miliequivalentes por litro (mEq/l), el poder acidificante de todos ellos es la misma. Un mEq/l de ácido sulfúrico tiene el mismo poder acidificante que 1 mEq/l de ácido fosfórico.

Para conocer el requerimiento de ácido para un tipo de agua determinado se debe hacer

una titulación en laboratorio. La titulación consiste en observar como desciende el pH de una muestra de agua a medida que se adiciona ácido. La **Figura N° 3.2** muestra una curva de titulación (Fuente: Nakayama y Bucks, 1986).

Si los resultados de la titulación se presenta en unidades de mEq/l, se puede determinar el volumen de ácido requerido conociendo su formulación y concentración. El **Cuadro N° 3.6** muestra las características de algunos tipos de ácidos. El **Cuadro N° 3.7** muestra el volumen de producto comercial calidad laboratorio (cm³) para diferentes unidades de mEq.

Figura N° 3.2. Curva de titulación para una muestra de agua.
Fuente: Nakayama y Bucks, 1985.



Cuadro N° 3.6. Características de algunos tipos de ácidos calidad laboratorio.
Fuente: Martínez, L. Manual de Fertirrigación.

ACIDO	FÓRMULA	PESO ATÓMICO (g)	PESO EQUIVALENTE (g)	DENSIDAD (g/cm ³)	CONCENTRACIÓN (%)
Clorhídrico	HCl	36,48	36,48	1,18	36
Fosfórico	H ₂ PO ₄	98,04	32,68	1,71	85
Nítrico	HNO ₃	63,02	63,02	1,40	65
Sulfúrico	H ₂ SO ₄	98,08	49,04	1,84	95

Cuadro N° 3.7. Equivalencia entre cantidad (Eq) y volumen de ácido (cm³).

Equivalentente	mEquivalentente	Volumen de Ácido (cm ³)			
		Clorhídrico	Fosfórico	Nítrico	Sulfúrico
0,1	100	8,6	2,2	6,9	2,8
0,2	200	17,2	4,5	13,9	5,6
0,3	300	25,8	6,7	20,8	8,4
0,4	400	34,4	9,0	27,7	11,2
0,5	500	42,9	11,2	34,6	14,0
0,6	600	51,5	13,5	41,6	16,8
0,7	700	60,1	15,7	48,5	19,6
0,8	800	68,7	18,0	55,4	22,4
0,9	900	77,3	20,2	62,3	25,2
1,0	1.000	85,9	22,5	69,3	28,1
1,5	1.500	128,8	33,7	103,9	42,1
2,0	2.000	171,8	45,0	138,5	56,1
3,0	3.000	257,6	67,5	207,8	84,2
4,0	4.000	343,5	89,9	277,0	112,2
5,0	5.000	429,4	112,4	346,3	140,3

Ejercicio:

De acuerdo a la curva de titulación de la **Figura N° 3.2.**, ¿cuanto ácido sulfúrico se debe aplicar al agua para lograr un pH de 6,4?

Solución:

La **Figura N° 3.2** indica que para lograr un pH de 6,4 se requiere una concentración de ácido en el agua de 1,2 mEq/l. Esto indica que se requiere adicionar 1.2 mEq de ácido a 1 litro, o también, 1,2 Eq a 1 m³ de agua. El **Cuadro N° 3.7** ayuda a transformar las unidades Eq en un volumen de ácido. 1,2 Eq es la suma de 1,0 + 0,2, por lo tanto, el resultado es el siguiente:

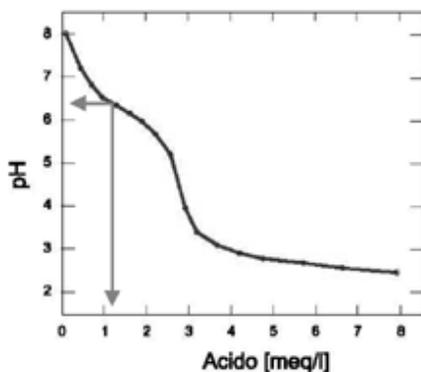
Cuadro 3.7. Desarrollo del problema

Equivalentente	mEquivalentente	Volumen de Ácido (cm ³)			
		Clorhídrico	Fosfórico	Nítrico	Sulfúrico
0,2	200	17,2	4,5	13,9	5,6
1,0	1.000	85,9	22,5	69,3	28,1
Total		103,1	27,0	83,2	33,7

Respuesta:

Se requiere adicionar 33,7 cm³ de ácido sulfúrico a 1 m³ de agua para lograr un pH de 6,4. Alternativamente se puede utilizar 103,1 cm³ de ácido clorhídrico, 27,0 cm³ de ácido fosfórico o 83,2 cm³ de ácido nítrico.

Figura N° 3.3. Determinación de requerimiento de ácido.



Los sistemas de riego presurizado trabajan con caudales. El caudal es el volumen de agua utilizado por el sistema en un determinado tiempo. Las unidades más comunes utilizadas para expresar caudal son litros/segundo o m³/hora. Conocido el requerimiento de ácido, es posible calcular la tasa de inyección.

Ejercicio:

Calcular el inyector para un caudal de trabajo de 50 m³/hora. Utilizar resultados del ejercicio anterior.

Solución:

Para lograr un pH de 6,4, se debe aplicar 33,7 cm³ de ácido sulfúrico a un m³ de agua. Para calcular el requerimiento en 50 m³, se debe multiplicar el resultado anterior por 50. El resultado es 1.685 cm³ de ácido. La tasa de inyección es 1,685 l/h.

Respuesta:

Se debe inyectar ácido a una tasa de 1,685 litros por hora para logra un pH del agua de 6,4

Asumiendo que la evapotranspiración del cultivo de la vid es cercana a 6.000 m³/ha/año, el requerimiento de ácido sulfúrico es de 202 litros/año (considerando la muestra de agua utilizada en el desarrollo del ejercicio anterior). En general, las cantidades de ácido a utilizar son importantes, por lo tanto, el proceso de titulación debe ser realizado en un laboratorio con instrumental apropiado y personal capacitado.

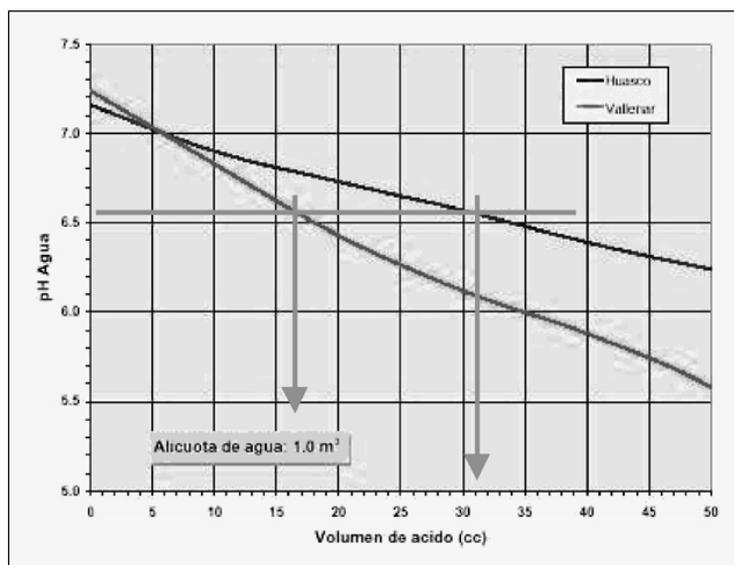
No es sencillo realizar una titulación debido a que las muestras de agua son relativamente pequeñas en comparación al poder acidificante de cualquier ácido, por lo tanto, se debe hacer diluciones que permitan trabajar en condiciones de laboratorio. Cualquier error de procedimiento implicará la utilización de cantidades inapropiadas de ácido que pueden encarecer el costo de operación o no provocar ningún efecto beneficioso sobre la solubilidad de los carbonatos.

Un error de ocurrencia frecuente es la utilización de productos de alta pureza en la titulación, que no es el producto utilizado por el agricultor en terreno. Esto puede provocar que el pH final del agua no sea suficiente como para obtener un LSI negativo, y por consiguiente, la calidad del tratamiento es deficiente. Para disminuir la posibilidad de cometer este tipo de error, se requiere que el agricultor proporcione junto con la muestra de agua (aproximadamente 2 litros), una del ácido a utilizar. Hay disponible en el mercado, ácido sulfúrico con calidad de tipo industrial cuya concentración es inferior al comúnmente utilizado en los laboratorios.

La prueba de laboratorio debe ser efectuada pocas horas después de obtenida la muestra. En general, el pH del agua disminuye con el tiempo debido a la disolución del gas carbónico que baja el pH.

Siguiendo el procedimiento descrito, se procedió a titular con ácido sulfúrico dos muestras de agua: Vallenar y Huasco respectivamente. Las curvas de titulación aparecen en la **Figura N° 3.4**. Las dos curvas son diferentes debido a la composición química del agua. La muestra de Huasco presentó una conductividad eléctrica cuatro veces superior a la muestra Vallenar. El requerimiento de ácido para lograr un pH de 6,6 en el agua fue de 31 y 16 cm³ de ácido sulfúrico por m³ de agua para las muestras de Huasco y Vallenar respectivamente.

Figura N° 3.4. Prueba de titulación con muestras de agua: Vallenar y Huasco. Río Huasco, III Región.



La variación en la composición del agua dentro de una misma cuenca sugiere efectuar pruebas de titulación con la muestra de agua que se utiliza en el riego y la representatividad de dicha muestra es local. Respecto a la variación de la composición química del agua dentro de una temporada o entre temporadas, esta no experimenta cambios significativos, por lo tanto, una prueba de titulación puede ser válida para dos o tres años.

Modificar el pH del agua en forma permanente es la condición de trabajo ideal para cual-

quier sistema de riego presurizado ya que disminuye notablemente el riesgo de obturaciones. Para calidades de agua provenientes de la III y IV Región, las necesidades de aplicación de ácido pueden ser del orden de 200 a 250 l/ha/temporada de ácido sulfúrico.

Durante la operación del sistema, es baja la probabilidad que ocurran cambios físicos y químicos drásticos que promuevan la precipitación de los carbonatos. En el período entre dos riegos cuando el sistema permanece en reposo, si es posible observar cambios de temperatura, presión y otros factores que predisponen la precipitación de los carbonatos.

La aplicación de ácidos durante la etapa final del riego es una práctica que produce buenos resultados a un costo relativamente bajo al disminuir la cantidad de producto utilizado. De esta forma, solo recibe tratamiento el agua que permanece dentro del sistema entre dos riegos consecutivos.

El volumen de agua a tratar, información necesaria para calcular la cantidad de ácido a aplicar puede determinarse cubicando el volumen de agua de todas las tuberías matrices y laterales de riego. Los **Cuadros N° 3.8 y 3.9** proporcionan información de los volúmenes de agua por cada 100 metros de longitud para diferentes tipos y calidades de material.

Cuadro N° 3.8. Volúmenes de agua en mangueras de polietileno y cintas de riego (litros/100 m)

POLIETILENO	VOLUMEN (l)
Cinta 16 mm	20,1
Cinta 22 mm	38,0
Polietileno 12 mm	8,2
Polietileno 16 mm	13,7
Polietileno 20 mm	22,2

El resultado de la cubicación debe ser multiplicado por el factor de seguridad tres debido a que se produce «gasto en camino», es decir, cuando el agua ha alcanzado el lugar mas apartado del centro de control, una parte importante del volumen tratado se ha evacuado por los sectores de riego mas próximos al lugar de la inyección.

El volumen total de agua en las tuberías se calcula basándose en el plano de instalación del sistema. Una copia del plano debe estar en posesión del propietario, otra en manos del administrador y una tercera en el centro de control.

Cuadro N° 3.9. Volúmenes de agua en tuberías de PVC (litros/100 m)

DIÁMETRO NOMINAL (mm)	CLASE		
	C-10	C-6	C-4
32	61,6	-	-
40	102,9	104,1	-
50	160,5	169,1	-
63	255,2	275,2	-
75	361,0	391,5	400,4
90	520,4	562,1	586,3
110	776,0	842,9	875,8
125	1.002,9	1.086,2	1.130,9
140	1.246,9	1.364,3	1.418,7
160	1.642,2	1.781,3	1.852,9
200	2.567,3	2.781,8	2.895,2
250	4.018,5	4.352,0	4.531,3
315	6.379,2	6.909,1	7.191,5
355	8.102,7	8.771,9	9.132,5

Ejercicio:

Se dispone de un esquema de instalación (Figura N° 3.5). Calcular el volumen de agua de todo el sistema de tuberías.

Solución:

De acuerdo al plano de instalación, el inventario de tuberías es el siguiente:

Cuadro N° 3.10. Inventario de tuberías y laterales de riego.

INVENTARIO	LONGITUD (m)
PVC D125/4	329
PVC D63/6	120
PVC D50/6	78
PVC D40/6	72
PVC 32/10	90
PE 16	11.250

La información del **Cuadro N° 3.10** debe ser utilizada para determinar el volumen de agua dentro del sistema en conjunto con los **Cuadros N° 3.8 y 3.9**. Los resultados son los siguientes:

Cuadro N° 3.11. Resultados cubicación.

INVENTARIO	LONGITUD (m)	Vm (l/100m)	Vtot. (l)
PVC D125/4	329	1.130,9	3.720,7
PVC D63/6	120	275,2	330,2
PVC D50/6	78	169,1	131,9
PVC D40/6	72	104,1	75,0
PVC 32/10	90	61,6	55,4
PE 16	11.250	13,7	1.541,3
Volumen Total			5.854,4

Resultado:

El volumen de agua dentro del sistema es 5.855 litros (l). Para estimar el volumen de ácido a aplicar, se debe multiplicar el resultado por el factor de seguridad 3. El resultado es 17.563 l.

La aplicación del ácido debe ser efectuada varios minutos antes del termino del ciclo de riego para dar oportunidad a que el agua acidulada alcance los lugares mas apartados. Para determinar el tiempo, se sugiere utilizar la información del **Cuadro N° 3.12.** (tiempo de recorrido por 100 metros lineales de tuberías). El tiempo estimado debe ser incrementado un 20% como factor de seguridad.

Cuadro N° 3.12. Tiempo de recorrido del agua (minutos/100 metros).

TIPO DE TUBERÍA	L (m)	T (minutos)
Lateral de riego (PE 16 mm)	100	10
Porta laterales (terciaria)	100	2
Secundaria	100	1
Matriz	100	1

Ejercicio:

Determinar el tiempo de recorrido del agua en la instalación de la **Figura N° 3.5.**

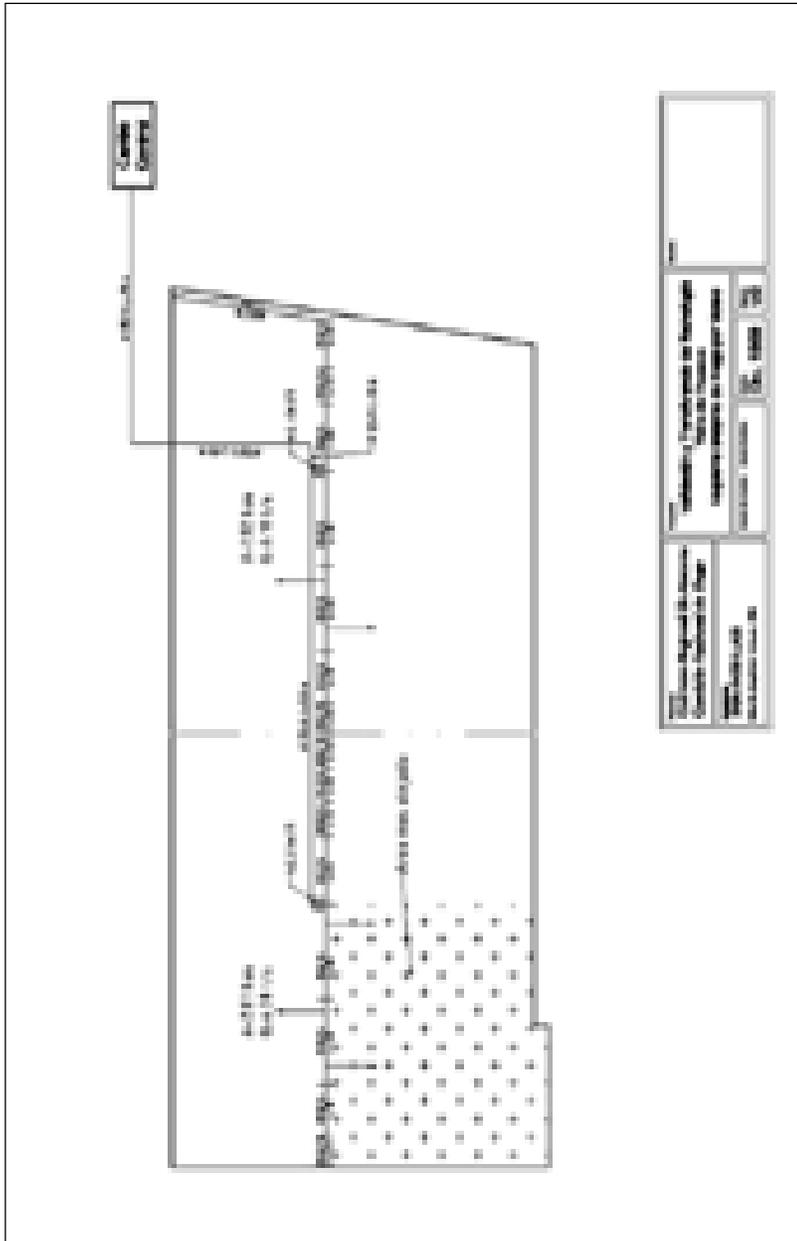
Solución:

En el sector más apartado de la instalación, existe: 80 metros de lateral PE 16 mm, 96 metros de tubería porta-lateral y 309 metros de tubería matriz. De acuerdo al Cuadro N° 3.11, el tiempo de recorrido aproximado es 10 minutos en la lateral, 2 minutos en la tubería porta-lateral y 3 minutos en la tubería matriz. El tiempo total es 15 minutos.

Respuesta:

El tiempo total de recorrido del agua hasta el lugar más apartado del sistema es 15 minutos. La inyección del ácido debe comenzar 15 a 18 minutos antes de finalizar el ciclo de riego.

Figura N° 3.5. Plano de instalación



4. CONTROL DE ALGAS Y BACTERIAS

El agua de riego arrastra en suspensión gran cantidad de microorganismos (algas, bacterias, virus) que por su pequeño tamaño logran traspasar los sistemas de filtración.

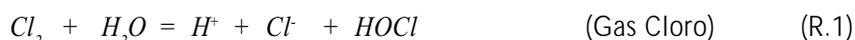
La presencia de microorganismos es normal debido a los sistemas de conducción utilizados y la necesidad de disponer de estanques acumuladores para asegurar el riego en forma frecuente. Aguas en reposo desarrollan colonias de algas con gran facilidad debido a los nutrientes que poseen disueltos, la alta radiación solar y la presencia de material vegetal y animal (**Figura N° 4.1**). En pozos profundos, cuando el agua es utilizada directamente en el sistema de riego, la presencia de algas y bacterias es mínima. Si el agua pasa previamente por un tranque acumulador, esta adquiere una carga de materia orgánica significativa.

Sistemas de riego por goteo con poca mantención han perdido efectividad debido a la presencia de una masa mucilaginosa con aspecto de gelatina que obstruye los emisores y microaspersores. También se han observado desarrollo de colonias de bacterias en válvulas eléctricas y válvulas de aire que impiden el buen funcionamiento de ellas.

Acido Hipocloroso.

El ácido hipocloroso (HOCl) es un buen agente bactericida. Muchos tipos de bacterias y virus son inactivadas a concentraciones de cloro residual de 1ppm por 10 a 30 minutos.

El ácido hipocloroso no se comercializa como tal ya que es un subproducto de una reacción química entre la fuente de cloro (cloro en forma de gas, hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio) y el agua. Las reacciones químicas son las siguientes:



A pesar de que las tres fuentes de cloro pueden utilizarse para el control de microorganismos, solamente el hipoclorito de sodio es utilizado en la mantención de sistemas de riego presurizado. El hipoclorito de calcio es un material sólido granulado utilizado fundamentalmente en la mantención de piscinas y el cloro en forma gaseosa en plantas de tratamiento de agua potable. A pesar que el cloro gaseoso puede utilizarse también en sistemas de riego, no existen los equipos apropiados ni la disponibilidad de productos a nivel de agricultor en el mercado local. El hipoclorito de sodio es líquido y es el mismo producto utilizado en el lavado de ropa.

Figura N° 4.1. Fuentes de materia orgánica y microorganismos en el agua de riego.

Figura N° 4.1.a. Totora



Figura N° 4.1.b. Sauces



Figura N° 4.1.c. Aves



Figura N° 4.1.d. Algas



Figura N° 4.1.e. Vegetación en canales



Figura N° 4.1.f. Vegetación en canales

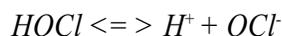


El ácido hipocloroso es un buen biocida ya que reacciona químicamente con el amoníaco (NH_3), con iones amonio (NH_4^+) y grupos aminos (NH_2), componentes de la materia orgánica.

Tanto la utilización de hipoclorito de sodio como de calcio, produce la liberación del ion hidroxilo (OH^-) en el medio, por lo tanto la reacción provoca un aumento del pH.

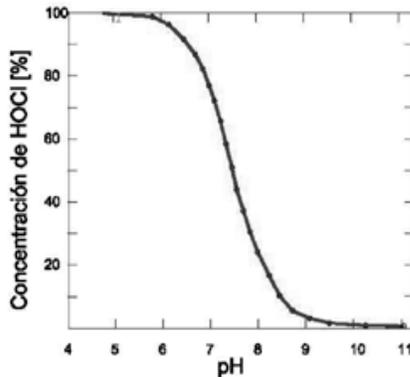
Eficiencia en la formación de ácido hipocloroso.

En un medio acuoso, el ácido hipocloroso se disocia según la siguiente reacción química (R.4):



La reacción R.4 es función del pH del medio. En condiciones de acidez (pH inferior a 7), tiende a predominar el ácido hipocloroso, mientras que en un pH superior a 7 predomina el ion hidrógeno (H^+) y el ion hipocloroso (OCl^-). El gráfico en la **Figura N° 4.2** muestra una curva del % de HOCl presente en la solución en función del pH. A niveles de pH 8.0, sólo el 22% del ácido hipocloroso está disponible para una acción bactericida. A medida que baja el pH, aumenta la disponibilidad de ácido hipocloroso. A niveles de pH 6.0, el nivel de HOCl es cercano al 95%.

Figura N° 4.2. Acido hipocloroso disponible en función del pH del agua.
(Fuente: Nakayama y Bucks, 1985).



Acidificación del agua.

Para aumentar la efectividad del proceso de clorinación, es recomendable que el pH de agua sea inferior a 6.5 para garantizar el 90% del HOCl disponible para el control de bacterias y algas. La disminución del pH se consigue aplicando algún tipo de ácido al sistema. Las cantidades a utilizar dependen del tipo de agua, tipo de producto y concentración, es por eso, que una prueba de titulación en laboratorio es necesaria.

La aplicación de ácido debe efectuarse previo a la inyección de hipoclorito. Nunca se debe preparar una solución madre con hipoclorito y algún tipo de ácido en forma simultánea. A bajo niveles de pH se produce una reacción química que libera a la atmósfera gas cloro que puede resultar tóxico para el operador. La aplicación simultánea de cloro y ácido puede ser efectuada con la utilización de dos inyectoros, uno para cada compuesto.

Cantidad de Hipoclorito de sodio a utilizar.

El objetivo de la cloración es lograr que el agua que permanece dentro del sistema entre dos riegos consecutivos contenga un nivel de cloro libre igual o superior a 1 ppm por varias horas. No todo el cloro que se aplica está disponible para reaccionar con la materia orgánica ya que parte de él reacciona con los compuestos disueltos en el agua de riego, otra parte reacciona con algunos componentes metálicos o plásticos del sistema y otra con la materia orgánica presente en el agua. La cantidad de cloro que queda disponible para el control de algas y bacterias es función de las condiciones locales (calidad de agua, componentes del sistema, etc.) por lo tanto se debe adicionar una cantidad extra. Si se desea 1 ppm de cloro libre, quizás sea necesario aplicar 3 ppm ya que 2 ppm se perderán por diferentes vías. La cantidad de hipoclorito extra a aplicar depende de las condiciones propias del lugar y sólo es posible determinarla por pruebas en terreno.

La prueba en terreno consiste en aplicar diferentes cantidades de hipoclorito expresadas en unidades de cloro libre (ppm). En las laterales de riego ubicadas mas distantes del punto de inyección, se mide el cloro libre residual después que el producto se ha distribuido por todo el sistema. El tratamiento optimo es aquel que asegura un nivel de 1 ppm en terminales de laterales. Concentraciones inferiores a 1 ppm de cloro libre pueden resultar ineficientes para el control de algas y bacterias. Concentraciones mayores implican un mayor costo sin producir un beneficio adicional, esto involucra la utilización de una mayor cantidad de producto y por consiguiente, mayor costo.

Existen en el mercado, test colorimétricos que pueden ser utilizados en el campo para determinar cloro libre residual en muestras de agua. El test se conoce como DPD (NyN-diethyl-p-phenileno). El test que se utilizan en piscinas no sirve para pruebas al nivel de sistemas de riego ya que proporcionan información de cloro total (cloro libre más el que ha reaccionado con la materia orgánica y los componentes solubles en el agua de riego). El test consiste en adicionar el reactivo DPD a una muestra de agua. Después de transcurrido unos segundos, la solución adquiere un color determinado que se compara con una tabla de colores de referencia. El método es suficientemente preciso como para determinar la cantidad exacta de hipoclorito de sodio a utilizar en el lavado de tuberías y laterales.

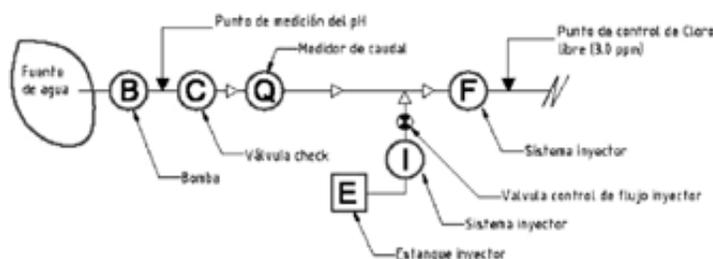
Figura N° 4.3 Test colorimetrico para determinar cloro libre. En operación (A) y comparación de colores con una tabla de referencia (B).



Kovach, Curtis y Hairston (1998) proponen la siguiente metodología para la inyección de cloro al sistema de riego.

1. **Medición del pH del agua.** Obtenga una muestra de agua entre la bomba y la válvula check (Figura N° 4.4). Utilice un instrumento apropiado para ello. Asegúrese que este sea inferior a 7,5. Niveles de pH superiores a 7,5 requieren una mayor aplicación de producto.

Figura N° 4.4. Esquema de un sistema de riego presurizado.



2. **Retrolavado de filtros.** Con el sistema de riego funcionando normalmente, retrolavar los filtros de grava. Esto aumenta la efectividad del ácido hipocloroso al reducir drásticamente la carga de materia orgánica presente en los filtros. Una vez concluida esta operación, permitir que el sistema recupere la presión normal de trabajo.
3. Determine la cantidad de hipoclorito a aplicar en base a un tiempo de inyección de 90 minutos. Esta cantidad depende del caudal de trabajo del sistema. Determinar el caudal en el medidor de flujo [Q]. Si no es posible disponer de un medidor de flujo, utilizar valor de descarga nominal de la bomba. Para calcular la cantidad de hipoclorito a aplicar, utilizar la siguiente ecuación:

$$V_{NaOCl} = \frac{Cl * Q}{[NaOCl]} * Xa [ppm]$$

Donde:

- VNaOCl** = Volumen de hipoclorito a aplicar (litros)
Q = Caudal del sistema de riego
C1 = Constante 0.295 para caudal en litros/segundo y 0.083 para caudal en m³/h
[NaOCl] = Concentración del hipoclorito de sodio [%]
Xa = Concentración inicial de cloro libre [ppm]

Se sugiere iniciar el tratamiento con una concentración de cloro libre de 20 ppm.

Ejemplo:

En un sistema de riego localizado con un caudal de 8 m³/hora (2,22 l/s), calcular la cantidad de NaOCl necesaria para aplicar el equivalente a 20 ppm de cloro libre. La concentración del producto es 5,25%

Solución:

Aplicando directamente la Ecuación N° 4.1:

$$V_{NaOCl} = \frac{0,2952 * 2,22[l/s]}{[5,25\%]} 20[ppm] = 2,5$$

Respuesta:

Se requiere 2,5 litros de hipoclorito de sodio.

Del ejercicio anterior se concluye la necesidad de inyectar hipoclorito de sodio a razón de 2.5 litros en 60 minutos. La situación mas común es la utilización de inyector con caudales de trabajo de 50 litros/hora o mayores, por lo tanto, se debe preparar una solución madre que se ajuste al modelo de inyector disponible. Para el calculo del volumen de agua, utilizar la siguiente Ecuación:

$$V_{agua} = Qi[m^3/h] - V_{NaOCl}$$

Donde:

- Vagua** = Volumen de agua para preparar la solución madre (litros)
Qi = Caudal del inyector (l/hora)
VNaOCl = Volumen de hipoclorito de sodio (litros)

Ejercicio:

Si el caudal del inyector Qi es 50 l/h, y el volumen de hipoclorito de sodio requerido es 2,5 litros, ¿Cómo se debe preparar la solución madre?

Solución:

Aplicando directamente la Ecuación N° 4.2:

$$V_{\text{agua}} = 50[m^3/h] \cdot 2,50 = 47,4$$

Respuesta:

La solución madre debe ser preparada adicionando 2,5 litros de hipoclorito de sodio a 47,5 litros de agua. En la práctica, se vierte 25 litros de agua en un tambor, se agrega 2,5 litros de hipoclorito y luego se rellena hasta completar 50 litros de solución.

4. Ponga en funcionamiento el sistema de inyección y mida el caudal del inyector. Ajustar el caudal del inyector mediante una válvula de compuerta hasta lograr el caudal deseado.
5. Después de algunos minutos de iniciada la inyección, tome una muestra de agua posterior al sistema de filtros y mida el contenido de cloro libre utilizando el test colorimétrico DPD. El resultado debe ser cercano a 3,0 ppm.
 - Si la lectura es 3,0, proseguir con paso N° 6.
 - Si la lectura es sobre 3,0 reduzca levemente el caudal del inyector y espere 3 minutos. Vuelva a repetir la medición de cloro libre. Repetir este procedimiento hasta obtener una lectura de 3,0 ppm.
 - Si la lectura es bajo 3,0 y se realizó el retrolavado de los filtros antes de la cloración, puede existir problemas con la calidad del agua. Es necesario hacer un análisis químico para conocer la causa del problema.
6. Medir el contenido de cloro libre en la lateral más alejada del punto de inyección. Realizar este procedimiento a intervalos de 5 minutos. Una vez alcanzada una concentración de 1 ppm, detener la inyección.

Si no es posible alcanzar un valor de 1 ppm de cloro libre después de 30 minutos de iniciado el proceso y se ha determinado una concentración de 3 ppm a la salida de los filtros, el contenido de materia orgánica del sistema es extremadamente alto. En este caso se debe lavar los laterales y las tuberías matrices y repetir nuevamente el proceso.

7. Después de finalizada la cloración, detener el sistema y esperar al menos ocho horas. Transcurrido este tiempo, se debe hacer funcionar el sistema y lavar tuberías matrices y laterales. Comience por la tubería matriz, prosiga con las submatrices y finalmente los laterales.

Si después del proceso queda solución que no fue utilizada, esta debe eliminarse. No puede guardarla y utilizarla posteriormente debido a que pierde sus propiedades biocidas.

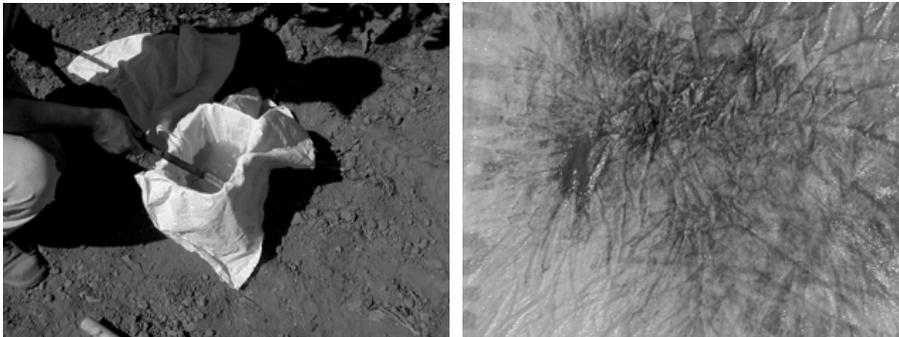
Frecuencia de lavado.

Como regla general, sistemas de riego que utilizan aguas superficiales, deben ser clorados una vez por semana. Sistemas que utilizan aguas de pozo pueden clorarse cada dos o tres. Estos periodos pueden ser alargados hasta 1 vez por mes dependiendo de las condiciones de operación de cada sistema.

Si la cloración es realizada en forma frecuente y va acompañada por un lavado de matrices y laterales, no es necesario realizar lavados adicionales. Si la cloración se extiende por mayor tiempo, se debe seleccionar algunos laterales en forma aleatoria (al azar) y hacerles lavado en forma individual. Se debe recolectar el agua del lavado y observar el contenido de sólidos y materia orgánica. Si el contenido en materia orgánica es notorio, repetir todo el proceso de cloración a toda la unidad. Si la presencia de sólidos es importante, lavar la tuberías sin aplicar hipoclorito.

El monitoreo constante de los laterales de riego es una práctica altamente recomendada y es el mecanismo que asegura al agricultor el mejor indicador para evitar problemas de taponamiento de los emisores. La forma correcta de analizar el contenido de impurezas durante el proceso de lavado de laterales es filtrar el primer chorro con un saco harinero, este actuara como filtro de las partículas orgánicas. La presencia de algas y bacterias produce la formación de pequeños gránulos de color verde oscura, muy fáciles de apreciar a simple vista.

Figura N° 4.5. Muestreo y análisis de los sedimentos durante el lavado de laterales.



El ácido hipocloroso reacciona con la materia orgánica inactivandola, no la elimina. Los residuos pierden la capacidad de multiplicarse, pero pueden formar sustancias mucilaginosas con capacidad para obstruir los emisores.

Cuidados.

El cloro es un elemento peligroso, por lo tanto, se debe seguir rigurosamente las instrucciones del fabricante en cuanto a la manipulación y almacenaje del producto. El operador debe proteger convenientemente sus ojos, manos y piel expuesta al aire utilizando antiparras, guantes de goma, zapatos, etc.

Debe evitarse el contacto del producto con cualquier tipo de fertilizantes. La mezcla puede provocar una reacción química que libera calor en forma violenta con riesgo de explosión. Nunca aplicar hipoclorito en forma simultanea con algún tipo de fertilizantes.

El hipoclorito de sodio se comercializa en estanques de plástico de capacidad variable (5-50 litros). El cloro se descompone rápidamente con la luz directa o cuando se expone a altas temperaturas ambientales o aire. El producto debe ser almacenado en recipientes opacos, de color blanco de preferencia y a la sombra. La bodega debe poseer ventilación para evitar la acumulación de gases tóxicos. No exponer el producto al aire por períodos de tiempo prolongados.

5. EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DE APLICACIÓN

Sistemas de riego localizado tienen eficiencias muy altas, 90% o más, por lo que su uso se ha generalizado en todas aquellas zonas con problemas en la seguridad de riego. Otra ventaja es que todas las plantas reciben la misma cantidad de agua y nutrientes, por lo tanto, se favorecen todas las condiciones para que el cultivo exprese todo su potencial productivo.

Para que un sistema de riego trabaje eficientemente, el agua debe aplicarse en forma uniforme, así todas las plantas recibirán aproximadamente la misma cantidad de agua y fertilizantes. Si el riego no es uniforme, algunas zonas recibirán más agua, de la necesaria y se perderá por percolación profunda, otras plantas recibirán menos y eso afectará negativamente la productividad de esa planta. La uniformidad cobra mayor importancia cuando se trata de aplicar fertilizantes. La interacción agua fertilizante puede alterar enormemente la producción de un árbol frutal, o la productividad por unidad de superficie en hortalizas.

La uniformidad de aplicación del agua es afectada por tres factores:

- Presión del trabajo: La presión no es igual en todos los puntos del sistema.
- Propiedades hidráulicas del emisor. Las propiedades hidráulicas están en función del diseño, de la calidad del producto y temperatura del agua.
- Mantenimiento preventivo del sistema. Sistemas con una deficiente mantenimiento presentan baja uniformidad de descarga. También aquellos que mezclan diferentes tipos de emisores un sub-sector de riego.

La evaluación de las variaciones de presión en la red de tuberías, de las propiedades hidráulicas del emisor y las normas básicas de mantenimiento y operación, contribuirá a identificar las causas que producen la baja uniformidad de aplicación y de las correcciones necesarias para mejorar la uniformidad.

Variabilidad de caudal por fabricación. No todos los emisores presentan el mismo caudal a una presión de trabajo pre-determinada. Por pequeñas diferencias en el proceso de fabricación, el caudal promedio de los emisores es de acuerdo a la curva característica de descarga más una pequeña variación que puede ser positiva o negativa (Ecuación 5.1).

$$q_e = \bar{q} \pm \Delta q$$

Donde:

- q_e = Caudal del emisor (l/hora)
- \bar{q} = Caudal promedio (l/hora)
- Δq = Variabilidad de descarga (l/hora)

La variación de caudal (Δq) se expresa como coeficiente de variación C_v (Ecuación 5.2).

$$C_v = \frac{S_x}{\bar{q}}$$

Donde:

- C_v = Coeficiente de variabilidad de descarga medida en laboratorio
- S_x = Desviación estándar de los caudales
- \bar{q} = Caudal promedio (l/hora)

Los fabricantes de emisores proporcionan información acerca del Coeficiente de variabilidad de descarga (Cv) de sus productos. Mientras menor es el valor de Cv, mejor es su calidad. La American Society for Agricultural Engineers (ASAE), publica una pauta para clasificar el material de acuerdo al coeficiente Cv (**Cuadro N° 5.1**).

Cuadro N° 5.1. Clasificación de calidad de emisores en función del coeficiente Cv.
(Fuente ASAE Standards, 1988).

TIPO DE EMISOR	Cv	CLASIFICACIÓN
Goteros	< 0,05	Excelente
Microaspersores	0,05 - 0,07	Aceptable
Microjets	0,07 - 0,11	Marginal
	0,11 - 0,15	Pobre
	> 0,15	Inaceptable
Cinta(*)	< 0,10	Buena
	0,10 - 0,20	Aceptable
	> 0,20	Marginal o inaceptable

(*) En cintas de riego, la descarga se mide en l/hora/metro de cinta

En general, los coeficientes Cv son menores a 0,04 para muchos tipos de emisores. Para conocer el rango de variabilidad de descarga, se debe aplicar la **Ecuación 5.3**.

$$\Delta q = q * (1 \pm f * C_v)$$

Donde:

Δq = Rango de caudal (l/hora)

q = Caudal promedio (l/hora)

C_v = Coeficiente de variabilidad de descarga medida en laboratorio

f = Factor (1,2,3)

De acuerdo Ecuación N° 5.3 y asumiendo que los caudales se distribuyen en forma normal, el rango de caudales es el siguiente:

- El 68,27 % de los emisores presentan caudales en el rango comprendido entre el caudal promedio y +/- 1 vez la desviación estándar (f=1).
- El 95,45 % de los emisores presentan caudales en el rango comprendido entre el caudal promedio y +/- 2 veces la desviación estándar (f=2).
- El 99,73 % de los emisores presentan caudales en el rango comprendido entre el caudal promedio y +/- 3 vez la desviación estándar (f=3).

Ejercicio.

Para un modelo de emisor tipo autocompensado cuyo caudal promedio es 3,4 litros/hora en el rango de presiones 7 - 41 m.c.a. y un Cv menor a 0,04, calcular el rango de caudales esperados.

Desarrollo.

Un valor de Cv menor a 0,04 implica que en las condiciones más desfavorables, el valor Cv será igual a 0,04. Con este valor y aplicando directamente la Ecuación N° 3 se obtiene:

Cuadro 5.2 Rango de caudales para diferentes probabilidades.

PROBABILIDAD (%)	RANGO DE CAUDALES (l/hora)		VARIABILIDAD (%)
	Menor	Mayor	
68,27	3,26	3,54	8,6
95,45	3,13	3,67	17,3
99,73	2,99	3,81	27,4

Respuesta.

En una instalación de riego por goteo, el fabricante da seguridad que el caudal de aproximadamente 70% de los emisores estará en el rango de 3,26 a 3,54 l/hora. La variación de caudal entre el máximo y mínimo es de 8,6 %.

En general, cuando el sistema esta nuevo, las variaciones de caudal entre emisores no deben superar el rango de +/- 5 % dentro de una sub-unidad para obtener altos índices de uniformidad. En la medida que transcurre el tiempo, ocurren taponamientos, desgaste del material, mezcla de distintos tipos de emisores que afectan el buen rendimiento del sistema. Para determinar la uniformidad de descarga del equipo, debe medirse en terreno caudales de emisores y presiones en las laterales.

Coefficiente de uniformidad (CU).

El coeficiente CU es una expresión matemática que indica la variación de cantidades de agua recibida por el cultivo. Las variaciones son atribuidas a variabilidad de descarga de los emisores, variabilidad de presión dentro de la red, taponamiento por residuos orgánicos, presencia de material fino en las laterales y utilización de diferentes tipos de emisores dentro de una sub-unidad de riego.

Es imposible pretender que todas las plantas reciban exactamente la misma cantidad de agua, pero si es necesario poner ciertos límites a dicha variabilidad con el objetivo de obtener buenos rendimientos y calidad de productos con un mínimo de agua y fertilizantes. ASAE propone la siguiente ecuación para medir el coeficiente de uniformidad CU:

$$CU = 100 * \left(1 - \frac{S_q}{q} \right)$$

Donde:

CU = Coeficiente de uniformidad (%)

S_q = Desviación estándar del caudal de los emisores

q = Caudal promedio (l/hora)

Criterios para determinar la calidad en la uniformidad de descarga de los equipo aparecen indicadas en el **Cuadro N° 5.3.**

Cuadro N° 5.3. Clasificación del Coeficiente de Uniformidad (CU)
(Fuente: ASAE Standards 1988)

CLASIFICACIÓN	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU) (%)
Excelente	100-95
Buena	95-85
Regular	80-75
Pobre	70-65
Inaceptable	< 60

Medición de caudales en emisores.

Para conocer el valor de CU dentro de una sub-unidad de riego que se define como el área regada controlada por un dispositivo de control (válvula o regulador de presión), es necesario medir los caudales de los emisores. Para lograr determinar el caudal promedio y la variación de descarga con precisión, se debe seleccionar una muestra de 32 emisores uniformemente repartidos dentro de la sub-unidad.

Un criterio utilizado para seleccionar los emisores a evaluar es dividir la sub-unidad en 16 cuadrantes conformados por 4 filas y 4 columnas (**Figura N° 5.1**). Para proceder a determinar los límites de cada cuadrante se procede a dividir el largo y el ancho de la sub-unidad por cuatro. El área comprendida por la intersección de una columna con una fila corresponde a un cuadrante. Dentro de cada cuadrante se selecciona dos emisores al azar, los cuales se mide su caudal.

Una forma fácil de operar es aplicar una sencilla ecuación matemática para determinar aproximadamente los lugares a evaluar. El procedimiento consiste en dividir tanto el largo como el ancho por 4. El resultado corresponde a la distancia entre mediciones. La primera medición se efectúa a 1/8 del largo o ancho según corresponda (**Figura N° 5.2**).

Figura N° 5.1. Muestreo uniforme, uso de cuadrantes.

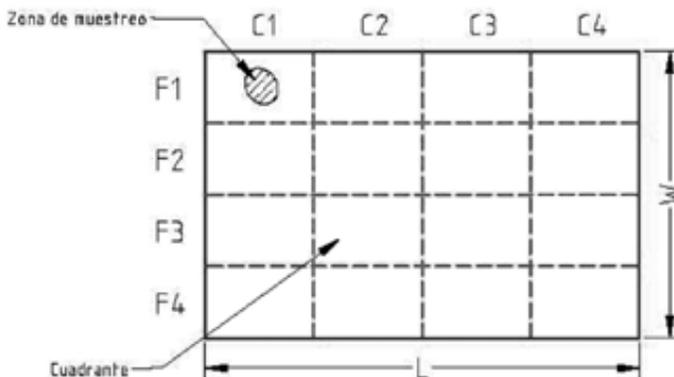
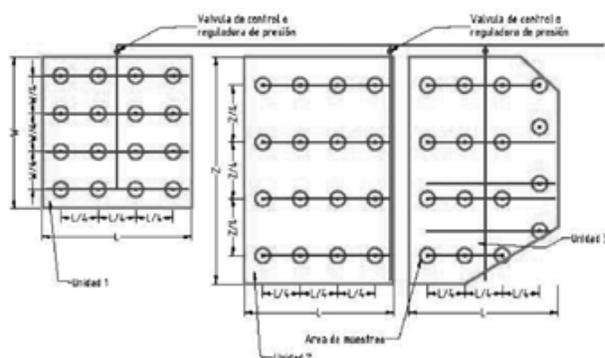


Figura N° 5.2. Muestreo uniforme en sub-sectores con diferente forma.



Ejercicio:

Un parrón esta plantado a 3,5 x 1,75 m. En el sentido de mayor y menor espaciamento hay 199,5 y 131,25 m respectivamente. Proponer un plan de muestreo.

Desarrollo.

La plantación tiene 58 hileras (se divide el largo por la distancia entre hileras y se suma 1) y 76 plantas sobre la hilera. Al dividir el numero de hileras y plantas sobre la hilera por 4, el resultado es 14 y 19 respectivamente. El primer muestreo se debe efectuar en la hilera 7, la segunda en la hilera 21 (7 + 14), la tercera en la hilera 35 (7+14+14) y la cuarta en la hilera 49 (7+14+14+14). Respecto a las plantas sobre la hilera, muestrear cerca de las plantas 9, 28, 47 y 66.

Respuesta.

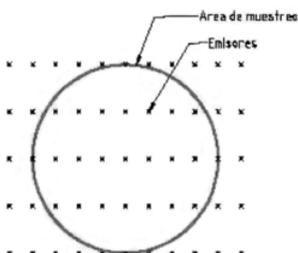
La pauta de muestreo queda como sigue:

Cuadro 5.4. Resultados plan de muestreo

PLANTA	HILERA			
	7	21	35	49
9	X	X	X	X
28	X	X	X	X
47	X	X	X	X
66	X	X	X	X

La pauta de muestreo indica aproximadamente el lugar donde se obtendrán las muestras para efectuar las mediciones. Los emisores a evaluar pueden ser cualquiera que se encuentre en un radio de 10 metros del lugar seleccionado (Figura N° 5.3).

Figura. N° 5.3. Área potencial de muestreo.



Los caudales deben medirse en terreno utilizando un vaso de 250 cc, una probeta de 100 cc y un reloj. Se procede a medir el caudal del emisor recolectando el agua en el vaso por 1 minuto. El volumen se traspa a la probeta para medir el volumen. Al multiplicar el volumen de agua por el factor 0,06 se obtiene el caudal expresado en litros/hora. La Figura N° 5.4 muestra a un operario midiendo caudales en emisores.

Figura N° 5.4. Medición de caudales en cintas de riego



Es conveniente utilizar 1 minuto como tiempo de medición ya que disminuye notablemente el posible error en el inicio y termino de la medición del tiempo. En caso de utilizar cronómetros, el tiempo de recolección puede disminuirse a la mitad.

Ejercicio:

Dada la siguiente información recolectada en terreno, calcular el coeficiente de uniformidad (CU). Las unidades corresponden a cm³ en 1 minuto.

Cuadro N° 5.5. Datos de terreno, medición de caudales

	C1	C2	C3	C4
F1	63	65	64	63
	64	63	60	64
F2	63	65	66	67
	65	62	60	68
F3	65	70	58	72
	67	72	71	73
F4	72	73	70	75
	73	75	74	72

Solución:

Al multiplicar cada valor por el factor 0,06 se obtiene el caudal del emisor en l/h. Los resultados de esta operación aparecen en el Cuadro N°5.6.

Cuadro N° 5.6. Caudales a partir de información de terreno

	C1	C2	C3	C4
F1	3,78	3,90	3,84	3,78
	3,84	3,78	3,60	3,84
F2	3,78	3,90	3,96	4,02
	3,90	3,72	3,60	4,08
F3	3,90	4,20	3,48	4,32
	4,02	4,32	4,26	4,38
F4	4,32	4,38	4,20	4,50
	4,38	4,50	4,44	4,32

El promedio de descarga es 4,04 l/h con una desviación estándar de 0,29. Con esta información y aplicando directamente la Ecuación 5.4 se obtiene el Coeficiente de Uniformidad.

Resultado. El coeficiente de uniformidad CU es 92,8%, valor clasificado como bueno de acuerdo a los estándares de la American Society of Agricultural Engineers (ASAE). A pesar que el coeficiente CU es considerado como bueno, es importante tener en cuenta que aproximadamente el 70 % del área presenta caudales entre 3,75 y 4,33 l/h (el caudal promedio +/- 1 vez la desviación estándar).

En el ejemplo anterior, la variación de caudal es aproximadamente de 15%. Por efecto de la variación por fabricación (C_v), la variabilidad esperada por este concepto es 8%, por lo tanto hay un 7% atribuido a variaciones de presión y por mantención del equipo. Las variaciones de presión pueden minimizarse por diseño y mantenerlas dentro de un rango aceptable. En emisores no compensados, la diferencia de presión dentro de una sub-unidad no debe ser superior al 20% de la presión media (aquella presión en donde el emisor tiene el caudal de diseño).

En taponamiento de emisores aumentará la variabilidad a niveles mayores. El Cuadro N° 5.7 muestra el % de variación de caudal, y rangos de caudales para aproximadamente el 70% de los emisores (datos del ejercicio anterior).

Cuadro N° 5.7. Análisis información Ejercicio

CLASIFICACIÓN ASAE	VARIABLES				
	Sq	CU	_q (%)	q min	q max
Excelente	0,05	98,76	2,51	3,99	4,09
	0,10	97,52	5,08	3,94	4,14
	0,15	96,29	7,71	3,89	4,19
	0,20	95,05	10,42	3,84	4,24
Bueno	0,40	90,10	21,98	3,64	4,44
	0,45	88,86	25,07	3,59	4,49
	0,50	87,62	28,25	3,54	4,54
	0,55	86,39	31,52	3,49	4,59
	0,60	85,15	34,88	3,44	4,64
Regular	0,80	80,20	49,38	3,24	4,84
	0,85	78,96	53,29	3,19	4,89
	0,90	77,72	57,32	3,14	4,94
	0,95	76,49	61,49	3,09	4,99
	1,00	75,25	65,79	3,04	5,04

Para un CU de 95 %, la variación de descarga es de 10% que es el límite inferior del rango considerado como «excelente» por la ASAE. Para la clasificación considerada como «buena», la variación de caudal aumenta en el rango de 22 a 34% y 49 a 65 % en «regular».

La clasificación de ASAE debe ser un primer indicador del estado de operación de un equipo de riego. Aunque el valor de CU en el rango de 90 a 85 % es considerado como «bueno», la variabilidad en la descarga alcanza el rango de 22 a 35 % que es muy alto. Es equivalente a decir que en un determinado sector de riego, hubo plantas que recibieron el equivalente a 6.000 m³/ha/año y otras solo 4.800. Si se desea una alta productividad promedio en todo el sector de riego, los coeficientes de uniformidad (CU) deben ser 90% o mayores.

6. LAVADO DE LATERALES

En sistemas de riego localizado, el taponamiento de emisores es una amenaza que atenta contra el buen rendimiento del equipo. Aun cuando se realice mantención preventiva del sistema, es necesario eliminar en forma regular, todas las partículas que pueden obstruir los emisores lavando las laterales. El lavado es un componente muy importante en el programa de mantención y debe ser efectuado en forma regular para remover cualquier partícula que se acumule en las laterales de riego antes que ellas puedan causar problemas de taponamiento de los emisores.

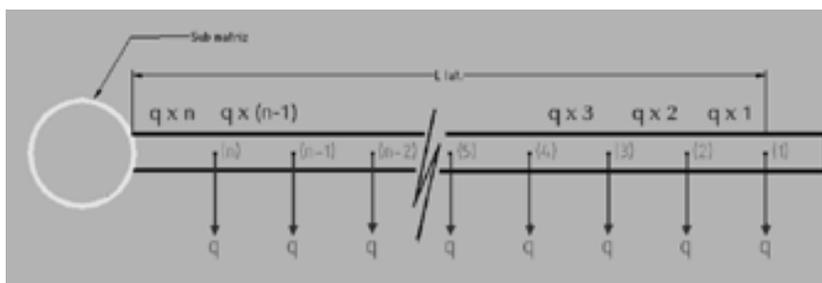
Las partículas que se encuentran al interior del sistema de riego pueden tener diferentes orígenes:

- 1° Sistema de filtros no elimina todas las partículas en suspensión. Debido al alto costo que significa eliminar todos los elementos presentes en el agua, especialmente los de menor tamaño, los sistemas de filtros son diseñados para eliminar partículas de un tamaño equivalente a 1/5 del orificio de salida del emisor, entonces estos no retienen partículas de arcilla, limo e incluso del tamaño de una arena fina de diámetro en el rango de 50 a 100 micrones. Aunque estas partículas pueden ser expulsadas por el emisor, la aglomeración (proceso denominado floculación), puede originar partículas de mayor tamaño que si pueden obstruirlo.
- 2° Algas y bacterias. Elementos de tipo orgánico como algas y bacterias son muy difíciles de eliminar y puede ser el elemento aglutinador que contribuye a la formación de partículas de mayor tamaño. Muchos tipos de algas son demasiado pequeñas como para ser filtradas. Aun cuando ellas sean eliminadas del sistema por la aplicación de Hipoclorito u otro compuesto químico, los residuos orgánicos actúan como agente adherente para pequeñas partículas o grupos de células.
- 3° Pequeños insectos. Otro tipo de agente que puede obstruir los emisores son pequeños insectos que anidan en el interior de emisores y válvulas.
- 4° Precipitados químicos. Las partículas originadas por la precipitación de compuestos solubles presentes en el agua de riego o adicionados al sistema en la fertirrigación pueden también obstruir los emisores. La precipitación puede ocurrir debido a cambios en la temperatura del agua, presión, pH, nivel de oxígeno disuelto o la edición de compuestos químicos como fertilizantes, ácidos o biocidas. La precipitación química sólo puede ser evitada utilizando productos de muy alta solubilidad.

Sedimentación de partículas en suspensión.

En una lateral de riego, la velocidad de flujo disminuye a lo largo de ella ya que toda el agua correspondiente al gasto se distribuye uniformemente. Entre el punto de inserción y el primer emisor pasa todo el caudal. A medida que el agua avanza, parte de ella se pierde por los emisores, por lo tanto, el caudal que continúa es menor a medida que se avanza. En el último tramo, solo el caudal correspondiente al último emisor circula por ella (Figura N° 6.1).

Figura N° 6.1. Esquema de gasto en camino en una lateral de riego.



El régimen de flujo en la lateral se caracteriza por el grado de turbulencia. Cuando no existe turbulencia, las moléculas de agua se mueven en forma paralela al eje longitudinal de la lateral. En tales circunstancias, la velocidad de flujo es muy baja, por lo tanto, no es capaz de arrastrar partículas y estas precipitan depositándose en la parte baja del tubo o manguera.

A velocidades de flujo levemente mayores, existe una transición entre flujo laminar y flujo turbulento denominado régimen de flujo inestable. Ambos tipos se presentan en forma simultánea en diferentes secciones. Los pequeños remolinos que se forman no tienen la fuerza suficiente como para levantar del fondo las partículas decantadas. Ya a velocidades mayores, el flujo es turbulento caracterizándose por el movimiento lateral aleatorio de las moléculas de agua y la formación de remolinos capaces de mantener en suspensión las partículas que han ingresado al sistema de riego.

La velocidad que determina el tipo de régimen de flujo imperante es función del diámetro de la tubería y de la viscosidad del agua. Esta cambia con la temperatura. Existe un factor adimensional denominado número de Reynolds (Re) que permite caracterizar el régimen de flujo en función de la velocidad del fluido, la viscosidad cinemática y el diámetro de la tubería (Ecuación 6.1).

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

Donde:

- Re = Numero de Reynolds (adimensional)
- V = Velocidad de flujo (m/s)
- D = Diámetro de la tubería (m)
- ν = Viscosidad cinemática del agua (m²/s)

La viscosidad cinemática del agua a 20°C es 1.003 x 10⁻⁶ m²/s. Este valor es adecuado para calcular el número de Reynolds en condiciones de riego presurizado. Los valores críticos de Re para los diferentes tipos de flujo aparecen indicados en el **Cuadro N° 6.1**.

Cuadro N° 6.1. Tipos de flujo en función de Re.

TIPO DE FLUJO	NÚMERO DE REYNOLDS (Re)
Laminar	< 2.000
Inestable	2.000 - 4.000
Parcialmente turbulento	4.000 - 10.000
Inaceptable	> 10.000

Fuente: Robertson y Crowe. Engineering Fluid Mechanics.

En una lateral de riego se desarrollan los cuatro tipos de flujo. En la **Figura N° 6.2** se muestra la velocidad de flujo y el Número de Reynolds a lo largo de la lateral expresada en términos porcentuales, para una lateral de polietileno (PE) de 16 mm diámetro externo y emisores de 4,0 l/h. En ella se puede observar que en el último tercio se presentan condiciones de flujo inestable y laminar, lugar donde precipitarán los sólidos en suspensión arrastrados por el

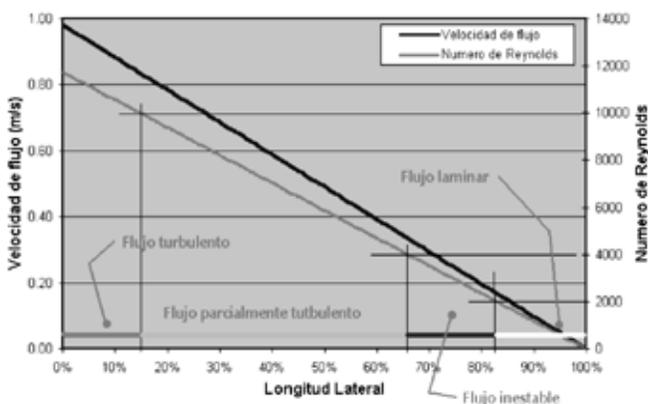
agua. En los primeros 2/3 de lateral, el flujo es turbulento y no habrá decantación debido a la fuerza de arrastre del agua.

Para el lavado de laterales se requiere flujo turbulento con Re mayor de 4.000. El **Cuadro N° 6.2** muestra las velocidades críticas y caudales mínimos de lavado para mangueras de polietileno de diferentes diámetros. Estos valores son de referencia y deben ser duplicados en sistemas de riego por micro aspersión y microjets debido a que los sistemas de filtros son menos exigentes que en riego por goteo o cinta. La abertura de boquilla de los microjets es bastante mayor que en emisores, por lo tanto, tienen la capacidad de eliminar con facilidad partículas de mayor tamaño.

Tabla N° 6.2. Velocidades de flujo y caudales mínimos para el lavado de laterales

Diámetro (mm)		Velocidad (m/s)	Caudal Q (l/min)
Externo	Interno		
12	10	0,4	1,9
16	13,2	0,3	2,5
20	16	0,3	3,0
25	20	0,2	3,8

Figura N° 6.2. Distribución de velocidad de flujo en una lateral de riego por goteo.



Procedimiento

El lavado de laterales consiste en abrir la lateral durante la normal operación del sistema de riego. El agua debe llevar una velocidad suficiente como para remover todas las partículas depositadas en ella, utilizar el **Cuadro N° 6.2** como referencia.

En general, los terminales de las laterales no poseen una válvula especial para proceder al lavado. La lateral se dobla en el extremo y se utiliza una abrazadera confeccionada con un trozo de PVC o polietileno para asegurar el doblé (**Figura N° 6.3**)

El retrolavado se realiza retirando la abrazadera, se procede a enderezar la lateral y se deja escurrir el agua hasta que esta salga limpia (**Figura N° 6.4**). La duración del proceso es

función de la velocidad del flujo. Mientras mayor es el flujo, menor es el tiempo de lavado. Es común que la duración no supere 1 a 2 minutos por lateral. Una vez concluido el proceso, se reinstala la abrazadera y se prosigue con otra lateral.

Figura N° 6.3. Terminales de línea en laterales de riego presurizado.

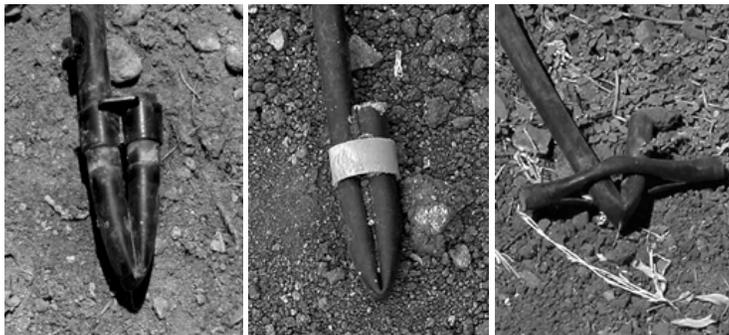


Figura N° 6.4. Lavado de laterales



El problema más común observado al doblar la lateral y usar una abrazadera como elemento de amarre es que en sucesivas sesiones de lavado, la manguera sufre un desgaste a lo largo del pliegue o doblez. La manguera se rompe y comienza a perder agua en forma de un pequeño chorro que puede alcanzar el follaje (**Figura N° 6.7**). Cuando esto ocurre, se debe cortar la parte afectada y volver a hacer otro doblez. Con esto, se va perdiendo manguera que después de un tiempo debe ser reemplazada por una copla y un nuevo trozo de manguera. En el mercado existen una pequeñas válvulas de polietileno que instaladas al final de la lateral facilitan el lavado y evitan el deterioro de la lateral (**Figura N° 6.8**)

Figura N° 6.7. Pérdida de agua en la doblez de la lateral.



Figura N° 6.8. Válvulas de polietileno al final de las laterales.



El lavado de laterales también puede realizarse en forma automática instalando válvulas de lavado al final de cada lateral (Figura N° 6.9). Las válvulas de lavado permanecen abiertas a presiones inferiores a 0,5 m.c.a. Inmediatamente después de iniciar el funcionamiento del equipo comienza el llenado de las laterales. Por un tiempo aproximado de 20 segundos, la válvula permanece abierta permitiendo la salida de un reducido volumen de agua (inferior a 1 litro), suficiente para eliminar las impurezas acumuladas durante el día anterior. También, al terminar el riego, la presión en la lateral disminuye desde el punto de trabajo (8 - 12 m.c.a) a presión atmosférica. Alcanzado la presión umbral de apertura de la válvula, esta se abre y drena completamente arrastrando hacia fuera el material acumulado durante la jornada de trabajo. Este proceso se repite diariamente manteniendo limpias las laterales en forma permanente.

Figura N° 6.9. Válvulas de lavado (line flushing).



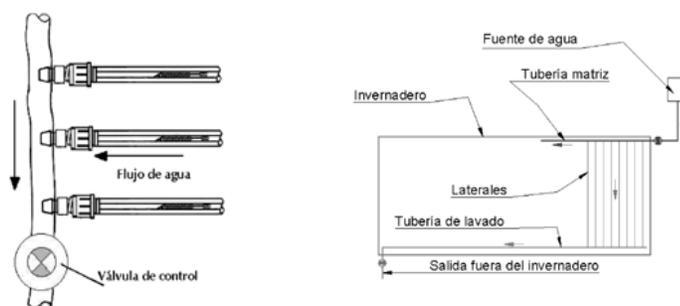
A pesar que esta labor de mantención parece muy sencilla, comúnmente se ve dificultada debido a que las laterales se encuentran amarradas a estacas. Algunas fotos de laterales instaladas en forma inapropiada aparecen en la **Figura N° 6.10**. La dificultad de efectuar un lavado en forma regular puede poner en riesgo la eficiencia del sistema.

En invernaderos, el lavado de laterales se ve dificultado por la acumulación de agua y barro. En estas condiciones es recomendable conectar todas las salidas de las laterales a una tubería de drenaje con salida hacia el exterior del invernadero (Tollefson, 1985). Una válvula de acción manual o eléctrica controla la duración del proceso. Un esquema de la instalación aparece en la **Figura N° 6.11**. La tubería de lavado puede ser instalada a una profundidad de 5 cm. El número de laterales a lavar en forma simultánea está en función del diámetro de la tubería utilizada.

Figura N° 6.10. Laterales instaladas en forma incorrecta.



Figura N° 6.11. Esquema de instalación de un «flushing manifold» para lavado de laterales en invernaderos



Observación del tipo de impurezas.

Es muy importante efectuar una observación visual del tipo y cantidad de material extraído de la lateral. Cuatro tipos de compuestos son comunes de observar:

- Partículas de pequeño diámetro como limos y arcillas que confieren alto grado de turbidez al agua.
- Algas y bacterias que se presentan como gránulos de color verde oscuro.
- Partículas de cuarzo provenientes del sistema de filtros.
- Precipitados originados por la reacción de compuestos disueltos en el agua.

La composición del material permite tomar decisiones respecto al manejo del equipo. Aguas muy turbias sugieren realizar lavado de laterales en forma mas frecuente o modificar el sistema de filtros. La presencia de materia orgánica puede indicar la necesidad de aplicar Hipoclorito u otro compuesto químico para reducir el nivel de algas y bacterias en las laterales de riego. La presencia de partículas de arena en las laterales ubicadas cercas del centro de control puede indicar una falla en el sistema de filtros. La presencia de precipitados de tipo químico puede sugerir la necesidad de inyectar ácido o cambiar los productos utilizados en la fertirrigación.

Para el muestreo del agua, utilice un balde de plástico de color blanco para coleccionar el agua del lavado tan pronto como el proceso comienza. El color blanco favorece el contraste entre el agua turbia y las paredes del balde. También se debe filtrar el agua con un trozo de paño del tipo «saco harinero» para determinar la presencia de algas, bacterias, partículas de cuarzo y precipitados. La **Figura N 6.12** muestra la forma de realizar el filtrado.

Figura N° 6.12. Determinación del tipo de impurezas eliminadas



Frecuencia de lavado

La frecuencia de lavado depende de la cantidad de sedimentos que ingresan al sistema o se generan dentro de él. En algunos sistemas, la calidad del agua es muy buena y sólo una pequeña cantidad de sedimento se deposita en las laterales (agua de pozo usada directamente en el riego). En estos casos, lavados cada tres o cuatro semanas pueden ser suficientes. Sistemas que utilizan aguas de peor calidad deben ser lavados más frecuentemente (cada una o dos semanas). Sistemas que utilizan agua de mala calidad deben ser lavados cada dos o tres días, en estos casos, se hace necesario usar sistemas automáticos para facilitar la operación.

La forma más fácil de determinar la frecuencia de lavado es realizar pruebas en terreno ya que la acumulación de sedimentos es función de la calidad de la fuente de agua, el grado de eficiencia de los filtros y las prácticas de manejo. La forma de realizar la prueba es seleccionar grupos de 10 laterales de un mismo sector de riego y proceder a lavarlas con frecuencia de 1, 2, 3 y 4 semanas. La prueba consiste en lavar las laterales y observar el grado de turbidez del agua, la presencia de algas y hongos y grava de cuarzo. Se debe adoptar aquella frecuencia que proporcione los mejores resultados desde el punto de vista seguridad del equipo, consumo de agua, uso de mano de obra y deterioro de las laterales.

En sistemas de riego instalados en lugares con fuerte pendiente, las pruebas deben ser efectuadas en aquellos cuarteles o sectores de riego donde la presión sea menor ya que estos son los más propensos a presentar problemas de taponamiento. El lavado de laterales con mucha presión es fácil debido a que la fuerza del agua arrastrará con mucha facilidad los sedimentos.

El lavado debe ser programado con la finalidad de realizarlo en un solo día laboral. Durante el proceso se producen fluctuaciones de presión que alteran la normal intensidad de precipitación del equipo y el cultivo recibe menos agua de lo deseado. La menor cantidad de agua aplicada al cultivo se recupera en los días siguientes. El principal problema de realizarlo «de a poco» es lo difícil de cuantificar la menor cantidad de agua aplicada al cultivo.

Sistemas de riego que se abastecen desde estanques, necesitan lavados en laterales más frecuentes debido a la elevada acumulación de algas y materia orgánica en suspensión. Las fotos de la **Figura N° 6.13** muestran estanques de riego por goteo con un muy alto contenido de algas. En estos casos, el lavado de laterales debe hacerse muy frecuente (día por medio) y complementar el trabajo con la aplicación regular de sulfato de cobre en dosificación de 2 a 5 ppm.

Figura N° 6.13 Estanques acumuladores con alto contenido de algas



Instalaciones de riego localizados en frutales de hoja caduca en donde no es necesario el riego por varios meses, es conveniente hacer funcionar el sistema cada 4 a 6 semanas y lavar los laterales para evitar el desarrollo de colonias de algas que pueden contribuir al taponamiento del sistema.

Duración del lavado.

El lavado debe durar hasta que el chorro que fluye por la lateral adquiera las características de limpieza con los cuales trabaja normalmente el equipo. Esto ocurre en poco tiempo (alrededor de 1 minuto) debido a que las impurezas tienden a acumularse en el tercio final de la tubería.

Sistemas de riego que utilizan emisores autocompensados presentarán diferentes presiones de trabajo dependiendo de la posición de la lateral respecto a la fuente de presión. En aquellos sectores con buena presión, la duración del lavado puede ser bastante menor que sectores con presiones mas bajas.

Otro factor es el numero de laterales a lavar en forma simultanea. A mayor numero de laterales abiertas, menor es la presión dentro del sistema, por consiguiente la velocidad de flujo se reduce. Es muy difícil lograr velocidades mínimas de flujo abriendo todas las laterales en forma simultánea. Para resolver esta dificultad es necesario abrir las laterales en grupos de 10, 20 ó 30 en forma simultánea, dependiendo de la presión de trabajo y el caudal proporcionado por la bomba. En sectores muy deficitarios de presión, el lavado deberá ser efectuado por lateral en forma individual.

Aquellos sectores que presentan velocidades de flujo menores a 0,3 m/s, se debe efectuar las modificaciones en el diseño u operación para lograr mayor presión. Los pasos a seguir puede ser:

- Cambio de diámetro de tuberías matrices
- Disminuir el tamaño de los sectores de riego
- Aumentar la presión de la bomba
- Aumentar el área filtrante del sistema de filtros
- Aumento del diámetro de válvulas

Estas modificaciones pueden ser implementadas en forma individual o más de una a la vez, dependiendo de las circunstancias.

Orden en el lavado de laterales y matrices.

Primera prioridad tiene el lavado de las tuberías matrices, después sub-matrices y terciarias y finalmente las laterales de riego. Con este procedimiento se asegura la eliminación de todos los residuos acumulados al interior del sistema de tuberías y mangueras.

Para un lavado efectivo, la velocidad de flujo en laterales debe ser 0,3 m/s. Debido que en terreno es difícil medir las velocidades, el **Cuadro N° 6.3** muestra los caudales que producirán esas velocidades en mangueras de polietileno. Estos caudales deben ser duplicados en sistemas de riego por microaspersión en orden a eliminar las partículas de mayor tamaño.

Cuadro N° 6.3. Caudales mínimos de lavado en laterales

Diámetro externo (mm)	Caudal mínimo (l/min/lateral)
12	1,5
16	2,5
20	3,6

Tuberías matrices trabajan generalmente en el rango de velocidades de 1,3 a 1,7 m/s. Con estas velocidades es muy difícil que partículas pequeñas logren decantar en el fondo de las tuberías. En el proceso de instalación, es común que arenas, pequeñas piedras y restos de viruta de PVC queden dentro del sistema. Previo a la puesta en marcha, es necesario lavar las cañerías para extraer todo este material atrapado al interior de ellas, por lo tanto, se recomienda velocidades de flujo de 1,0 m/s como mínimo. Para lograrlo, es necesario que la válvula instalada al final de la tubería matriz tenga la capacidad suficiente como para lograr esta velocidad de flujo al interior de la tubería.

Por economía, en algunos proyectos se instalan válvulas que resultan de diámetro insuficiente como para lograr las velocidades de flujo deseadas. El **Cuadro N° 6.4** presenta los rangos de caudales para diversos diámetros de válvulas considerando descarga a la atmósfera.

Cuadro N° 6.4. Rango de caudales válvulas de tipo compuerta descargo en la atmósfera

Diámetro Válvula	Caudales (l/s)
1"	1,0 - 1,6
1 1/4"	1,6 - 2,4
1 1/2"	2,3 - 3,4
2"	3,4 - 6,0
2 1/2"	6,0 - 9,1
3"	9,1 - 13,7
4"	13,7 - 24,5
5"	24,5 - 38,0

Ejercicio.

Una bomba con caudal nominal de 180 l/minuto abastece de agua a un sistema de riego por goteo con laterales de polietileno de 16 mm de diámetro ¿Cuántos laterales pueden ser lavados simultáneamente?.

Desarrollo.

El caudal de lavado para una tubería de polietileno es 2,5 l/min. El número de laterales simultáneas que es posible lavar se calcula dividiendo el caudal de la bomba por el caudal de lavado de 1 lateral.

$$\text{N}^\circ \text{ Lat.} = \frac{\text{Q bomba (l/min)}}{\text{Q lateral (l/min/lateral)}} = \frac{180}{2,5} = 72 \text{ laterales}$$

Respuesta.

Se pueden lavar 72 laterales en forma simultanea.

Ejercicio.

Se tiene una tubería matriz de 125 mm de diámetro. ¿Cuál debe ser la dimensión de la válvula que debe ser instalada al final de la tubería?

Desarrollo.

La velocidad mínima de flujo de una tubería para efectuar el lavado es 1,0 m/s. El caudal asociado a esa velocidad es aproximadamente 11,5 l/s. De acuerdo al Cuadro N° 6.4, una válvula de 3" trabaja bien en este rango de caudal.

Respuesta.

Una válvula de 3" es de diámetro adecuado para ser instalada al final de una tubería matriz de 125 mm. Instalar una válvula de menor diámetro no asegura una velocidad de flujo capaz de arrastrar sedimentos depositados en la tubería.

7. OTROS COMPONENTES

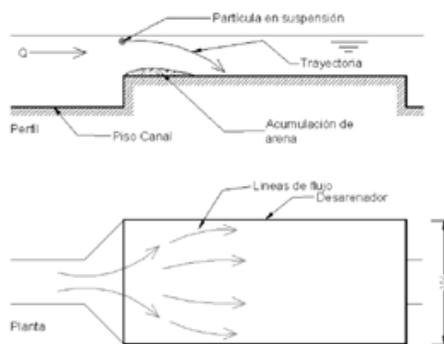
7.1 Desarenador.

Una alternativa para reducir el contenido de partículas en suspensión es la construcción de un desarenador previo a la cámara de succión de la bomba. Esta estructura también puede instalarse previo a la entrada de agua al estanque acumulador.

El principio de funcionamiento de la estructura es disminuir la velocidad del agua para permitir la decantación de las partículas más pesadas. Partículas de naturaleza orgánica como algas, bacterias y virus continúan arrastradas por el agua. El desarenador es una estructura muy simple y consiste en un ensanchamiento del canal alimentador y una disminución de la altura del agua dentro de él con la finalidad de disminuir el recorrido de una partícula desde el nivel donde se encuentra hasta el fondo (**Figura N° 7.1**).

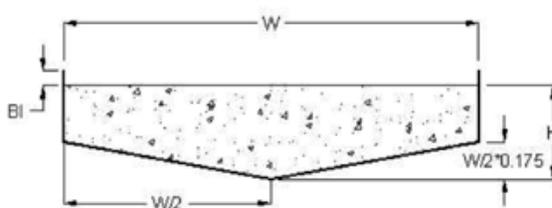
La entrada del agua al desarenador debe ser uniforme por lo tanto se debe diseñar una estructura intermedia con esta finalidad. La salida del agua debe ser a través de un vertedero de pared delgada de todo el ancho de la estructura. Esto permite que el agua experimente una baja aceleración en los tramos finales reduciendo la turbulencia y por consiguiente, el levantamiento de partículas desde el fondo.

Figura N° 7.1. Esquema de un desarenador



El desarenador debe ser limpiado en forma periódica para evitar su colmatación. La arena depositada en el fondo puede ser removida con pala o aprovechar el movimiento del agua para eliminarla. En este caso el piso del desarenador debe tener pendiente hacia el centro de la estructura y hacia la salida de desagüe. El ángulo recomendado es 10° equivalente a una pendiente de 17,5% (**Figura N° 7.2**). Aquellas estructuras ubicadas cerca de un cabezal de riego o una tubería matriz pueden ser limpiadas con ayuda de la fuerza de un chorro de agua. Para ello se necesita de un hidratante en las proximidades de la estructura con una manguera y un pitón.

Figura N° 7.2. Corte transversal de un desarenador



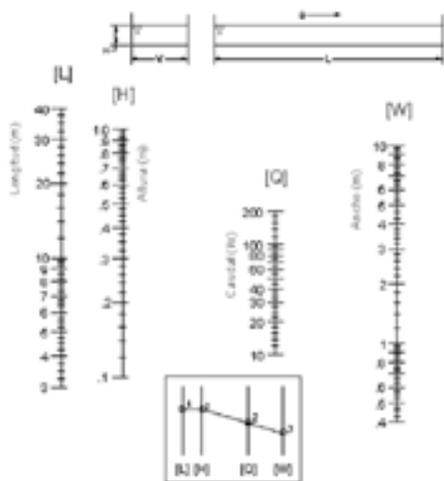
El agua con el sedimento acumulado debe ser conducida hacia un lugar que no cause problemas. Evitar enviar esta agua hacia un canal de riego ya que sólo aumentará el trabajo de limpieza del canal.

El monograma de la **figura N° 7.3** permite calcular el ancho y el largo de un desarenador en función del caudal y la altura de agua promedio dentro de la estructura para tamaños de partículas hasta $50 \mu\text{m}$ (arena fina). Para ello seleccionar el caudal de trabajo en el eje [Q],

la altura de agua deseada [H] y buscar el ancho y largo en el eje [W] y [L] respectivamente. El punto [W] se obtiene uniendo con una línea recta los valores de [H] y [Q] y prolongándola hasta el eje [W]. La longitud de la estructura se obtiene uniendo con una línea horizontal al valor de la altura [H] con el eje [L].

Figura N° 7.3. Nomograma para el diseño de un desarenador.

Nomograma para el diseño de un desarenador



Ejercicio:

Se dispone de un canal que conduce 100 l/s. La altura de agua dentro del desarenador es 0,25 m.

Resultado.

Al unir con una línea horizontal el punto 0,25 en la escala H con la escala L, se obtiene que el largo aproximado de la estructura es 8,2 m. Al unir con una línea el punto 0,25 en la escala H con el punto 100 en la escala Q, la prolongación de esta línea hasta la escala W da como resultado que el ancho de la estructura debe ser aproximadamente 4,2 m. Para disminuir el ancho W, se debe aumentar la profundidad H. Si la profundidad del agua en el desarenador es 0,35 m, el largo y ancho debe ser 12 y 3 metros respectivamente.

El objetivo de diseñar la estructura con poca profundidad es lograr la decantación de las partículas en suspensión en poco tiempo, por lo tanto, la profundidad sugerida para esta estructuras esta en el rango de 0,2 a 0,4 metros. Bajas velocidades del agua permiten que el flujo tienda a ser del tipo laminar para no producir turbulencias que levanten las partículas desde el fondo. La **Figura N° 7.4** muestra un desarenador diseñado en forma inapropiada y que no cumple con el objetivo propuesto de reducir la velocidad de flujo en el rango de 0,2 a 0,3 m/s y lograr la precipitación de las partículas sólidas equivalentes a granos de arena fina a muy fina.

Figura N° 7.4. Desarenador con un diseño inapropiado.



7.2 Problemas en acumuladores.

En ciertas ocasiones, cuando el nivel de sedimento dentro del estanque acumulador está muy próximo al tubo de succión se produce arrastre de sedimento que causa problemas en los filtros. La solución a este problema es:

Limpiar el acumulador.

Este trabajo se debe efectuar en invierno ya que se necesita el tranque vacío y el barro en estado no saturado para facilitar la limpieza. Todos los acumuladores requieren de limpieza. Esta operación se debe efectuar cada dos o tres años dependiendo del grado de acumulación de barro (Figura 7.5).

Figura N° 7.5 Acumulador revestido en PE con mucho residuos adheridos a sus paredes.



Levantar el tubo de sección.

El tubo de succión puede levantarse. Esta acción reduce el volumen de agua disponible para ser utilizado en el riego ya que aumenta el volumen muerto del estanque.

Si el tubo de succión es una manguera flexible, sólo se requiere levantarla lo suficiente como para no remover el sedimento. Cuando el tubo de succión está empotrada en el muro del acumulador, se puede colocar un codo o una curva.

7.3. Otros componentes.

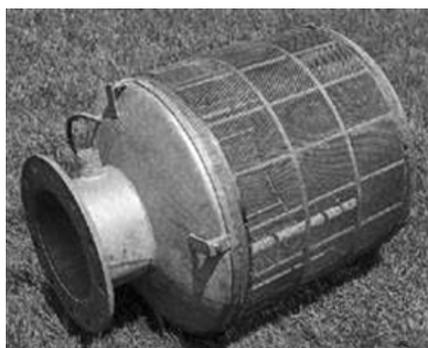
En una instalación de riego presurizado hay otros componentes como canastillos o trampas de basuras que colaboran en el pre-tratamiento del agua. Un pre-tratamiento efectivo ayuda a que los filtros no se saturen rápidamente y así permitir un tiempo de operación expedita por mayor tiempo. También se incluye en esta sección, la aplicación de sulfato de cobre (CuSO_4) para la controlar el desarrollo de algas y bacterias en estanques acumuladores.

7.3.1 Canastillo.

El canastillo es una malla que se coloca en el extremo del tubo de succión para evitar el paso de partículas orgánicas mayores dentro del sistema. Esto comprende peces, restos de hojas, ramillas, etc. Fotos de canastillos aparecen en la **Figura N° 7.6**.

El canastillo debe ser revisado periódicamente ya que una obstrucción causada por plástico o papel puede reducir significativamente el caudal de la bomba, por consiguiente, problemas en la operación del equipo y eventualmente cavitación.

Figura N° 7.6. Canastillo



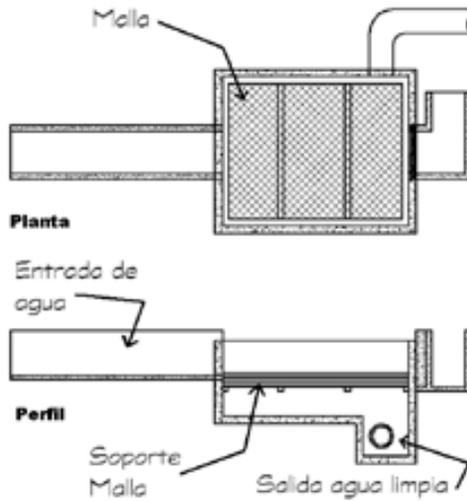
7.3.2. Trampa de basuras.

Es recomendable la instalación de trampas para basuras en el pozo de succión o en la entrada del agua al estanque acumulador con la finalidad de evitar la obstrucción del canastillo.

Las trampas verticales producen mucha pérdida de carga a medida que se acumula basura. La pérdida de carga se traduce en un aumento del nivel de agua, aguas arriba de la estructura y puede causar un desborde del canal. Trampas horizontales causan menos pérdida de carga y pueden tener mayor superficie de filtración. Lo ideal es instalar una trampa horizontal a la entrada del acumulador.

Las mallas debe ser de acero con aberturas de 3 ó 4 cm. Un esquema de una trampa vertical aparece en la **Figura N° 7.7**.

Figura N° 7.7. Trampa horizontal de basura.



7.3.3 Mantenimiento de tranques.

Acumuladores sin la mantención adecuada desarrollan mucha vegetación, principalmente totora, que es el refugio natural de peces, ranas y aves. Producto de esta actividad biológica se originan residuos orgánicos de tamaño muy pequeño que pasa los filtros de grava y quedan retenidos en los filtros de malla o pasan hacia el interior del sistema. Este tipo de residuos puede causar la saturación muy rápida de los filtros de malla con la consiguiente pérdida de presión y detención frecuente del equipo para el lavado de las mallas.

La única forma de prevenir la ocurrencia de este problema es mantener limpio el acumulador. Una opción de tipo correctivo pero de acción limitada en el tiempo es la aplicación de sulfato de cobre. Dosificaciones de 1,2 ppm de CuSO_4 pueden ser suficientes para eliminar gran parte de los microorganismos presentes. Algunas especies como *Peridinium* y *Beggiatoa* pueden requerir dosificaciones mayores del orden de 2 a 5 ppm (Fuente: Boswell, 1990).

Ejercicio:

Se desea aplicar sulfato de cobre a un tranque de 2.000 m³. ¿Cuánto producto se debe aplicar si la concentración deseada es 2 ppm?

Desarrollo:

2 ppm es equivalente a una concentración de 2 g de producto por m³ de agua. Como se desea tratar 2.000 m³, se necesita multiplicar 2 gramos por 2.000 m³. El resultado es 4.000 gramos o 4 kilos.

Resultado:

Se debe aplicar 4 kilos de sulfato de cobre.

En estanques con una muy alta presencia de materia orgánica, aplicaciones de sulfato de cobre en dosis de 30 ppm ha logrado controlar muy bien las colonias de algas. Como esta concentración es relativamente alta, se debe aplicar el producto cuando el estanque tiene un 15 a 25 % de su capacidad. La solución debe permanecer en reposo por 8 a 12 horas y luego llenar completamente el estanque para diluir la concentración del sulfato de cobre en el acumulador a niveles que no resulten tóxicos para los cultivos.

Cuidados especiales deben ser considerados al efectuar el tratamiento, especialmente en aquellos estanques que proveen de agua para la bebida de personas y animales.

8. ACTIVIDADES RUTINARIAS EN LA OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DE LOS EQUIPOS DE RIEGO PRESURIZADO.

Toda maquinaria requiere de revisiones periódicas para determinar su correcto funcionamiento. Además, debe recibir las mantenciones adecuadas para asegurar que esta no falle en periodos críticos. Análogamente, un sistema de riego presurizado puede ser considerado como una maquinaria y como tal se debe efectuar revisiones y reparaciones que permitan el funcionamiento óptimo durante toda la temporada de riego.

A continuación se indicarán las prácticas habituales recomendadas para una adecuada operación de los equipos de riego:

8.1. Revisión todos los días.

8.1.1 Centro de Control.

8.1.1.1 Equipo de impulsión. El conjunto motor-bomba debe ser revisado rutinariamente para asegurarnos de su correcto funcionamiento. Entre los puntos importantes destaca:

- **Ruidos extraños.** Tanto bombas como motores producen un ruido característico cuando trabajan en condiciones óptimas. El ruido debe ser uniforme en el tiempo y libre de golpeteos. Cuando se originan ruidos extraños es un buen indicador de que algo anormal ocurre. En ese caso se debe detener el equipo y revisar el nivel de agua en la succión o el canastillo, que puede estar obstruido por basuras. También genera ruidos la presencia de basuras al interior de la bomba.
- **Vibraciones.** Una bomba bien instalada no debe presentar vibraciones. La vibración es un fenómeno físico que produce gran desgaste mecánico por lo que trabajar con un equipo en esas condiciones provocará mayores problemas en el futuro. Cuando éstas se presentan, es posible que pequeñas piedras queden retenidas en el rodete de la bomba produciendo un desbalance en su rotación. También puede existir un desgaste acentuado de los rodamientos y cojinetes.
- **Presencia de goteras.** La aparición de goteras es un problema menor que debe ser corregido, pero no con la urgencia del caso de ruidos extraños y vibraciones. En esta situación puntual, revisar las empaquetaduras de las bridas, reemplazar válvulas que presenten deterioro físico por envejecimiento. Las goteras se reducen bastante cuando se utiliza Teflón y silicona para sellar las uniones
- **Temperatura del motor.** Los motores eléctricos aumentan su temperatura durante el funcionamiento. Cuando se tocan con la mano, la sensación de calor debe ser tibia. Cuando la temperatura aumenta y «quema», algo anormal ocurre. Las causas pueden ser variadas, entre las que se pueden mencionar:
 - **Elevada altura de succión.** La bomba trabaja sobrecargada por excesivo esfuerzo en la succión. En este caso se debe determinar las causas (disminución del nivel de agua en el estanque, obstrucción del canastillo por basura, insuficiente diámetro en la tubería de succión, excesiva tortuosidad y longitud de la tubería de succión, etc.)
 - **La bomba trabaja en un punto de baja eficiencia.** En este caso analizar los requerimientos específicos de caudal y presión de trabajo. Es posible que se necesite reinstalar la bomba, modificarla cambiando el rodete o el motor. También está la posibilidad de reemplazarla por una nueva que se adapte mejor a las condiciones actuales de trabajo.

- **Excesivo desgaste de los rodamientos y cojinetes:** El aumento de roce produce calor y por consiguiente aumento de temperatura. Mantenimiento apropiada de las bombas y motores contribuirán a reducir el problema.
- **Bajo voltaje:** En equipos accionados por motores monofásicos, el voltaje suministrado por la red eléctrica puede ser menor de 220 volts. En algunos sectores rurales es característico la baja de voltaje en algunas horas específicas. En este caso evitar operar equipo durante los periodos problema. Adicionalmente se puede modificar la instalación eléctrica para reducir las pérdidas de energía por reducción. Para ello, recurrir a un instalador eléctrico autorizado que proponga las soluciones técnicas apropiadas.
- **Nivel estático de agua.** En algunos casos, el nivel de la fuente de agua baja demasiado en relación a la posición de la bomba. En este caso se sugiere detener el equipo hasta que el nivel de agua se recupere a niveles normales.
- **Caudal de trabajo y presión.** El operador debe medir varias veces en el día la presión de funcionamiento del equipo y los caudales. Para ello se debe disponer de manómetros y medidores de caudal.
- **Energía consumida.** Revisar los medidores de voltaje y amperaje en el caso de motores eléctricos. En motores petroleros y bencineros, llevar un registro del combustible utilizado. Cualquier aumento en el consumo de combustible puede indicar problemas en el manejo del equipo.

8.1.1.2 Filtros. Se debe revisar la presión de funcionamiento del sistema a través de los manómetros instalados antes y después de los filtros. El manómetro ubicado a la salida del filtro de malla (o el ultimo manómetro instalado en el cabezal de riego después de los filtros), indica la presión disponible para el funcionamiento apropiado de los emisores más la presión necesaria para el movimiento del agua al interior de tuberías, mangueras y fittings.

La diferencia de presión entre los manómetros de entrada y salida de los filtros indica el grado de suciedad de ellos. Cuando esa diferencia de presión es del orden de 5 a 7 m.c.a, se debe limpiarlos para reestablecer la presión normal de trabajo. Esta operación debe ser realizada las veces que sea necesario. Ello depende del tipo de filtros utilizados y de la calidad del agua de riego. Pérdidas de carga superiores al rango señalado afectará la presión de trabajo en los sectores mas alejados del centro de control.

8.1.1.3 Inyectores de Fertilizante. Todos los días se debe revisar el funcionamiento del sistema inyector de fertilizante. Importante es evitar la acumulación de compuestos poco solubles en el fondo del estanque donde se prepara la solución madre. El «concho» se debe extraer tan pronto como este se acumule. Procurar que el operador utilice los elementos de protección adecuados para proteger sus manos, ojos y vestuario.

8.1.2 Instalaciones de campo. Todos los días se debe revisar el correcto funcionamiento de los laterales de riego y emisores. Cuando hay desperfectos en las laterales, ya sea por una rotura, desacople de uniones y emisores, hay pérdida de agua que no es utilizada en forma beneficiosa, se altera la distribución de presión dentro del sector de riego y la eficiencia de uniformidad disminuye. Estas fallas deben ser reparadas en forma inmediata para recuperar la eficiencia de uniformidad.

Cuando la lateral de polietileno presenta una rotura, se debe cortar la parte afectada y reemplazarla por una copla. Una operación similar debe ser ejecutada cuando la pérdida de agua se produce en la inserción del emisor con la lateral. En este caso, se saca el gotero, se corta la lateral y se instala una copla. El gotero debe ser reinstalado en las cercanías de la copla.

Cuando existe una copla en la lateral y esta se sale por efecto de la presión, la unión debe ser reforzada con dos abrazaderas, una en cada lado de la copla. Las abrazaderas pueden ser adquiridas en una ferretería o ser confeccionadas por el agricultor con alambre y un alicate.

8.2 Revisiones una vez por semana. Al menos una vez por semana se debe realizar las siguientes actividades:

- Revisar el nivel de algas en los estanques acumuladores de agua. Evaluar la necesidad de aplicar sulfato de cobre para reducir la presencia de algas en el estanque. Es preferible aplicar bajas concentraciones de sulfato de cobre (3 a 5 ppm) en forma preventiva que una dosis mayor (30 ppm) en forma curativa.
- En proyectos que consideren el uso de hidrociclones para reducir el nivel de sólidos en suspensión en el agua de riego, estos deben ser limpiados (vaciar el estanque donde se acumula la arena).
- Revisar el nivel de suciedad de las laterales para determinar las necesidades de lavado. El operador responsable del equipo debe abrir la «cola» de dos o tres laterales por sector de riego. De acuerdo al nivel de suciedad observado, se debe programar el lavado de todas las laterales. Es necesario mencionar que la frecuencia de lavado depende de cada sistema de riego en particular. No es posible dar recomendaciones respecto al número de días entre lavados ya que influye la calidad del agua de riego, las características de los filtros y el manejo del equipo.
- De acuerdo al nivel de suciedad de los laterales, se deberá aplicar hipoclorito de sodio para el control de algas y posterior lavado de laterales si el nivel de algas es importante o solo lavado si las impurezas están constituidas por partículas sólidas que logran traspasar los filtros.
- En motores a bencina, se debe realizar las mantenciones sugeridas por el fabricante. Se recomienda consultar el Manual de Operación del motor. En general, el cambio de aceite, filtro de aire y bujía constituyen las prácticas de mantención rutinarias. No realizarlos adecuadamente pone en riesgo todo el equipo de riego y una reducción de la vida útil del motor. Algunos modelos requieren un cambio de aceite cada 50 horas de funcionamiento. En época de muy alta demanda hídrica, las 50 horas pueden acumularse en 10 a 15 días de trabajo, por lo tanto, el cambio de aceite debe realizarse con esa frecuencia.

8.3 Revisiones cada 30 días. Una vez al mes se debe revisar el funcionamiento de los filtros de grava. Es necesario verificar el nivel de la grava dentro del filtro, ya que siempre se pierde algo por el retrolavado.

También se debe revisar el estado de la grava. Si esta se encuentra muy sucia, será necesario sacarla del filtro y lavarla.

Para el lavado de la grava, se debe colocarla en un tambor. El tambor se llena de agua utilizando una manguera de jardín. El agua se deja escurrir por varios minutos en forma

suave con el objeto de no producir arrastre de grava. Mientras se produce el escurrimiento, se debe agitarla para remover la suciedad.

En el caso de que la grava presente altos niveles de suciedad, se debe revisar el caudal de retrolavado. Es posible que se este operando con un caudal de retrolavado inapropiado que no es suficiente como para remover todas las impurezas atrapadas en el filtro. Para aumentar el caudal, se debe abrir la válvula de control de flujo instalada en la salida de los filtros. La velocidad del flujo a la salida de los filtros durante el proceso de retrolavado no es un buen indicador de la calidad del proceso. Una tubería relativamente de poco diámetro producirá una velocidad de flujo más alta a la salida del retrolavado, pero eso no significa que la velocidad dentro del filtro sea la adecuada. El camino más seguro para efectuar un buen retrolavado es seguir las indicaciones de «caudal de retrolavado en función del diámetro de los filtros» indicados en el **Cuadro 2.7**, página 11.

8.4 Trabajos en post-temporada. El equipo de riego debe someterse a mantención durante otoño e invierno para disminuir el riesgo de fallas durante la temporada de riego siguiente. El aspecto más importante es el servicio de mantención a las bombas.

Las bombas, tanto de superficie como de pozo profundo deben recibir la mantención adecuada respecto a las pautas proporcionadas por los fabricantes.

Un aspecto importante lo constituyen las bombas de pozo profundo. El flujo de agua desde el acuífero hacia el pozo arrastra arena y grava que es posteriormente enviada a la superficie junto con el agua. Las partículas sólidas tienen un gran poder abrasivo sobre los componentes móviles de la bomba y por lo tanto, le provocan un gran desgaste. Si el pozo «bota» grava y arena, la bomba debe ser revisada todos los años para evaluar el grado de desgaste de los rodetes.

8.4.1 Otros trabajos en el Centro de Control.

8.4.1.1 Filtros. Revisar los componentes internos de los filtros de grava, malla, anillas e hidrociclones. Reemplazar todos aquellos componentes que presenten deformaciones, roturas, corrosión, desgaste u otros signos de deterioro. También se debe reemplazar empaquetaduras quemadas y pernos oxidados.

8.4.1.2 Manómetros. Cambiar todos los manómetros que presenten fallas, rotura del vidrio, pérdida de glicerina o estén descalibrados. Es conveniente disponer de un manómetro de buena calidad como elemento de referencia para determinar descalibración.

8.4.1.3 Sistema eléctrico. Reparar y cambiar cables eléctricos que presenten daño en la aislación o se encuentren torcidos. Revisar las conexiones eléctricas y los solenoides de las válvulas de retrolavado.

8.4.1.4 Caseta. Reparar el techo para evitar goteras, pintarla, reparar puertas y ventanas.

8.4.2 Otros trabajos en terreno.

8.4.2.1 Drenar todas las tuberías matrices y laterales de riego.

8.4.2.2 Levantar laterales en forma cuidadosa para realizar labores culturales como poda, control de malezas, etc.

8.4.2.3 Efectuar trabajos de mantención a válvulas de bola, de compuerta, de mariposa, de aire y válvulas eléctricas.

8.4.2.4 Pintar toda la tubería de PVC expuesta a la luz solar.

8.4.2.5 Revisar conexiones eléctricas del sistema automático de control de riego.

8.4.2.6 Limpiar cámaras de electricidad y válvulas.

9. LITERATURA CONSULTADA

1. Boswell, M.J. 1990. Micro-Irrigation Design Manual. James Hardie Irrigation Co., El Cajon, CA.
2. Burt, C.M. y S.W. Styles. 1994. Drip and Microirrigation for trees, vines, and row crops. Irrigation Training and Research Center (ITRC). California Polytechnic State University. San Luis Obispo, California.
3. Clark, G.A. y A.G. Smajstrla. 1992. Treating irrigation systems with chlorine. Circular 1039. Florida Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida, Gainesville, Florida.
4. Curtis, L.M. 1998. Acid injection for system maintenance. Micro-Irrigation Handbook ANR-652. Alabama Cooperative Extension System. The University of Alabama.
5. Goldberg, D., B. Gornat y D. Rimon. 1976. Drip Irrigation. Principles, design and agricultural practices. Drip Irrigation Scientific Publications. Kfar Shmaryahu. Israel.
6. Haman, D.Z, A.G. Smajstrla y F. Zazueta. 1989. Screen filters in trickle irrigation systems. AE-61 Agricultural Engineering Fact Sheet. University of Florida. Gainesville, Florida.
7. Haman, D.Z, F. Izuno y F. Zazueta. 1989. Valves in Irrigation Systems. Circular 824. Florida Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida, Gainesville, Florida.
8. Haman, D.Z, A.G. Smajstrla y F. Zazueta. 1994. Media filters for trickle irrigation in Florida. AE-57 Agricultural Engineering Fact Sheet. University of Florida. Gainesville, Florida.
9. Kay, M.G., S.F. Tyrrel, P. Howsam. 1989. Biofouling in drip/trickle irrigation systems. Irrigation, theory and practice. Proceedings of the International Conference. University of Southampton. Pentech Press, London. pp 652-659.
10. Kovach, S.P., L.M. Curtis y J.E. Hairston. 1998. Chlorination to prevent clogging. Micro-Irrigation Handbook ANR-651. Alabama Cooperative Extension System. The University of Alabama.
11. López, J.R., J.M. Hernández, A. Pérez, y J.F. González. 1992. Riego Localizado. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
12. Meyer, J.L. 1985. Cleaning drip irrigation systems. ASAE Pub 10-85, Drip/Trickle Irrigation in Action. Proceedings of the Third International Drip/Trickle Irrigation Congress. American Society of Agricultural Engineers., St. Joseph MI.
13. Nakayama, F.S., y D.A. Bucks. 1986. Trickle Irrigation for Crop Production. Design, Operation and Management. Developments in Agricultural Engineering. Elsevier.
14. Phillips, K.P. 1995. Long-term operation of microirrigation filtration systems; successes, failures and operational solutions. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress. Orlando. Florida. Pp 579-585.
15. Pitts, D.J., D.Z. Haman y A.G. Smajstrla. 1990. Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems. Bulletin 258. Florida Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida, Gainesville, Florida.
16. Ravina, I., E. Paz, G. Sagi, A. Schischa, A. Marcu, Z. Yechiely, Z. Sofer y Y. Lev. 1995. Performance evaluation of filters and emitters with secondary effluent. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress. Orlando. Florida. Pp 244-249.
17. Sagi, G., E. Paz, I. Ravina, A. Schischa, A. Marcu y Z. Yechiely. 1995. Clogging of drip irrigation systems by colonial protozoa and sulfur bacteria. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress. Orlando. Florida. Pp 250-253.

18. Schwab, G.O., D.D. Fangmeier, W.J. Elliot y R.K. Frevert. 1993. Soil and water conservation engineering. 4th edition. John Wiley & Sons, Inc.
19. Smajstrla, A.G., B.J. Boman, D.Z. Haman, D.J. Pitts y F. Zazueta. 1990. Field evaluation of microirrigation water application uniformity. Bulletin 265. Florida Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida, Gainesville, Florida.
20. Smajstrla, A.G. y B.J. Boman. 1999. Flushing procedures for microirrigation systems. Bulletin 333. Florida Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida, Gainesville, Florida.
21. Tollefson, S. 1985. The Arizona System: Drip irrigation design for cotton. ASAE Pub 10-85, Drip/Trickle Irrigation in Action. Proceedings of the Third International Drip/Trickle Irrigation Congress. American Society of Agricultural Engineers.
22. Van Niekerk, A.S. 1995. Measuring the dirtiness of irrigation water for microirrigation filters. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress. Orlando. Florida. Pp 586-591.
23. Walker, W.R. 1979. Sprinkler and Trickle Irrigation. Department of Agricultural and Chemical Engineering. Colorado State University. Fort Collins, Colorado.

Acidulación del agua: Es agregar algún tipo de ácido para bajar el pH y así disminuir el riesgo de precipitación de sales al interior del sistema de riego.

Acondicionamiento del agua: Es la adición de ácidos, biocidas u otro compuesto químico con el fin de mejorar la calidad del agua para reducir el taponamiento de emisores o ajustar el pH.

Biocida: Compuesto químico que mata o controla el crecimiento de bacterias en un sistema de riego.

Centro de Control: Constituye el cerebro y el corazón de un equipo de riego presurizado. Aquí se encuentran los filtros, el sistema inyector de fertilizante, el sistema de control de riego y las bombas.

Cloración: Es la aplicación de un compuesto que posee ácido hipocloroso (hipoclorito de sodio, gas cloro o hipoclorito de calcio) al agua de riego con la finalidad de eliminar microorganismos.

Cloro residual: Es la concentración de cloro que permanece en el agua después de la cloración.

Clorinación: Es la aplicación de cloro al agua para desinfectarla o mejorar sus cualidades para el riego.

Coefficiente de Uniformidad de Christiausen (EUA): En una medida de la uniformidad en la aplicación de agua. Valores de CUL sobre 90 indican una muy buena uniformidad del riego. Valores menores a 70 son inaceptables.

Conductividad Eléctrica: Es la medida de la habilidad del agua para conducir electricidad, la cual es utilizada indirectamente para estimar la cantidad de sales disueltas en el agua de riego, o en el extracto de saturación del suelo. La unidad de medida es el deciSiemens/metro (dS/m). 1 dS/m es aproximadamente 640 gramos de sal disuelta en 1 metro cúbico de agua. 1 dS/m es igual a 1 mmho/cm.

Dureza del agua: Es una medida cuantitativa de la cantidad de Calcio y Magnesio disuelto en el agua de riego. Aguas duras contienen mucho calcio y magnesio, compuestos que pueden precipitar al interior de los emisores provocando el taponamiento de ellos.

Desarenador: Estructura que permite decantar los sólidos del tamaño de un grano de arena.

Eficiencia de aplicación: Es la relación entre la altura promedio de agua infiltrada en el suelo y almacenada en la zona de raíces respecto a la altura de agua aplicada. Se expresa en unidades de «porcentaje».

Emisor autocompensado: Es un gotero o microaspersor que no experimenta cambios en el caudal cuando hay una variación de presión con el sistema de riego.

Emisor no autocompensado: Es un modelo de gotero o microaspersor que aumenta el caudal cuando se produce un incremento de la presión en el sistema de riego.

Evapotranspiración: Es la cantidad de agua transpirada por el cultivo más el agua evaporada directamente del suelo.

Filtro de anillas: Filtro conformado por discos plásticos ranurados. Son muy resistentes a la corrosión.

Filtro de malla: Filtro en donde el elemento filtrante lo constituye una malla de metal o nylon muy fina. La abertura de los orificios de la malla se mide en unidades mesh. Un filtro de malla de 170 mesh es lo aconsejable utilizar en un gran rango de modelos de goteros y cintas.

Hipoclorito de sodio: Compuesto químico utilizado generalmente para lavar ropa. Tiene propiedades bactericidas, por lo tanto, se usa para desinfectar. En riego por goteo, se utiliza para controlar las bacterias al interior de las tuberías, mangueras y emisores.

Índice de saturación de Langelier: Es un indicador que determina la tendencia del carbonato de calcio a precipitar.

Lavado de laterales: Consiste en abrir la «cola» de la lateral y dejar escurrir el agua por algunos

segundos.

Lavado de tuberías matrices: Se utiliza para eliminar residuos que pudiesen quedar dentro de la tubería después de la instalación. Para lavar las matrices se debe abrir la válvula instalada al final de la matriz.

Manómetro: Instrumento para medir la presión del agua en el sistema de riego. Se instalan a la salida de la bomba y a la salida de los filtros. Los operadores del riego también deben disponer de uno para medir las presiones de trabajo en las laterales.

Mesh: Unidad de medida de mallas y corresponde al número de hilos por pulgada lineal. Un filtro con una malla de 120 mesh retiene partículas hasta del tamaño de una arena muy fina.

Microorganismos: Pequeños seres vivos de muy pequeño tamaño. Bajo esta categoría se agrupan las bacterias.

pH: Es una medida del grado de acidez o alcalinidad de una solución. El valor de pH igual a 7,0 indica que la solución es neutra. Valores superiores a 7,0 indican que la solución es de reacción alcalina, e inferior a 7,0, es ácida. El pH del agua de riego en el valle de Huasco es variable dependiendo de su proximidad a la desembocadura del río Huasco. En la zona alta (San Felix, El Transito), el pH es ligeramente alcalino (7,2 - 7,5), mientras que en la zona de Huasco Bajo, el pH esta en el rango de 8,1 a 8,5.

Precipitación de sales: Las sales en solución acuosa pueden encontrarse totalmente o parcialmente disueltas. Cuando esto último ocurre, se produce un «precipitado» o «concho» en el fondo del recipiente. Cuando la precipitación ocurre dentro del sistema de riego, existe un alto riesgo de taponamiento de emisores.

Requerimiento de agua del cultivo: Cantidad de agua necesaria para satisfacer la demanda de agua del cultivo. Es equivalente a la evapotranspiración del cultivo e influye las condiciones atmosféricas imperantes, la especie y variedad, el % de cubrimiento y el periodo fenológico.

Riego por goteo: Método de riego localizado donde el agua es aplicada en forma de gotas a través de emisores, comúnmente denominados «goteros». La descarga de los emisores fluctúa en el rango de 2 a 4 litros/hora/emisor.

Sólidos totales disueltos: Representa la cantidad total de iones disueltos en el agua de riego. Los principales iones son: Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Sulfatos, Cloruros, Nitratos y Carbonatos.

Titulación: Es el proceso para determinar cuánto decrece el pH del agua al agregar algún tipo de ácido.

Uniformidad de aplicación: Se refiere a la relativa homogeneidad en la aplicación de agua. Cuando el riego es muy uniforme, todo el terreno recibe la misma cantidad de agua por planta o por unidad de superficie.

Válvula Check: Dispositivo de seguridad que impide la devolución del agua hacia la fuente de origen.

Válvulas eléctricas: Válvulas que pueden abrirse o cerrarse utilizando una señal eléctrica. En el mercado nacional, las válvulas funcionan con una señal de 24 volts corriente alterna.

Válvulas de aire: Son dispositivos que permiten la entrada y la salida de aire desde el interior de las tuberías.