CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

"OBSTRUCCIONES DE EMISORES DE CINTAS DE RIEGO POR GOTEO EN HORTICULTURA INTENSIVA"

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

EVERARDO EYMARD RAMOS MIJANGOS

SALTILLO, COAHUILA. AGOSTO 2008

CENTRO DE INFORMACIÓN
03 OCT 2008
RECIBIDO

"OBSTRUCCIONES DE EMISORES DE CINTAS DE RIEGO POR GOTEO EN HORTICULTURA INTENSIVA"

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

EVERARDO EYMARD RAMOS MIJANGOS

EVALUADORES:

DR. LUIS IBARRA JIMÉNEZ
PRESIDENTE

DR. MARCO ANTONIO ARELLANO GARCÍA
VOCAL

SALTILLO, COAHUILA. **AGOSTO 2008**

"OBSTRUCCIONES DE EMISORES DE CINTAS DE RIEGO POR GOTEO EN HORTICULTURA INTENSIVA"

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

EVERARDO EYMARD RAMOS MIJANGOS

ASESOR:

DR. JUAN PLUTARCO MUNGUÍA LÓPEZ
ASESOR DEL CASO DE ESTUDIO

SALTILLO, COAHUILA. **AGOSTO 2008**

ÍNDICE

Introducción.....1

2–Objetivo.....2

3-Revisión bibliográfica.....2

3.1-Calidad del agua.....4

3.2-Obstrucción Biológica.....6

3.3-Solución al problema de obstrucción biológica debido a las algas.....7

3.4-Prevención y control de bacterias y otros microorganismos.....10

3.5-Obstrucción Química.....12

3.6- Tratamiento para evitar obstrucciones químicas.....14

3.7-Obstrucción Física.....18

3.8-Control de las obstrucciones físicas.....18

3.9-Prefiltrado.....19

3.10-Equipo de filtrado.....20

3.11-Eliminación de sedimentos minerales.....20

3.12-Hidrociclón.....21

3.13-Filtros de arena.....23

3.14- Filtros de grava.....23

3.15-Filtro de malla.....24

3.16-Filtro de discos.....26

4-Estado actual de las investigaciones en obstrucciones en riego por goteo.....27

4.1-Causas de obstrucción de los emisores.....27

5-Áreas de oportunidad.....29

5.1-Tecnología de filtros, biofiltros y control biológico para obstrucciones.....29

6-Conclusiones y recomendaciones.....31

7-Referencias bibliográficas.....32

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tamaños de la sección de paso y su sensibilidad para las obstrucciones.....5

Cuadro 2. Probabilidad de ocurrencia de obstrucciones, según contenido de partículas y sustancias disueltas en el agua.....6

Cuadro 3. Tipo de filtro recomendable según origen del agua.....20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño de un hidrociclón, que permite filtrar un gran porcentaje de partículas muy densas.....22

Figura 2. Filtro de grava y sus componentes, que permiten filtrar materia orgánica.....24

Figura 3. Filtros de malla y sus componentes, se realiza una filtración más eficiente que los filtros de arena.....25

INTRODUCCIÓN

El escaso o nulo mantenimiento que los agricultores realizan a los equipos de riego tecnificado ocasiona un sin número de inconvenientes que se traducen en una reducción de la vida útil de los equipos. La obstrucción de los emisores es uno de los principales problemas a los cuales debe enfrentarse el agricultor al manejar un equipo de riego localizado. La obstrucción de los emisores, altera el normal abastecimiento de agua a la planta; disminuyéndolo y en casos graves puede llegar a suprimirlo, reduciendo la eficiencia del sistema, debido básicamente a alteraciones en los patrones de distribución y uniformidad de aplicación del agua riego. Estos problemas no solo causan daño al cultivo por un déficit hídrico inducido, sino que del mismo modo elevan los costos implícitos en el sistema productivo, dado que se requieren materiales y mano de obra adicional para su corrección. A modo de ejemplo, es común la práctica en un gran número de agricultores del recambio de cintas de riego.

El suministro de pequeños volúmenes de agua por emisores de escaso tamaño con baja presión de operación, predispone a la obstrucción de los goteros. Sin embargo, el factor principal se encuentra asociado con la calidad (características físicas, químicas, biológicas) del agua de riego, es así como entre los principales problemas se puede citar: depósitos con aguas estancadas, aguas con abundante carga de partículas en suspensión, composición química y del mismo modo la utilización de aguas salinas induce la obstrucción de emisores, debido a que al evaporarse el agua, la sal queda en los goteros después de cada riego, adhiriéndose a las paredes de los orificios de salida de agua ocasionando su obstrucción.

Según el tipo de obstrucciones puede ser relativamente fácil su prevención, como ocurre con el caso de las partículas minerales del agua en suspensión, esto es un control relativamente fácil. No ocurre del mismo modo con las obstrucciones del tipo biológico y químico que por lo general acontecen al interior de la red hidráulica. Estos sedimentos se tratan y evitan con la aplicación preventiva de productos químicos y el manejo racional de los fertilizantes.

Es importante averiguar en cada caso la razón generadora de las obstrucciones, ya que de esta forma elegimos el mejor método correctivo o preventivo y es posible efectuar un control más eficiente en los casos ya mencionados.

OBJETIVO

Descripción y tratamiento de los principales agentes físicos, biológicos y químicos que causan problemas de obstrucción en los emisores.

Discusión, análisis y recomendaciones actualizadas de las obstrucciones físicas, químicas y biológicas.

3-REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La agricultura de regadío es el mayor consumidor de agua en el mundo. En las zonas con climas secos, cultivos de riego requiere de 50% a 85% del total del uso del agua (Hamdy, 2001). El riego por goteo es un sistema de riego muy eficiente, ya que ha permitido ahorrar en muchos países del 30% al 60% de agua, que si usaran el riego por aspersión, (FAO, 2006); este "riego localizado" se define internacionalmente como "microirrigación" y es la aplicación del agua al suelo con alta frecuencia y directamente a la zona de raíces (Gil y Khan, 2002; y Evans, 2000). A pesar de que el consumo de energía de sistemas de riego por goteo es baja, ya que funcionan a bajas presiones, su inversión inicial es alta. Como resultado de ello, la vida útil de estos sistemas debe ser más larga (Degirmencioglua, 2007).

Las condiciones de funcionamiento de un sistema de microirrigación puede variar debido a las caídas de presión en bombas, filtros y tuberías, así como obstrucción de emisores (Arbata *et al.*, 2008; Ravina *et al.*, 1997). Los factores que afectan la uniformidad en un riego por goteo subsuperficial son: Obstrucciones, intrusiones de raíz, el tipo de suelo, tiempo de vida del sistema (Lamm y Camp, 2007). La obstrucción de emisores es el mayor problema de mantenimiento de los sistemas de riego por goteo (Keller y Bliesner, 1990).

La sensibilidad del emisor a las obstrucciones para una misma calidad de agua depende fundamentalmente del diámetro de sección mínima de paso, de la velocidad de recorrido del agua y diseño hidráulico de la sección del laberinto del emisor. El diseño debe prevenir no solo las posibles obstrucciones internas si no también las que se pueden producir del exterior al interior del emisor cuando finaliza el tiempo de riego, por efecto de la entrada de aire en las tuberías laterales. Muchos de los emisores autocompensados son muy sensibles a las obstrucciones debido a que la presión se reduce en la sección de paso. La velocidad del agua

dentro de la sección del laberinto del emisor tiene tanta importancia como la sección de paso del emisor, ya que en goteros de largo recorrido pueden llegar a producir sedimentos. En general, se recomienda que el sistema de filtrado no deje pasar partículas solidas cuyo diámetro sea superior a una décima parte del diámetro de la sección mínima de paso del emisor.

Los emisores de bajo caudal, menos de 16 litro/hora, presentan mayor riesgo de taponamiento por tener diámetros de paso del agua más pequeños, (Pavón, 2000). El gasto liberado por un gotero es función de la presión de funcionamiento, está condicionado por obstrucciones, deformaciones, procesos de fabricación, etc. (Ludwick, 1997). Boswell (1992), clasifica un riesgo eminente para los goteros (un gasto de 2 o 4 LPH a una presión de 101.2 kPa); Capra y Scicolone (1998) clasifica el riesgo a un gasto más alto (descarga de 8 a 16 LPH).

La sensibilidad del emisor a las obstrucciones para una misma calidad de agua depende fundamentalmente del diámetro, de su sección mínima de paso, de la velocidad del agua a través de esta sección y de la configuración o diseño de la misma (Cuadro 1). Según el diámetro de la sección mínima de paso, los goteros, tuberías emisoras y sistemas integrados pueden clasificarse en: Poco sensibles, sensibles, muy sensibles a las obstrucciones (González *et al.*, 1992).

Cuadro 1. Tamaños de la sección de paso y su sensibilidad para las obstrucciones, (González *et al.*, 1992)

Muy sensibles a las obstrucciones:	$d \leq 0.7$ mm
Sensibles	$0.7 < d \leq 1.5$ mm
Pocos sensibles	$d > 1.5$ mm

d=Diámetro

La presencia de zonas muertas en los conductos del agua dentro del emisor puede aumentar la sensibilidad a las obstrucciones (Fernández *et al.*, 1992). Cuando mayor es la velocidad menor es el riesgo de sedimentación; por tal razón se prefiere el régimen turbulento

al laminar. Se considera que por encima de 4.5 ms^{-1} disminuye el riesgo de obstrucciones por sedimentación Bucks *et al.*, (1982) y también Capra y Scicolone (2006) aconsejan usar emisores de laberinto que de vórtice.

Hay otros factores que afectan a las obstrucciones; uno de ellos es el recorrido más o menos tortuoso del agua en el interior del emisor: los puntos donde la trayectoria cambia bruscamente son más propensos a la formación de depósitos. Otro factor negativo es la presencia de materiales que dejan pasar la luz, lo que favorece el desarrollo de algas microscópicas que pasan por cualquier filtro (Bucks *et al.*, 1982).

El manejo y calidad del agua son determinantes en el éxito del sistema de riego-nutrición. Estos sistemas deben mantenerse libres de sólidos suspendidos (no disueltos) dentro del sistema. La prevención suele ser el mejor medio de lucha contra la obstrucción, pues usualmente se detecta cuando el grado de obstrucción de los emisores es avanzado y en estos casos la limpieza de goteros y líneas de conducción es demasiado cara.

3.1-Calidad del agua.

Una de las causas principales de las obstrucciones es la calidad del agua (característica física, química y biológica). La calidad del agua es un concepto complejo. Sin embargo, la calidad del agua en hidroponía, puede limitarse a las concentraciones de iones específicos y sustancias fitotoxicas relevantes para la nutrición de las plantas, así como la presencia de organismos y/o sustancias que puedan obstruir los sistemas de riego (Pardossi *et al.*, 1998).

Hay muy poca información disponible para el agua de riego (Nakayama y Bucks, 1991). Los parámetros de calidad del agua tomadas en cuenta por Nakayama y Bucks (1991) son sólidos en suspensión, sólidos disueltos, el pH, manganeso, hierro total, sulfuro de hidrógeno y el número de bacterias; Boswell (1992) utiliza el manganeso, hierro total y el sulfuro de hidrógeno, Capra y Scicolone (1998) toman en cuenta los mismos factores que Nakayama y Bucks (1991), además de calcio y magnesio, (Cuadro 2). La calidad del agua también incluye a los microorganismos (Ludwick, 1997).

Cuadro 2. Probabilidad de ocurrencia de obstrucciones, según contenido de partículas y sustancias disueltas en el agua, (Rojas. y Leris, 2001), (Ludwick, 1997), (Bucks *et al.*, 1982), (Enciso *et al.*, 2001).

Riesgo potencial de obstrucciones por el agua de riego.			
Tipo de problema	**Riesgo reducido**	**Riesgo medio**	**Riesgo alto**
Físico			
Sólidos suspendidos (ppm)	< 50	50-100	>100
Químico (mg/l)			
pH	< 7.0	7.0-8.0	> 8.0
Sólidos disueltos (ppm)	< 500	500-2000	> 2.000
Mn y Fe (ppm)	< 0.1	0.1-1.5	>1.5
Calcio(ppm)	< 10	10-50	>50
SH_2 (ppm)	< 0. 5	0.5-2. 0	> 2.0
Carbonatos	<100	100-200	>200
Biológico			
Población bacteriana ($n.^0/cm^3$)	< 10.000	10.000-50.000	>50.000

Ravina *et al.*, (1997) mencionan que la obstrucción del emisor fue uno de los principales problemas en la operación de sistemas de riego por goteo, cuando se utilizan efluentes de aguas residuales tratadas (tratamientos químicos y de filtrado). El agua residual filtrada es rica en biosolidos y también en agentes patógenos (Assadiana *et al.*, 2005). Por tal motivo en ocasiones no es aconsejable usarla para ciertos cultivos, por razones de salud al consumir las cosechas.

Cuando las aguas residuales se utilizan los problemas de obstrucción dependen de tratamiento y de alta variabilidad temporal (hora del día, temporada, etc.), de sólidos en

suspensión y de materia orgánica que causan obstrucción del emisor (Alkon *et al.*, 1996; Capra y Scicolone, 2001; Barbagallo *et al.*, 2002). Bajo condiciones específicas, cuando el contenido de sólidos disueltos es relativamente bajo, el agua puede aplicarse directamente sin restricciones para el riego, (Ben *et al.*, 2006). Los problemas asociados con el uso de efluentes de aguas residuales tratadas y aguas de uso para el riego se dividen en tres áreas: físicas, químicas y biológicas (Emongor y Ramolemana, 2004).

La obstrucción y procedimientos de mitigación están estrechamente relacionados con la calidad del agua utilizada (Nakayama y Bucks, 1991; Capra y Scicolone, 1998).

Todos los autores clasifican los peligros de obstrucción en tres categorías: leves, moderadas y graves, también las distinguen en tres tipos: **Obstrucción biológica, obstrucción química, obstrucción física.**

3.2-Obstrucción Biológica

Fernández *et al.*, (1992) y Bucks *et al.*, (1982), mencionan que el agua de superficie utilizada en el riego de bajo volumen contiene dos tipos de material orgánico.

• El material orgánico muerto consiste en partículas de gran tamaño (de plantas, césped, hojas parcialmente descompuestas) y partículas de pequeño tamaño (protozoarios, bacterias, algas) (Fernández *et al.*, 1992; y Bucks *et al.*, 1982).

• La materia orgánica viva consiste en algas, y colonias de bacterias, así como ciertos hongos que crecen en donde encuentran los nutrientes necesarios para su desarrollo. El material orgánico inerte y las algas multicelulares de tamaño mayor de 50 a 100 μm se eliminan con filtros de arena (se describe en la página 23). Sin embargo, las algas menores traspasan los filtros, se agrupan, y obstruyen los dispositivos emisores. Las algas más comunes son las clorofílicas (Fernández *et al.*, 1992; Bucks *et al.*, 1982; y Calderón, 1998); necesitan luz solar para la fotosíntesis y no pueden crecer dentro de tubos de polietileno opaco; por lo tanto se desarrollan en el orificio del emisor. Los sistemas de riego de bajo volumen pueden crear un medio ambiente favorable para el desarrollo de bacterias que llevan a la formación de un gel, el cual, combinado con partículas minerales (arcilla, tierra, lodo) o partículas orgánicas (algas, esporas), puede resultar en conjuntos suficientemente grandes para obstruir los emisores.

Ciertas bacterias son también responsables de los problemas de obstrucción. Las bacterias ferruginosas se adhieren a los tubos y oxidan el hierro produciendo un gel ferroso no soluble en agua llamado ocre. Algunas bacterias filiformes oxidan sulfato de hidrógeno (H_2SO_4) que a veces está presente en aguas profundas y producen unos sedimentos filiformes de color amarillo o blanco que se combina con otros materiales contenidos en el agua de riego (Suárez, 1999; Calderón, 1998).

El bloqueo por causas biológicas de los emisores es generalmente ocasionado por actividad bacteriana aunque la producción de algas puede también causar problemas de la misma magnitud. El desarrollo del bloque biológico se produce cuando el agua utilizada es superficial y sin tratamiento. Los problemas bacterianos se centran en el tipo de bacterias aeróbicas (Suárez, 1999; Calderón, 1998).

3.3-Solución al problema de obstrucción biológica debido a las algas

Algas

Son organismos unicelulares, definidas como plantas microscópicas, generalmente no presentan las típicas estructuras de los vegetales superiores, como raíces, tallos y hojas. Su tasa de reproducción es alta, algunos órdenes de algas son solitarias, otros forman colonias produciendo masas gelatinosas, dado que su densidad es similar a la del agua. El agua afectada por este microorganismo se torna turbia adquiriendo una coloración verdosa. Esta acción se concentra con alta frecuencia en aguas estancadas, donde las condiciones de luminosidad y temperatura favorecen su desarrollo, es común encontrarlas depositadas en el fondo y paredes del estanque (Rojas y Leris, 2001).

El problema de las algas que a menudo se desarrollan en los tanques de almacenamiento se puede resolver utilizando sulfato de cobre ($CuSO_4$) con una concentración de 1 a 2 ppm. (Suárez, 1999).

Adiciones de cloro y ácido, aparentemente disminuyen la obstrucción bacteriana y es más efectivo que la aplicación de cloro o ácido individualmente. Sin embargo no esta demostrado que la eficacia de la combinación de estos tratamientos se deba exclusivamente a la eliminación de la población bacteriana y habría que estudiar el efecto que este tratamiento tiene en la precipitación química. Parece razonable que si el objetivo de este tratamiento es

exclusivamente la eliminación bacteriana, se podría restringir la aplicación a los últimos 30 minutos de riego, puesto que el desarrollo de las bacterias se producirá en periodo estacionario. Un tratamiento nuevo para controlar la producción biológica es incorporar un inhibidor con el material plástico del emisor. Esto sea utilizado para inhibir la intrusión de raíces dentro de los emisores (Suárez, 1999).

Control de algas: Con respecto al control de este tipo de obstrucción se diferenciará en preventivo, tratamiento general y tratamiento erradicante. Los filtros de arena (página 23) son los elementos más eficaces para retener las algas; sin embargo algunas consiguen traspasar el sistema de filtrado desarrollándose al interior de la red de distribución, favorecidas por las altas temperaturas y los fertilizantes (Enciso *et al*, 2001).

Control preventivo a nivel de estanque: Un procedimiento eficaz para evitar la formación de algas consiste en el cubrimiento de los estanques de almacenamiento con estructuras que impidan el paso de la luz solar (malla rompeviento 80%). Además, de esta manera se previene la acumulación de deshechos que se produce si la superficie del agua se encuentra al aire libre.

Otra forma de prevención que puede complementarse con la anterior es la aplicación de alguicidas, que corresponden a productos químicos que se emplean para prevenir y aniquilar las algas en estanques de almacenamiento, entre los que destacan el sulfato de cobre, permanganato de potasio, cloro (Enciso *et al*, 2001).

Sulfato de cobre: Es un excelente alguicida al inactivar las enzimas de los microorganismos. Se comercializa en forma cristalina o en polvos solubles de color azulado. La dosis recomendada oscila entre 20 y 30 ppm. El procedimiento de uso más correcto consiste en ubicar el sulfato de cobre en la entrada del estanque acumulador, previamente disuelto o para que vaya disolviéndose poco a poco por la acción del movimiento del agua. Cada vez que se renueva el agua se debe repetir la operación. Si el agua se mantiene embalsada, sin renovación, es conveniente tratarla periódicamente (Enciso *et al.*, 2001).

Permanganato de potasio: Este producto no deja residuos ni afecta a los peces, manteniendo el agua del embalse completamente limpia. Se presenta en forma de polvo de color oscuro. Se debe tener precaución de no tocarlo e impedir su volatilización, ya que puede irritar mucosas y ojos. La dosis recomendada oscila entre 1 y 3 ppm. Una vez calculada la cantidad necesaria se disuelve en agua y se distribuye por el embalse, repitiendo la práctica

cada vez que se renueva el agua. El color del agua tratada con esta dosis es rojizo. El permanganato potásico ($KMnO_4$) es un excelente alguicida, no presentando problemas de toxicidad en dosis adecuada, cabe destacar que su acción no es modificada por las oscilaciones del pH (Enciso *et al.,* 2001).

Cloro. El cloro en estado puro es un gas amarillo verdoso, de olor penetrante, desagradable e irritante y altamente tóxico para las personas. A temperatura normal es un gas soluble en agua, es un poderoso alguicida y bactericida (Enciso *et al.,* 2001).

Para el control de algas, el cloro se utiliza como hipoclorito sódico o hipoclorito cálcico. El producto más difundido y económico generalmente empleado es la solución de hipoclorito sódico (NaClO) que se comercializa a diversas concentraciones: 20, 40, 50, 60, 100, 150, 160, 170, etc., gramos de cloro activo por litro, (generalmente 100 g cloro activo/litro) (Enciso *et al.*, 2001).

La solución de hipoclorito sódico tiene una acción oxidante muy activa, corrosiva y presenta una toxicidad alta, propiedad que se tendrá en cuenta al tratar las aguas que tiene concentraciones de hierro superior a 0.2 ppm, ya que al oxidarse, forman precipitados de óxidos férricos. Sin embargo tomando mínimas precauciones durante su empleo es de fácil manejo y aplicación (Enciso *et al.*, 2001).

La frecuencia de los tratamientos y dosis en estanques acumuladores para riego depende del pH, calidad del agua. Con pH mayor de 8 las dosis de cloro han de ser mayores, unas 2-3 veces más que las recomendadas, ya que el poder desinfectante y depurador del cloro disminuye a medida que aumenta el pH. Por ello y para reducir la posibilidad de formación de algas es muy importante mantener en el agua de riego un pH entre 7.2 y 7.5. Igualmente la luz solar, en los embalses principalmente, actúa sobre el ácido hipocloroso formado, descomponiéndolo en ácido clorhídrico (H_3ClO_4) y oxígeno, con lo que se pierde capacidad desinfectante (Enciso *et al.*, 2001).

Las dosificaciones recomendadas de hipoclorito sódico son relativas. Cada agricultor, dependiendo de las características del agua de riego, ha de modificar las concentraciones que se aconsejan hasta llegar a las idóneas para su correcto tratamiento. Para impedir la formación de algas es conveniente mantener constante una concentración de cloro residual entre 0.6 y 1 ppm. Para lograr esta concentración las dosis recomendadas oscilan entre 15 y 100 ppm de hipoclorito de sodio (Enciso *et al.*, 2001).

Para mantener limpias las instalaciones se llevan a cabo aplicaciones diarias a la dosis de 5-10 ppm en el agua de riego o inyecciones cada 2 semanas a la dosis de 100-200 ppm. Es aconsejable que la inyección de cloro se haga a la entrada de los filtros a modo de prevenir el desarrollo de algas en el sistema de filtrado. Es conveniente la aplicación al final del tiempo de riego, dejando llena la instalación con el agua tratada y dejarla salir al inicio del siguiente riego (Enciso *et al.*, 2001).

El cloro utilizado para la desinfección de aguas residuales (para matar los agentes patógenos) podría ser un problema si se utiliza a tasas anormalmente altas. Algunos cultivos muestran lesiones cuando Cl residual en las aguas residuales es superior a 10 ppm (Emongor y Ramolemana, 2004).

Microorganismos: Entre los microorganismos más frecuentes que causan problemas en los sistemas de riego localizado, se encuentran bacterias y hongos. Dado su pequeño tamaño traspasan con facilidad los filtros, se reproducen al interior de las tuberías formando depósitos gelatinosos que se adhieren a la red hidráulica. Pueden estar presentes en el agua de riego o ser transportadas a ésta por el aire, residuos orgánicos y plantas.

Al igual que en el caso de las algas su velocidad de multiplicación es alta, dependiendo de la cantidad de materia orgánica, calidad y temperatura del agua. Algunas bacterias ferruginosas transforman el hierro contenido en el agua y junto con los residuos de otros compuestos insolubles forman masas gelatinosas que pueden ocasionar obstrucciones en poco tiempo.

3.4-Prevención y control de bacterias y otros microorganismos: El mejor control de microorganismos consiste en la desinfección periódica de los filtros y la cloración continua del agua en base a inyecciones de compuestos como hipoclorito de sodio o hipoclorito cálcico, el cloro actúa inhibiendo la actividad enzimática de las células evitando su proliferación.

La efectividad de la acción del cloro está condicionada por algunos factores externos como pH y temperatura, a su vez el tiempo de contacto entre desinfectante y agua también influye en el poder biocida de los compuestos clorados. A mayor temperatura, el poder desinfectante del cloro es mayor, sin embargo, es menos estable, perdiéndose con mayor rapidez. Con respecto al tiempo de contacto entre los compuestos clorados y el agua de riego, depende en gran medida del contenido de materia orgánica ya que la oxidación es lenta, por lo que con aguas ricas en materia orgánica necesita incrementar la cantidad de cloro a aplicar o

aumentar la duración del contacto. En general, es aconsejable que el tiempo de contacto no sea inferior a 30 minutos (Rojas y Leris, 2001).

De cualquier forma, ya sea, gaseosa, líquida o sólida, la aplicación de cloro en una instalación de riego produce reacciones con los compuestos presentes en el agua, lo que gasta o consume determinada cantidad de cloro. Parte del cloro empleado oxida la materia orgánica del agua (cloro combinado), siendo el fenómeno más importante de la cloración por el que se forman compuestos orgánicos clorados a los que genéricamente se les denomina cloro residual combinado (CRC), de tal forma que:

Cloro residual total (CRT) = Cloro libre residual (CRL) + Cloro residual combinado (CRC)

El empleo de cloro, en la mayoría de los casos se destina, exclusivamente, al tratamiento de las instalaciones de riego localizado para prevenir la formación de bacterias y otros microorganismos, además de los sedimentos formados.

Control preventivo: Para la prevención y control de bacterias y microorganismos se utiliza hipoclorito de sodio (NaClO), a la dosis de 15-20 ppm. Se aplica al final de riego, en los últimos 10 minutos y de tal forma que el agua quede retenida en el interior de la instalación entre dos riegos. También dan buenos resultados tratamiento frecuentes, cada 10–15 días, a dosis de 100–200 ppm de hipoclorito sódico (NaClO) por metro cúbico de agua, manteniendo la solución clorada en la instalación durante media hora, lavando posteriormente (Rojas y Leris, 2001; Enciso *et al.*, 2001).

Control curativo: Con el objeto de destruir las masas gelatinosas y desprender los sedimentos adheridos a la instalación la dosis de hipoclorito de sodio debe incrementarse a 2-3 litros/m^3 agua de riego, manteniendo la solución durante 12 horas en la instalación y posteriormente lavado con agua a presión. Se debe tener en consideración la importancia de prevenir la formación de los microorganismos citados, dado que una vez formados los mucílagos la acción del cloro no es eficaz. En este tipo de control, que implica altas dosificaciones de cloro, se debe tener precaución con los cultivos establecidos por la posible toxicidad que puede afectarlos, por lo que es conveniente usar concentraciones menores a 50 ppm de cloro (Rojas y Leris, 2001; Enciso *et al.*, 2001).

Si los depósitos gelatinosos se han formado en los filtros de arena hay que llevar a cabo un tratamiento para eliminar la impermeabilización que sufre la arena. Para ello se aplica antes de los filtros de arena hipoclorito sódico una dosis de 15–20 ppm, manteniendo dicha disolución durante 24 horas y lavando después con agua abundante (Rojas y Leris, 2001).

Algunas recomendaciones de tratamiento basándose en cloro está indicado en ppm. Para calcular la cantidad de hipoclorito de sodio necesaria se tendrá en cuenta lo siguiente (Rojas y Leris, 2001):

a) Caudal de riego en metros cúbicos de agua.

b) Riqueza de la solución de hipoclorito sódico en gramos por litro.

c) Concentración de cloro activo en ppm o dosis de tratamiento 100 ppm.

La obstrucción biológica es difícil de solucionar. Los problemas se agravan si no se tiene un buen sistema de filtros y métodos correctivos.

Habitualmente se colocan mallas de 200 mesh después de la filtración a través de un filtro de arena con un tamaño de partícula de número 20. Los filtros de arena son lavados a contraflujo periódicamente, (Fernández *et al.*, 1992; Bucks *et al.*, 1982).

Para combatir la obstrucción biológica, es un método eficiente inyectar cloro (lejía o hipo cloruro de sodio) en el agua de riego antes de la filtración, pero requiere la acidificación del agua (pH=5.8) mediante la inyección de ácido nítrico. Para evitar el riesgo de la proliferación de algas verdes en la red de riego, todos los tubos deben ser completamente opacos (Suárez, 1999; Calderón, 1998).

3.5-Obstrucción Química

Fernández *et al.* (1992) y Pizarro (1990) mencionan que las obstrucciones químicas dependen principalmente de la calidad y composición del agua, también de la calidad y tipo de fertilizantes utilizados.

En climas donde se registran altas temperaturas, la evaporación del agua da lugar a una sobresaturación de las sales disueltas en el agua de riego, produciendo su precipitación (sustancia que se separa de su disolvente y se deposita en el fondo) en forma de sulfatos y carbonatos insolubles. Los precipitados de carbonato cálcico se producen si el agua calcárea lleva en disolución el ion bicarbonato (CO_3H) conforme a la siguiente reacción:

$$Ca^{++} + 2CO_3H \longleftrightarrow C0_3Ca + H_20 + C0_2$$

Los bicarbonatos presentes (HCO_3) en el agua son muy inestables. La presencia de dióxido de carbono ($C0_2$) en el agua favorece su disolución. Si el dióxido de carbono es insuficiente para mantener el equilibrio parte del bicarbonato precipita, liberándose del bicarbonato, las temperaturas altas influyen en esta reacción al igual que en la formación de precipitados.

Cuando el agua contiene sales de hierro en disolución, normalmente bicarbonato ferroso, Fe $(HCO_3)_2$, el cual al oxidarse pasa a sales que precipitan como hidróxido férrico. La oxidación de estas sales proporciona, a veces, energía a ciertas bacterias que dan lugar a precipitados en forma de flóculos filamentosos (Enciso *et al*, 2001; Ludwik, 1997).

Cuando el agua contiene concentraciones de hierro iguales o superiores a 0.2 ppm, se pueden formar precipitados en forma de óxidos férricos. Estas oxidaciones y precipitaciones son más rápidas con pH superior a 7.5.

El manganeso puede precipitar por actividad biológica cuando su concentración en el agua de riego es superior a 0.2 ppm y siendo muy problemático a concentraciones superiores a 0.4 ppm. Por otra parte, el contenido en agua de sulfuros a concentraciones superiores a 0.1 ppm puede inducir al desarrollo de bacterias sulfurosas que generan masas gelatinosas (Enciso *et al*, 2001; Ludwik, 1997).

Con el uso de fertilizantes se favorece la formación de los precipitados por reacción de éstos con otros productos contenidos en el agua. Las sales de los abonos fosfóricos, a veces, son susceptibles de transformarse en insolubles como le ocurre al fosfato bicálcico ($CaHPO_4$) por la reacción del fosfato monoamónico ($NH_4(H_2PO_4)$ y fosfato biamónico ($(NH_4)_2HPO_4$) con el bicarbonato cálcico ($Ca(HCO_3)_2$) que pueda contener el agua de riego. Igualmente ocurre por la reacción de sales de magnesio con los abonos poco solubles; asimismo por la reacción entre componentes del agua que origina precipitados de óxido de hierro (FeO) y de fosfatos (H_2PO_4) de calcio y magnesio. Otra reacción muy frecuente es con el nitrato cálcico $(CaNO_3)_2$, muy empleado como fertilizante (Enciso *et al*, 2001; Ludwik, 1997).

Todas estas concentraciones altas de calcio, magnesio y bicarbonatos en el agua de riego favorecen los depósitos calcáreos en los emisores, al evaporarse el agua durante los períodos de inactividad entre riegos. Igualmente, las tuberías que están al aire libre aumentan de temperatura alcanzando fácilmente rangos entre 70°C y 75°C. Estas temperaturas incrementan

la evaporación de las disoluciones, aumentando la concentración de la solución favoreciendo el depósito de los precipitados (Enciso, 2001; Ludwik, 1997).

3.6-Tratamiento para evitar obstrucciones químicas.

Aunque se disponga de un buen sistema de filtros, existen sustancias de pequeño tamaño que no son retenidas, por lo que se precisa la utilización de productos químicos para completar la limpieza del agua y reducir la posibilidad de taponamiento de los emisores. Está muy generalizado el uso periódico de ácidos y otros productos químicos, que, aplicados en forma preventiva a baja presión en la instalación, evitan la formación de precipitados, los cuales debido a su sedimentación podrían llegar a producir obstrucciones. Si se han formado los precipitados, estas soluciones los atacan formando sales solubles que son arrastradas posteriormente por el agua en el proceso de limpieza, aunque en estos casos los tratamientos correctivos sean más laboriosos y del mayor costo (Rojas y Leris, 2001).

Los taponamientos por precipitados químicos dependen también de lo siguiente:

- Velocidad del agua y frecuencia de los riegos. Cuanto menos sea la velocidad y menos frecuentes sean los riegos, la posibilidad y riesgo de precipitados es mayor.
- En climas con elevadas temperaturas de verano, asociados con aguas alcalinas el riesgo de precipitados aumenta.

a) **Precipitaciones de hierro**. Concentraciones elevadas se pueden eliminar por varios procedimientos (Rojas y Leris, 2001).

Oxigenación: Mediante la oxigenación del agua de riego a través de la inyección de aire a presión. Con ello se oxidan algunas sales de hierro que precipitan en forma de sales férricas insolubles que se eliminan o quedan retenidas en los filtros.

Floculación: mediante la acción de determinados floculantes.

Aplicaciones de cal: Por la acción de la cal que precipita el hierro en forma de hidróxido férrico insoluble en medio alcalino.

Cloración del agua de riego: El cloro oxida al hierro que se encuentra en las aguas en forma de sales ferrosas o de sales férricas, según procedencia del agua. La aplicación se realiza antes de los filtros para que la precipitación se elimine en los filtros de arena. La cantidad de cloro a inyectar se calcula según la siguiente expresión:

Ppm de cloro = 0.65 x ppm de hierro en agua

b) Precipitaciones de carbonatos cálcicos y sulfatos: Aplicación preventiva y tratamientos de limpieza a base de los ácidos: Clorhídrico, sulfúrico, nítrico y fosfórico. Con lo cual se ajusta al agua hasta niveles de pH ácido.

Para el control y tratamiento de las precipitaciones químicas hay que actuar de tres formas coordinadas entre sí:

- Corrección del pH para ajustarlo a niveles ligeramente ácidos, entre 5.5 y 6.5
- Utilización del ácido, principalmente.
- Empleo del ácido sulfúrico (H_2SO_4) como se indicará más adelante.

Corrección de pH: Con pH básico, mayor de 7.5 y temperaturas altas, el riesgo de precipitaciones de carbonatos es elevado. Además, un pH elevado no sólo influye en la formación de precipitados, sino que también reduce la eficacia de los productos alguicidas y bactericidas. La forma más eficaz de reducir y evitar estos precipitados es la de acidificar el agua hasta llegar a los goteros. En la corrección del pH se ha de tender a mantenerlo con valores cercanos a 5.5 – 6.5 (Medina, 1988; Tapia, 1999).

Como corrector del pH se recomienda emplear en el tanque de fertilización y en cada riego 0.5 litros de ácido nítrico por m^3 de agua a tratar. Con ello se consigue mantener un pH ácido. Con aguas de pH mayor de 7.5 hay que incrementar la dosis de 1-2 litros/m^3 con objeto de bajar el pH hasta valores ligeramente ácidos (Calderón, 1998).

Empleo de ácidos y otros productos. C on la aplicación de ácidos los carbonatos y bicarbonatos cálcicos se transforman en sales solubles y estables. Entre las sustancias químicas empleadas para prevenir y tratar los precipitados químicos están:

Acido nítrico. Es el producto generalmente más empleado por los agricultores. El ácido nítrico puro es sumamente corrosivo. En disolución acuosa el ácido nítrico es estable y presenta las características de un ácido fuerte. A temperatura ordinaria es un líquido incoloro y muy volátil. El producto comercial está diluido al 56% y 65%. Está indicado para prevenir las incrustaciones por precipitados de sales de calcio, hierro y magnesio, recomendándose aplicarlo solo y sin mezclarlo con los fertilizantes (Calderón, 1998).

Para prevenir las obstrucciones químicas se lleva a cabo tratamientos diarios durante unos 10 minutos a dosis de 100-300 ml/m^3. Con ello pretendemos mantener en las conducciones un pH ligeramente ácido (6–6.5), factor importante para prevenir la formación de precipitados químicos (Calderón, 1998).

Cada 15–20 días es conveniente dar un tratamiento de limpieza de las tuberías a dosis de 0.5-1 lt/m^3, de tal forma que a la salida de agua, en los goteros, se consigan valores de pH entre 3 y 5.

La forma de realizar el tratamiento es la siguiente:

En primer lugar, se calculará la cantidad de ácido de acuerdo con el número de goteros y su caudal unitario. A continuación, y durante 45-50 minutos, se procede de esta forma, por cada subunidad de riego:

a) 5 minutos aplicando agua sin solución acidificante hasta que la presión de trabajo en la instalación sea la normal.

b) 30 minutos con ácido, bajando a la mitad la presión normal de trabajo de la instalación.

c) 10–15 minutos lavando con agua libre de ácido, a presión normal de trabajo, teniendo la precaución de ir abriendo el final de las líneas porta goteros para sacar por los sedimentos acumulados en la red.

Si se producen obstrucciones por no haber realizado el tratamiento o por utilización de aguas muy duras, hay que realizar un tratamiento de desobturación a las dosis de 1 o 2 litros de ácido por cada metro cúbico de agua manteniendo la solución en la instalación y los goteros durante varias horas, lavando con abundante agua para evitar que la concentración produzca daño a los cultivos.

Al final de la temporada y cuando no hay cultivos se recomienda un tratamiento general a baja presión para limpiar las instalaciones en dosis de 3 a 5 litros por metro cúbico de agua, manteniendo la solución ácida en las tuberías por varias horas y destapando posteriormente, las líneas portagoteros para que el agua de arrastre y haga salir los precipitados acumulados, luego se debe dar un lavado con agua limpia (Calderón, 1998; Enciso *et al.*, 2001; Ludwik, 1997).

Hay que tener en cuenta que el ácido nítrico se recomienda emplearlo solo, pero si se utiliza como fertilizante y se mezcla con abonos no ha de ser la aplicación mayor a 50-60 ppm de ácido nítrico (Enciso *et al.*, 2001).

Acido sulfúrico: En estado puro, el ácido sulfúrico es un líquido incoloro, con propiedades oxidantes, ávido de agua, apreciándose cuando se diluye en agua un aumento de temperatura en la solución. Está indicado, principalmente, en precipitaciones de hierro con aguas ferruginosas, utilizándose a dosis de 0.5-1 litro por metro cúbico de agua.

A veces la cloración de agua mediante cloro aplicado antes de la entrada del agua al cabezal de riego puede ocasionar precipitados de hierro en forma de óxido férrico que es conveniente eliminar antes del sistema de filtrado, si es posible, o en los filtros de arena, y así evitar que éstos lleguen a las conducciones y goteros. Igualmente, con la aplicación de ácido clorhídrico se formarían cloruros férricos insolubles (Calderón, 1998; Enciso *et al.*, 2001; Ludwik, 1997).

Así mismo, algunos técnicos recomiendan, después de cada riego, la aplicación de ácido sulfúrico vertido antes del filtro de malla a dosis de 0.2 litros por metro cúbico de agua e hipoclorito de sodio después del filtro de malla, formándose una reacción entre el ácido, el agua y el hipoclorito, que actúa como bactericida (Enciso *et al.*, 2001; Ludwik, 1997).

En las precipitaciones de carbonato cálcico el ácido sulfúrico se utiliza en dosis de 0.2-1 por ciento, de acuerdo con la concentración de carbonatos en el agua de riego y que empieza a ser problemático a concentraciones mayor de 100 ppm. El tratamiento tiene una duración de 30 minutos y se realiza varias veces durante el ciclo de cultivo.

Acido fosfórico. Se emplean frecuentemente los fabricados con el 40 y 50 por ciento de riqueza en P_2O_5. Es un producto muy acidificante, usado con frecuencia en concentraciones de 0.25-0.5 ppm. Previene los precipitados y disminu ye los problemas de obturación en los emisores al limpiar las incrustaciones por oclusiones calcáreas y magnésicas. Se debe usar solo, sin mezclar con abonos, no sobrepasando dicha concentración por la posibilidad de reaccionar con el calcio y magnesio del agua de riego y producir precipitados de fosfatos de calcio y magnesio.

Aunque no se recomienda mezclar el ácido fosfórico con los abonos, por los problemas mencionados, sí así se hace, es preciso no rebasar la dosis superiores de 25 ppm. (Calderón, 1998; Enciso *et al.*, 2001; Ludwik, 1997).

Acido clorhídrico. A temperatura ordinaria el HCl puro es un líquido incoloro de sabor picante y muy soluble en agua. Se utiliza el ácido diluido al 32% y al 36% en tratamientos preventivos y cuando se manejan aguas bicarbonatadas, dependiendo la dosis de dureza (concentración de carbonatos) del agua a tratar. Consiste en aplicar con frecuencia cantidades de 0.5-1 ppm en el agua. Cuando ya hay precipitados químicos formados se ha de realizar un tratamiento corrector con ácido solo, a la dosis de 5 a 10 ppm para limpiar la instalación y manteniendo la solución en los goteros y conducciones durante varias horas, lavando después

con agua limpia. Hay que tener en consideración que su empleo en aguas cuya concentración de hierro equivalente o superior a 2 ppm de agua puede producir cloruros férricos insolubles (Calderón, 1998; Enciso *et al.*, 2001; Ludwik, 1997).

El problema de la obstrucción puede reducirse si los efluentes son tratados con oxidantes. Kummel *et al* (1995) hicieron una investigación, con efluentes artificiales en vez de efluentes auténticos para estudiar los efectos de Cl_2 y ClO_2. La demanda para estos efluentes de Cl fue de 5-8 ppm y para ClO_2 3-4 ppm; la concentración de oxidantes causa una muy rápida inactivación de bacterias. Sin embargo, con respecto a las algas no las afecto la concentración de 20 ppm. (Kummel *et al.*, 1995).

3.7-Obstrucción Física

Son producto de la carga de partículas sólidas en suspensión en el agua de riego, principalmente corresponden a partículas de arena, limo o arcilla. Dependiendo del tamaño de las partículas y las características del equipo de filtrado, en ocasiones pasan a través de los filtros, depositándose lenta y progresivamente al interior de la red de riego, para posteriormente acumularse en los goteros, provocando la obstrucción, que afecta la normal entrega de agua por parte del emisor (Martínez, 2000). Otro tipo de obstrucción común en instalaciones nuevas corresponde al producto de los residuos que se generan al cortar y lijar PVC de las tuberías de conducción, también es frecuente encontrar restos de tierra y piedras que han ingresado a la tubería al momento de efectuar las uniones respectivas (Martínez, 2000).

3.8- Control de las obstrucciones físicas

Las obstrucciones físicas son fáciles de controlar, utilizando en forma correcta el sistema de filtrado que depende de la calidad de agua, tipo de emisor que se utilizará y tamaño de las partículas contaminantes. Si se desea regar con aguas con abundante materia orgánica en suspensión, el tipo de filtrado será diferente al que utilice agua con arena en suspensión. En el caso que el problema se sitúe después de los filtros, la eliminación de las impurezas físicas es más compleja, (De Vicente, 1997; Fernández *et al.*; 1992). Como etapas de control se han

definido prefiltrado, filtrado y eliminación de sedimentos. Etapas que se detallan a continuación.

3.9-Prefiltrado:

Son equipos de limpieza previa, corresponden a sencillas obras ubicadas estratégicamente que se instalan de acuerdo con la procedencia del agua y cuando sea necesario tratar agua muy contaminada por sólidos suspendidos o arrastrados, es importante su instalación antes del cabezal, para que retiren grandes volúmenes de contaminantes y partículas mayores. Entre estas estructuras destacan decantadores, desarenadores, trampas de maleza, hidrociclones y obras de aducción y succión (González *et al.*, 1992; Pizarro, 1990; Martínez, 2000).

Distinguiremos dos grupos:

a. Dispositivos de desbaste.
b. Desarenadores decantadores.

a) Dispositivos de desbaste

Existen distintos tipos de elementos sofisticados que pueden usarse para eliminar las partículas más gruesas. Las más sencillas consisten en tejas metálicas con separación entre barrotes de 3 a 10 mm para debaste fino, 10 a 5 mm para un debaste medio y de 50 a 100 mm para predesbaste. Según los contaminantes del agua se instalaran una o varias rejas consecutivas. Para su dimensionamiento, se tendrá presente la velocidad de paso de agua.

Cómo elementos de debaste más finos, pueden citarse alcachofas en toma de bombas, algunos de cuyos modelos son autolimpiantes, cajoneras de bloques porosos de hormigón, etc. (González *et al.*, 1992).

b) Depósitos de decantación

Se utilizan para eliminar por sedimentación sustancias arrastradas por el agua y que sean más densas que esta. Sirven para resolver los principales problemas:

1. Para eliminar cantidades importantes de sólidos suspendidos, como unidad primaria de filtración normal (González *et al.* 1992).

2. Para eliminar hierro. En algunas aguas subterráneas el hierro está disuelto a causa de su bajo pH. Cuando el agua es elevada y se airea, el CO_2 escapa y el pH aumenta. Causando la oxidación del hierro y su precipitación (González *et al.* 1992).

3.10- Equipo de filtrado:

El sistema de filtrado está constituido por el conjunto de tratamientos u operaciones que se hacen para limpiar el agua de partículas extrañas, (Medina, 1988). Si se tienen emisores del tipo de goteros, cuyo orificio de salida de agua es muy pequeño, debe considerarse un filtraje más fino, si se compara con sistemas de filtrado para regar por aspersión, donde el diámetro de boquillas normalmente es superior a 1 mm. Comprende, por tanto, mallas, depósitos de sedimentación, filtros porosos, depósitos de arena y grava, separadores centrífugos, desarenadores, pantallas de varios tamaños de orificio y diversos tipos de tratamientos químicos (Medina, 1988; Martínez, 2000).

Cuadro 3. Tipo de filtro recomendable según origen del agua (Ferreira *et al.*, 2006).

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

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

3.11-Eliminación de sedimentos minerales

Aunque se cuente con un sistema de filtrado de igual modo ingresarán al sistema partículas de menor tamaño, estas deben ser removidas a través de los sistemas de lavado presentes en la instalación. De no realizar este procedimiento se producirá una progresiva

acumulación de sedimentos que terminará por obstruir los emisores. Este procedimiento debe iniciarse en los laterales o líneas porta-emisores, seguido de la tubería terciaria, secundaria y primaria por medio de las válvulas de lavado que todo sistema de riego tecnificado debe tener. Está operación debe ser efectuada con frecuencia, para evitar el problema de obstrucción (Martínez, 2000).

3.12-Hidrociclón

El hidrociclón es un aparato sin elementos móviles, que permite eliminar las partículas de densidad superior a 1.5 y tamaños mayores de 74 micras (equivalente a 200 mesh) (Pizarro, 1990).

Los hidrociclones se instalan como prefiltros antes del cabezal y después otro filtro, como medida de seguridad, por si alguna falla impide su funcionamiento y porque hasta que entran en régimen pueden dejar pasar partículas. No se deben elegir hidrociclones sobredimensionados porque su eficacia disminuye mucho fuera de rango de actuación (Pizarro, 1990).

Son aparatos que pueden hacer las funciones de prefiltro, normalmente se instalan dentro del cabezal, cuando el agua está muy contaminada por arena. Son dispositivos en los que gracias a un flujo vertical se consigue separar hasta el 98 % de las partículas mayores de 100 μm. Solo sirven para separar partículas más densas que el agua. Los tipos de separadores más utilizados son: hidrociclones y separadores de arena. El principio de funcionamiento de ambos aparatos es el mismo, variando solo la geometría de la cámara filtrante, cónica en los hidrociclones y cilíndrica en los separadores.

Principio de hidrociclón

Consta de:

Una entrada; es un conducto tangencial que introduce el agua con los sólidos hacia el interior de la cámara.

Una sección cilíndrica; donde se crea un movimiento rotacional.

Una sección cónica con un ángulo donde tiene lugar la separación de los sólidos.

Una salida para la descarga de sólidos, cuando el hidrociclón es vertical, esta salida se sitúa en la parte inferior del aparato.

Un colector; es un tubo que se introduce ligeramente en el interior de la sección cilíndrica y que conduce el agua limpia, libre de sólidos hacia la red de riego.

Funcionamiento del hidrociclón

El agua contaminada entra en el hidrociclón, que debe estar situado en posición vertical, por la conducción, con un flujo tangencial a la sección cilíndrica. El flujo rotacional origina una fuerza centrifuga. Los sólidos, al ser más pesados que el agua, son desplazados hacia el exterior de la corriente y debido a la componente gravitacional, descienden hacia el colector de impurezas situado en la parte más baja de la unidad. El agua asciende por la parte central y sale por la parte superior (Blasco *et al.*, 2003).

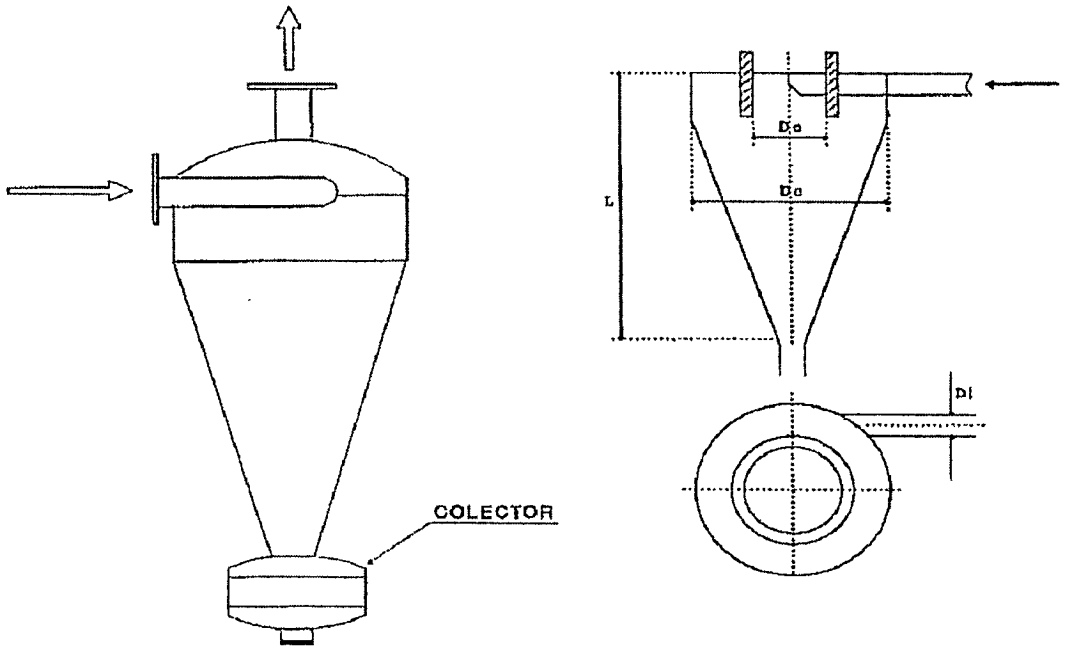

Figura 1. Diseño de un hidrociclón, que permite filtrar un gran porcentaje de partículas muy densas, (Ingeniería Técnica Agrícola. _).

3.13-Filtros de arena

Los filtros de arena consisten en tanques metálicos o de poliéster (los segundos más caros), en cuyo interior se coloca una gruesa capa de arena a través de la cual pasan el agua a filtrar (Pizarro, 1990).

Funcionamiento:

El agua entra en la tubería superior y se distribuye en el inferior del tanque por medio de un deflector que tiene por objeto evitar que el chorro de agua incidente sobre la arena se remueva. La salida del agua filtrada es por la tubería inferior; ésta se prolonga en el interior del tanque en unos colectores perforados y revestidos de malla para evitar el arrastre de la arena. El tanque dispone de dos amplias bocas, una para la carga y otra para la descarga de la arena. La tubería de entrada suele llevar una derivación para eliminar el agua sucia durante la limpieza por contralavado (Pizarro, 1990).

3.14-Filtros de grava

Los filtros de grava son tanques metálicos o de plástico reforzado que contienen arena o grava tamizadas. El agua se filtra al pasar por el estrato de arena/grava. El espesor de este no debe ser inferior a 50 cm y la velocidad del agua debe ser inferior a 60 m/h lo que equivale a un caudal de 60 m^3 /h por m^2 de superficie filtrante. Son muy efectivos para retener substancias orgánicas y partículas, porque se emplea todo el espesor de la arena. Retienen partículas siete veces más pequeñas que el diámetro efectivo de la grava (Pizarro, 1990).

Las pérdidas de carga son de 1 a 3 mca cuando están limpios y de 5 a 6 mca cuando están sucios. Para conocer el momento en que la limpieza es necesaria, se debe medir la presión antes y después del filtro. Para ello se utiliza un manómetro interconectado. Si la diferencia de presión es alrededor del 30% se debe proceder al retrolavado. Esto consiste en invertir el flujo del agua dentro del filtro y darle salida al exterior. El retrolavado limpia muy bien el filtro, sin embargo una vez por temporada, deben abrirse para la remoción manual de sedimentos que el retrolavado no pudo extraer. Así mismo se debe inspeccionar que la grava no haya perdido las características originales (Pizarro, 1990).

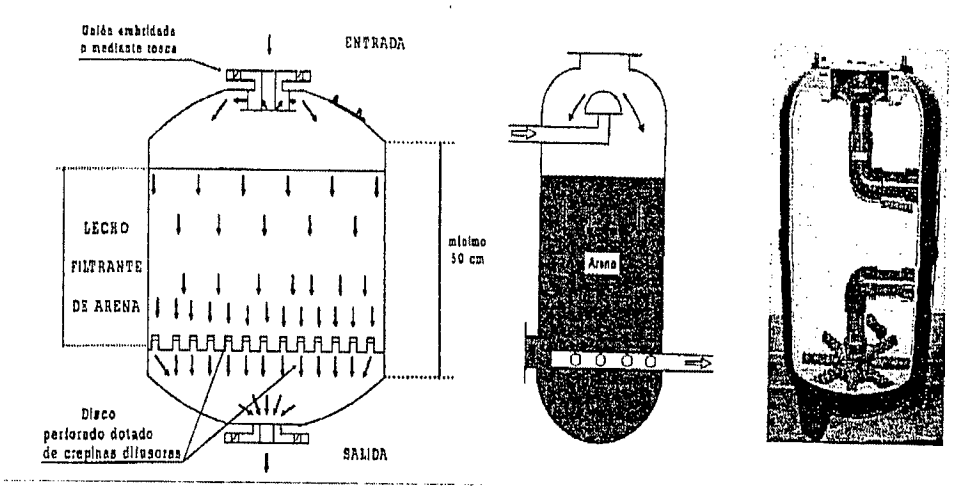

Figura 2. Filtro de grava y sus componentes, que permiten filtrar materia orgánica, (Ingeniería Técnica Agrícola, _).

Los filtros de arena y filtros de grava, dos filtros que también sirven para controlar el problema de obstrucción biológica.

3.15-Filtro de malla

A diferencia de los filtros de arena, que realizan una retención de impurezas en profundidad, los de malla efectúan una retención superficial, lo que hace que su colmatación sea mucho más rápida. Por esta razón se suelen utilizar con aguas no muy sucias que contengan partículas de tipo inorgánico, o como elementos de seguridad después de los hidrociclones, filtros de arena o equipos de fertirrigación. Cuando las aguas contienen algas su uso no está indicado, porque se colmatan rápidamente y dejan pasar las impurezas (Pizarro, 1990).

El material con el que se hacen estos filtros es de acero inoxidable o de plástico (poliéster, nylon, etc.). Cada malla se define por el número de aperturas por pulgada lineal, a lo que se denomina número de mesh o número de mallas y así se dice una malla de 120 mesh o malla 120. Para un mismo número de mesh, el tamaño de los orificios es distinto según el grosor de los hilos que contribuyen la malla. Para una misma presión, los hilos de acero son más finos que los de plástico (Pizarro, 1990).

Las mallas estándar son las comprendidas entre 100 y 200 mesh. En las mallas de plástico, la relación entre el número de mesh y el tamaño de orificios varía según el material de los hilos y esa es una información que deben suministrar los fabricantes (Pizarro, 1990).

Funcionamiento: El agua que circula en el sentido de la flecha, penetra en la zona A del filtro, de donde pasa a la zona B a través de una malla que apoya en un soporte cilíndrico de acero inoxidable. El filtrado se efectúa en la malla, de forma que las partículas quedan en la cara interna de la malla (zona A) y el agua filtrada pasa a la superficie total de la malla filtrante es como mínimo de cuatro veces la del área de entrada. En los grandes la relación es mucho mayor (Pizarro, 1990).

En el caso de los filtros de grava siempre se ejecuta la limpieza por reflujo del agua. Lo mismo sucede en la limpieza automática de filtros. En el caso de filtros de malla, existen varios procedimientos, según patentes. Entre ellos el de un chorro de agua a fuerte presión, que, partiendo de una pieza giratoria en el interior del elemento filtrante, incide sobre la malla en sentido contrario al del flujo: limpieza por succión sobre la malla; accionamiento de un cepillo que frota la malla, etc. (González *et al.*, 1992).

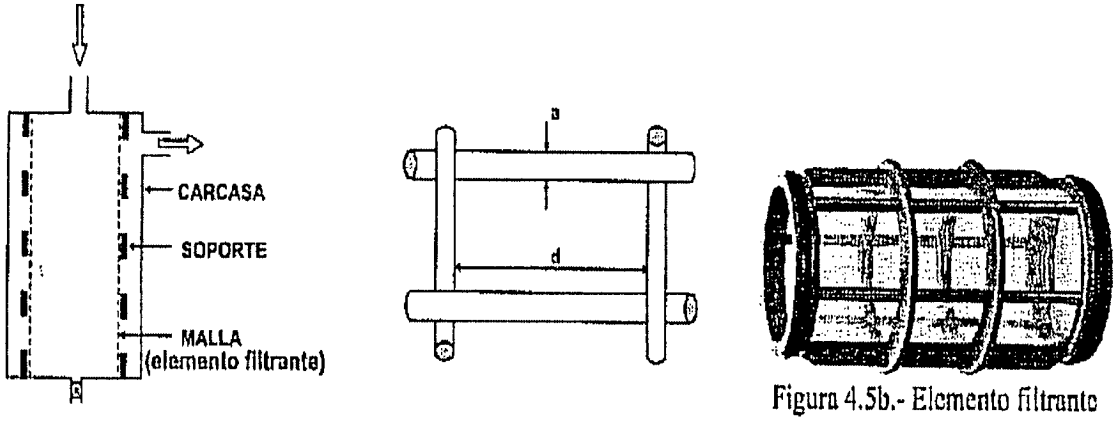

Figura 3. Filtros de malla y sus componentes, realiza una filtración más eficiente que los filtros de arena, (Ingeniería Técnica Agrícola, _).

3.16-Filtro de discos

Tienen forma cilíndrica y van situados entre línea, en posición horizontal. El elemento filtrante lo componen un conjunto de anillas 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. La calidad del filtrado dependerá del espesor de las ranuras. Se pueden conseguir, según el número de ranuras, hasta una equivalencia a una malla de 200 mesh. Su efecto es, en cierta medida, de filtrado en profundidad como es en el caso de filtros de grava, por lo que, frecuentemente, sustituyen a estos. La profundidad del filtrado es la correspondiente al radio de las anillas. Son muy compactos y resistentes admitiendo presiones de trabajo de hasta 10 atm. Al igual que los filtros de grava, puede retener gran cantidad de sólidos antes de quedar obturado. Las pérdidas de carga a filtro limpio, oscilan entre 1 y 3 mca. (González *et al.*, 1992).

Su limpieza manual es muy sencilla. Se abre la carcasa, se reparan las anillas y se limpian con un chorro de agua. También lo es su limpieza automática, invirtiendo el sentido del flujo del agua, lo que ha popularizado su uso (González *et al.*, 1992).

Bulancak *et al.*, (2000) realizó un estudio para determinar la eficiencia de nueve diferentes filtros (discos, pantallas, hidrociclón, separador de arena). Los filtros con características diferentes de filtrado y las combinaciones de filtros utilizados en sistemas de riego por goteo fueron probadas. Los experimentos se llevaron a cabo en dos fases. En primer lugar, los filtros fueron probados en un laboratorio con el fin de obtener la pérdida de carga. En segundo lugar, los experimentos se llevaron a cabo en un canal abierto para determinar la pérdida de carga a tiempo las relaciones y la eficiencia de filtrado. Todos los filtros fueron probados solos y en combinación. Desde el estudio, se constató que las pérdidas para los cuatro discos de tipo filtros estuvieron dentro del rango de 18-26 kPa para el caudal de 15-20 m^3/ h cuando el agua potable se ha utilizado. Las eficiencias de filtrado de disco y pantalla de filtros se encontraron dentro de los rangos de 54%-60% y 61%-64%, respectivamente. La eficiencia del hidrociclón y separador de arena, se encontró en 37% y 36%, respectivamente. La mayor eficiencia fue del 81% cuando los filtros fueron combinados, (Bulancak, 2000).

4- ESTADO ACTUAL DE LAS INVESTIGACIONES EN OBSTRUCCIONES EN RIEGO POR GOTEO

La velocidad del agua en los emisores de riego por goteo son menores que en un sistema de riego por microasperción. Cuando se presentan los problemas de obstrucciones, los caudales de los emisores disminuyen hasta niveles que hace imposible suministrar las necesidades de riego del cultivo para satisfacer los requerimientos de evapotranspiración (ETr), aun cuando se incrementa la presión de operación del sistema. Las obstrucciones se presentan en forma heterogénea en un sistema de riego por goteo e introducen otra variable de comportamiento del gasto del emisor no prevista, que se suma al coeficiente de uniformidad de riego. Las obstrucciones se deben a las altas cantidades de ciertos elementos químicos, y una elevada población bacteriana, y los nutrimentos que promueven el crecimiento de algas, (Fayvad y Sahatanawi, 2000), estos problemas pueden ser reducidos por filtración y tratamiento químico (Bulancak, 2000).

4.1-Causas de obstrucción de los emisores

Azov *et al.*, (2000) encontrarón que las algas y el zooplancton son las principales formas de obstrucción biológica, la concentración de sólidos en suspensión también obstruye, pero en mucha menor medida.

Una mayor concentración de nutrientes parece aumentar la diversidad de algas, (Groscha *et al.*, 2004); (Gilbert *et al.,* (1982), estudiaron el taponamiento de emisores con *Pseudomonas* y *Flavobacterium.* Las *Flavobacterium* aparentemente son filtradas en su totalidad mientras que las Pseudomonas no son eficientemente eliminadas por solo filtración.

Las *Pseudomonas* tienen la capacidad de oxidar al hierro ferroso, este está presente en sedimentos de materia orgánica. Las bacterias *Sphaerotilus* y *Leptothrix* que oxidan Fe no han sido detectadas en aguas aeróbicas cuando el contenido en este catión está por debajo de 0.1 ppm, pero se ha demostrado su importancia en el bloqueo cuando los niveles de Fe son mayores de 0.4 ppm (Suarez, 1999).

Algunas bacterias, especialmente del género *Thiobacillus* pueden crecer en el interior de las tuberías y formar colonias que eventualmente pueden llegar a obstruir los sistemas de riego

por goteo. Estas bacterias usan como fuente de energía para su vida la transformación de Hierro. El agua superficial (aguas de estanques, lagos, o ríos) utilizada en el riego de bajo volumen contiene dos tipos de material orgánico (Ludwick, 1997).

Azov *et al.*, (2003) encontraron que las algas dominantes son especies de *Cyanophyta* que respondieron a la entrada de compuestos de N que con el aumento en la concentración de fosfatos. Su trabajo apoya la idea de que el factor limitante son los compuestos de Nitrógeno para el aumento de la población de algas.

Anapalia *et al.,* (2005), realizaron una investigación de organismos microbianos que pueden utilizarse para prevenir la obstrucción en sistemas de riego por goteo causados por factores biológicos. Un total de 25 tipos de hongos y 121 cepas bacterianas fueron aisladas de muestras de agua recogidas de sistemas de riego por goteo en invernaderos de tomate en la región de Oriental de Turquía en la temporada de primavera de 2001. La obstrucción biológica de los emisores en un modelo de sistema de riego por goteo fue experimentalmente causado por la aplicación de los microorganismos (hongos y bacterias) aislado en el estudio. Tres cepas bacterianas antagonistas del género *Bacillus* spp y *Burkholdria* spp, se utilizan para el tratamiento biológico de obstrucción de los emisores. Los resultados mostraron que las cepas bacterianas antagonistas probadas tienen el potencial de ser utilizado como agentes anti-obstrucción para el tratamiento de las emisiones en sistema de riego por goteo. Este es el primer estudio que demuestra que los microorganismos antagónicos pueden utilizarse para el tratamiento de la obstrucción en sistemas de riego.

5-ÁREAS DE OPORTUNIDAD

5.1- Tecnología de filtros, biofiltros y control biológico para obstrucciones

González *et al.*, (1992) mencionan que en algunos casos puede ser conveniente la instalación de mecanismos para la limpieza automática de filtros. En general, estos automatismos se basan en la apertura y cierre de válvulas hidráulicas, cuyo control puede realizarse de diversas maneras:

Por temporizadores, en cuyo caso la limpieza se ejecuta a intervalos de tiempos fijos.

En algunos modelos, el mecanismo de limpieza actúa permanentemente. Se les suele llamar filtros autolimpiantes. Estos mecanismos de limpieza pueden actuar conectados al automatismo general de la instalación o bien independientemente e incluso en ausencia de este, (González *et al.* 1992). Arbata *et al.*, (2008) diseñaron un novedoso supervisor de control y adquisición de datos (SCADA), que se compone de un sistema de vigilancia, control de microirrigación y rendimiento del sistema. El sistema SCADA activa el sistema de riego y el retrolavado de filtros, también supervisó la presión y flujo en la filtración de unidades de riego laterales para evaluar los problemas de obstrucción y medición de el volumen de agua consumida en retrolavado de filtros, lo más innovador de este sistema es que puede prepararse para el acceso remoto a través de la Internet.

El biofiltro propuesto por Avnimelech *et al.*, (2003) consiste en utilizar paja de trigo para mejorar las características del agua para riego. Las corrientes de agua residuales circulan a lo largo de la paja, y una secuencia de nitrificación y desnitrificación es posible; el biofiltro puede captar materia en suspensión y materia orgánica soluble. Cada biofiltro (1 m^3 de tanque de PVC que contenía 50 kg de paja de trigo) fue alimentado por agua de un estanque a un ritmo de 60-65 l/h, El sistema de biofiltro no fue causa de obstrucciones u otros problemas hidráulicos por un periodo de 63 días. La capacidad del filtro fue al menos 2 m^3 de agua por cada kilogramo de paja. El biofiltro eliminó el 65% de la materia en suspensión y el 75% de biomasa de algas. Además del buen funcionamiento de este biofiltro, la paja en bruto se vio enriquecida con proteínas (del 3% hasta el aumento del 12% al 15% al final del experimento), la paja usada pudó usarse como abono.

Anapalia *et al.*, (2005), realizaron el primer estudio para prevenir la obstrucción biológica, es decir un control biológico, y el campo de investigación es aún muy extenso, ya que ellos hicieron las primeras investigaciones, en este tipo de control para las obstrucciones en sistema de riego por goteo.

Otro amplio campo en el estudio al tratamiento de la obstrucción es, la ingeniería de diseño a los emisores o agregando otro tipo de materiales para que combatan el material que causa las obstrucciones en el mismo emisor (por ejemplo integrando un alguicida cerca del emisor), también conviene desarrollar métodos para visualizar directamente las características del flujo de agua y sólidos suspendidos en emisores por goteo, es un reto para el futuro (Gang *et al.*,2007).

6-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El mantenimiento de todo el equipo de riego es fundamental para un buen funcionamiento del sistema, y así tener una buena uniformidad de riego. El mantenimiento debe considerar observaciones periódicas del sistema, para detectar con anticipación cualquier problema y tratarlo en forma oportuna y adecuada.

Las obstrucciones en el riego por goteo es un grave problema para la agricultura, y el origen principal está en la calidad de agua. Se solucionan por métodos preventivos y también correctivos. Los mejores son los preventivos, es decir tener una buena filtración del agua antes de usarla en el riego y tratamiento correctivo del agua antes de llegar al sistema de filtrado. Para que no se distribuya por todo el sistema de riego el posible factor que pueda ocasionar la obstrucción; los correctivos pueden ocasionar problemas al cultivo y al ambiente. Lo más novedoso en esta área, es el control biológico que realizan algunas bacterias antagónicas a los organismos causantes de las obstrucciones biológicas, los biofiltros que se irán mejorando en el futuro y la automatización de los filtros con un control usando Internet.

Debido a la apremiante escasez del recurso agua, la tendencia es tener una agricultura más sustentable, y esto conllevará a tener un más eficiente sistema de riego para evitar las obstrucciones por la calidad del agua, y mejorar el proceso de filtración del agua tratada o no tratada, ya que las obstrucciones físicas y biológicas, si se pueden prevenir en un alto grado, teniendo un buen equipo de filtración que vaya de acuerdo a la calidad del agua.

7- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Alkon, A., Marcu, A., Lev, Y. Paz, E., Ravina, I., Sagi, G., Schramm,B, G., Scischa, A., Schramm, G., Sofer, Z., Yechiely, Z. 1996. Clogging control in drip irrigation systems using reclaimed wastewater, the platform trial. In: Proceedings of the Seventh International Conference on Water and Irrigation. Israel. pp 104-114

Anapalia O., Donmezb, M.F., Sahina, U., Sahinb, F. 2005. *Tratamiento biológico de obstrucciones en los emisores en un sistema de riego por goteo.* Departament of PlantProtection, Faculty of mAgricultures, University de Ataturk. Turkia. pp 1-10

Arbata, J.G., Barragan J., Duran, R.M., Baguésa, P. y Ramírez, de C.F. 2008. *Definición de un sistema SCADA para una red de microirrigación y efluentes.* Departamento de Química, Ingeniería Agrícola y Tecnología de la Universidad de Girona. España computers and Electronics in Agriculture pp 2-10

Assadiana, N. W., Ensiso, J., Iglesias, J. y Giovana, D. Diciembre 2005. *El transporte de agua y solutos bacteriófago subirrigado en el suelo con una mezcla de aguas residuales.* Agriculture, Ecosystems y Environment, III (1-4):279-291

Avnimelech, Y., Diab, S., y Kochba, M. 2003. *Desarrollo y evaluación de un biofiltro de agua para riego rica en Nitrógeno y con turbidez.* Water Research. 27(5) 785-190

Azov, Y., Juanico, M., Shelef, G., y Teltsch, B. 2003. *Cambios en la comunidad de plancton debido a ala adición de los efluentes tratados de un reservorio de agua dulce utilizada para riego por goteo.* Water Research. 26(5):657-668

Azov, Y., Juanico M., Shelef G. y Teltsch B. 2000. *Efecto de los efluentes de un reservorio de agua dulce y la capacidad de obstrucción del filtro de riego.* Water Research. 29(79):1695-1702

Barbagallo, S., Capra, A., Piccione, G. y Scicolone, B. Octubre 2002. Riego por goteo usando aguas municipales tratadas. (Prueba de emisores y filtros). In: PROC. 5ª Conferencia Científica Internacional Única. Cuba.

Ben, Y.E., Bick, A., Buriakovsya, N., Haginc, J., Manord, Y., Katza, L., Orona, G., Guillermana, L. Febrero 2006. *Una membrana de dos etapas de tratamiento secundario de fluentes para reutilización y la producción agrícola sostenible.* Water Recycling, Desalination. 187(1-3)335-345

Blasco, J., Hauke, G., y Vidal, P. 2003. *Separación de partículas mediante un Hidrociclón.* Área de Mecánica de Fluidos, Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza. pp 4-5

Boswell, J.M., 1992. Manual para microirrigación (James Hardie. Diseño de un manual Microirrigación). Edagricole. Italy. P 178.

Bucks, D.A., Nakayama, F.S., Warrick, W. 1982. Principios, prácticas y potenciales de riego. Avances por goteo. Avances en irrigación. EUA.

Bulancak, S. 2000. A feasibility study on the selection and performances of filters as used in drip irrigation systems used for cotton production in the Aegean Region Institute of Natural Sciences of Ege University Izmir, MSc. Thesis. Turquía. P155

Calderón, L. Agosto 1998. Articulo técnico: *porqué se tapan los sistemas de riego por goteo.* Serie divulgativa. Colombia. 5:2-9

Capra, A, y Scicolone, B., 1998. *Calidad de agua y distribución uniforme en un sistema de riego por goteo.* J. Agric. Eng. Res. (70):355-365

Capra, A. y Scicolone, B. 2001. Wastewarter reuse by drip irrigation. In: Fajzieva, D. Brebbia, C.A. (Eds.), Proc. 1ª International Conference on Environmental Health Risk, Cardiff, Southampton, pp 153-161

Capra, A. y Scicolone, B. 2006. *Recycling of por quality urban wastewarter by drip irrigation systems.* Water Management in Coastal Zones and Deltas, Journal of Cleaner Productopn. EUA. PP 15(16)1529-1593

Degirmencioglua, A., Demira, V. y Yurdem, H. 2007. *Desarrollo de un modelo matemático para predecir las pérdidas de cabeza de filtros de filtros de disco en sistemas de riego por goteo mediante análisis dimensional.* Departamento de Maquinaria Agrícola de la Facultad de Agricultura, Ege University. Biosystems Engineering. Turquía. 100(1):14-23

De Vicente, S.J.1997. Ponencia: Técnicas de Manejo, Xero-jardinería. IV Jornadas Técnicas de Jardinería organizadas por la Excma: Diputación de Cádiz "Especies Autóctonas en Jardinería." España. Pp 21-23

Emongor, V. E. y Ramolemana, G.M. 2004. *Las aguas residuales tratadas de efluentes (agua) para ser usadas en la producción hortícola en Botsuana.* Water, Science, Physics and Chemistry of the Earth, EUA. Parts A/B/C. 29(15-18)1101-1108

Enciso, J., Porter, D., Bordovsky, J., Fipps. G. 2001. *Dándole mantenimiento a los sistemas subsuperficiales de riego por goteo.* Servicio cooperativo Estatal de Investigación y Extensión de Texas, Departamento de Agricultura de USA. pp 1-6

Evans, R.G. 2000. *Microirrigación.* Irrigated Agriculture Research. Washington State University. USA. pp 2-4

Fayyad, M. y Sahatanawi, M.M. 2000. *Efecto de un efluente tratado para la calidad del agua de riego en el Valle Central de Jordania.* Investigación de Agua y Medio Ambiente, Centro de Estudios de la Universidad de Jordania. Ammán, Jordania. Water Research. 30(12):2915-2920

Fernández, A.J.M., González F.J.F. López, J.R., Pérez, R.A. 1992. Riego localizado. Ediciones Mundi-Prensa. España. pp 21-23

Ferreira, R., Sellés, G. y Pimstien, A. 2006. Diseño, manejo y mantenimiento de equipos de riego localizado de alta frecuencia. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile. p 11

Gang, L., Jie, L., Qingsong, W., Shuhuai, H., Wenchu, D., Yusheng, S. 2007. E*valuación de emisores en riego por goteo usando dos métodos experimentales de laboratorio de simulación.* Computers and Electronics in Agriculture. Huazhong University of Science and Technology, State Key Laboratory of Material Forming and Die y Mould Tecnlogy. China. pp 1-18

Gil, J.A. y Khan, L.P. 2002. Arenas de Río procesadas como filtros de riegos localizados. Revista Tropical. Venezuela. 52(4).2-14

Gilbert, R.C., Nakayama, F.S., Bucks, D.A., Bucks, O.F., French, K.C., y Johnson, R.M. 1982. Trickle irrigation: Predominant bacteria in treated Colorado Riverwater and biologically clogged emitters. Irrig. SCI. 3: 123-132

González, H.J.F., Hernández, J.M. y López R.J. y Pérez R.A. 1992. Riego Localizado. Ed. Mundi Prensa. Espala. pp 32-47

Groscha, R. y Grossb, W., y Hoffmann, H.S. y Schwarza, D. 2004. *La evaluación de la calidad del agua de diferentes tipos de embalse en relación con la solución nutritiva de uso en hidroponía.* Instituto de vegetales y plantas ornamentales, Agricultural Water Management. Alemania. 71: 145-166

Hamdy, A. 2002. Agricultural wáter demand management: a must for water saving in: Advanced Short Course on Water Saving and Increasing Water Productivity: Challenges and Optiosn Faculty of Agriculture, University of Jordan, Amman, Jordan. pp b18.1-b18.30

Ingeniería Técnica Agrícola._. Riego por goteo, el cabezal de riego y la automatización. Área Mecánica de Fluidos. Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universidad Jaume. España.

Juana, L., Losada, A., y Martínez, J. 1995. Caracterización de riegos por Goteo. Ingeniería del Agua. Universidad Politécnica de Madrid. 2(2): p 16

Keller, J., Bliesner, R.D. 1990. Sprinkle and Trickle Irrigatión. AVI Book, New York, USA. pp 652

Kummel, M., Ra-Acha,Ch., y Salamón, A. 1995. El efecto de los productos químicos oxidantes a los efluentes para riego por goteo. Water Research. 29:119-129

Lamm, F.R. y Camp, C.R. 2007. Susurface drip irrigation. Kansas State University, Developmets in Agricultural Engineering. USA. 13:473-551

Ludwik, A. 1997. *El manejo de fertilizantes a traves de los sistemas de riego*: Fertirrigación (parte II). Informaciones Agronómicas, Potash and Phosphate Institute (INPOFOS): 1-2

Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2006. Mejorar la tecnología de riego. Revista "Claridades Agropecuarias."Secretaría de agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca (SAGARPA). 15(4):48-49

Martínez, B.L. 2000. Operación y mantenimiento de equipos de riego para pequeños agricultores. Instituto de Desarrollo Agropecuario, Proyecto de Desarrollo Rural de Comunidades Campesinas y pequeños productores de la IV Región, e Investigaciones Agropecuarias (INIA). Centro Regional de Investigación Intihuasi (La Serana). Chile. 24:1-28

Medina, SJ. J.A. 1988. Riego por goteo. 3ra edición. Ed. Mundi Prensa. España. pp 23-43

Nakayama, F.S. and Bucks, D.A. 1991. Water quality in drip/trickle irrigation: a review. Irrig. SCI. 12(4): 187-192

Pardossi, A., Serra, G. y Tognoni, F. 1998. Water pollution and greenhouse environmental costs, Acta Hort. 45. Alemania pp 385-394

Pavón, C.A.B.2000. Elección del sistema de riego. Instalación de riego por goteo en una parcela de maíz. Anexo 8. P-157

Pizarro, C.F. 1990. Riegos localizados de alta frecuencia (goteo, microaspersión, exudación) 2da Edición. Ed. Mundi Prensa. España. pp 263-290

Ravina, I., Paz, E., Sofer, Z., Marcu, a., Schisca, A., Sagi, G., Yechialy, Z. and Lev, Y. 1997. Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent, Agric. Water Manage. 33:127-137

Rojas, W. y Leris, L. 2001. Prevención y control de obstrucciones en equipos de riego tecnificado Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Intihuasi (La Serena). Chile. pp 1-8

Suarez, D.L. 1999. Obturaciones: Utilización de aguas depuradas en riego localizado y mantenimiento de los mismos. Centro de Investigaciones y Tecnología Agrarias, Viceconsejeria de agricultura y Alimentación, gobierno de Canarias. pp 2-10

Tapia, C.F., Osorio, U.A. 1999. Conceptos sobre diseño y manejo de riego presurizado. Comisión Nacional de Riego, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile. pp 17-18