

EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN CUATRO EMISORES DE RIEGO USANDO FILTRACIÓN GRUESA DE FLUJO ASCENDENTE EN CAPAS

JULIÁN LOBOA*
SARA RAMÍREZ**
JAIME E. DÍAZ***

RESUMEN

Se emplearon tecnologías de filtración no convencionales basadas en el flujo ascendente del agua a través de filtros con capas de materiales de diferente granulometría para evaluar los coeficientes de uniformidad en cuatro módulos de riego de alta frecuencia, en la planta piloto de tratamiento de agua del instituto de investigación Cinara (Cali). Cada módulo utilizó emisores de riego diferente: microjet, autocompensados incorporados (Aqua-Traxx), Lyn y cinta de riego (Queen Gil). Los resultados mostraron que con este sistema de filtración los emisores de riego que alcanzaron los mejores coeficientes de uniformidad fueron: microjet (94,3 %) y Lyn (93,73 %), en un periodo de 120 y 165 horas respectivamente. El sistema de riego que presentó un coeficiente de uniformidad más homogéneo durante la mayor duración de riego continuo (72 horas) fue el correspondiente al módulo con los goteros Lyn que alcanzó valores de 91,5 % (calificación buena), y el desempeño menos eficiente lo presentó la cinta de riego.

PALABRAS CLAVE: riego localizado; filtro grueso ascendente en capas.

* Ingeniero Agrícola y Magíster (c) en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad del Valle. Coordinador de Proyectos, Hidrovital. Cali, Colombia. julian.loboa@correounivalle.edu.co

** Ingeniera Agrícola, Universidad del Valle. Ingeniera, Hidrovital. Cali, Colombia. sara.ramirezp@gmail.com

*** Ingeniero Agrícola, Universidad del Valle; Magíster en Recursos Hídricos, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá; Doctor en Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica de Madrid. Profesor, Universidad del Valle. Cali, Colombia. jaidiaz@univalle.edu.co

EVALUATION OF THE UNIFORMITY COEFFICIENT IN FOUR IRRIGATION EMITTERS USING UPFLOW COARSE FILTRATION IN LAYERS

ABSTRACT

Unconventional filtration technologies based on the upward flow of water through filters with layers of materials with different grain sizes are used to evaluate the coefficients of uniformity in four irrigation modules of high frequency in water treatment plant at the Research Institute Cinara in Cali. Each module uses different irrigation emitters: Microjet, built-loaded (Aqua-Traxx), Lyn, and irrigation tape (Queen Gil). Under this system of filtration is obtained that the irrigation emitters that achieve the best data of the coefficients of uniformity were Microjet (94.3%) and Lyn (93.73%), taking account a period between over 120 to 165 hours respectively. In a time of 72 hours of continuous irrigation, the system that showed a more homogenous uniformity coefficient was the module with the Lyn emitters which reached the values of 91.5 (rated good) and the lowest performance was the module with the irrigation tape.

KEY WORDS: drip irrigation; upward thick-layered filter.

AVALIAÇÃO DO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE EM QUATRO EMISSORES DE IRRIGAÇÃO USANDO FILTRAÇÃO GROSSA DE FLUXO ASCENDENTE EM CAMADAS

RESUMO

Empregaram-se tecnologias de filtração não convencionais baseadas no fluxo ascendente da água através de filtros com camadas de materiais de diferente granulometria para avaliar os coeficientes de uniformidade em quatro módulos de irrigação de alta frequência, na planta piloto de tratamento de água do instituto de pesquisas Cinara (Cali). Cada módulo utilizou emissores de irrigação diferente: microjet, autocompensados incorporados (Aqua-Traxx), Lyn e fita de irrigação (Queen Gil). Os resultados mostraram que com este sistema de filtração os emissores de irrigação que atingiram os melhores coeficientes de uniformidade foram: microjet (94,3 %) e Lyn (93,73 %) em um período de 120 e 165 horas respectivamente. O sistema de irrigação que apresentou um coeficiente de uniformidade mais homogêneo durante a maior duração de irrigação contínua (72 horas) foi o correspondente ao módulo com os conta-gotas Lyn que atingiu valores de 91,5 % (qualificação boa), e o desempenho menos eficiente o apresentou a fita de irrigação.

PALAVRAS-CÓDIGO: irrigação localizada; filtro grosso ascendente em camadas.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de riego localizado de alta frecuencia (RLAF) ofrecen ventajas comparativas frente a otros, especialmente en lo relacionado con la optimización y uso eficiente del agua para la producción agrícola (OPS, 2005). La utilización de tecnologías que minimicen las pérdidas de agua exige mejorar la calidad física y bioquímica de la misma agua. Originalmente los sistemas de riego

por goteo se emplearon para desarrollar la agricultura en áreas de recursos hídricos escasos (Bresler, 1977). Más tarde las ventajas del RLAF traducidas en aumentos de la producción, distribuciones menos perjudiciales de la salinidad en las raíces de las plantas, ahorro de agua y menor costo energético permitieron que estos sistemas de riego alcanzaran una mayor cobertura (Elfving, 1982). El uso del RLAF en especies perennes está ampliamente difundido en el mundo. En América Latina, Chile es



el país que presenta la mayor superficie de frutales bajo este sistema, con un total de 65.000 ha, de las cuales 24.000 corresponden a uva de mesa, en su mayor parte con riego por goteo (Román, 2000). Con el fin de verificar la eficiencia de estas tecnologías, Selles *et al.* (2003) evaluaron el efecto de tres frecuencias de riego por goteo sobre un parronal de uva de mesa (*Vitis vinifera* L.), cv. Thompson Seedless, plantado en un suelo de textura franco arcillosa y encontraron que en un tiempo de riego de 18 horas se encontraban las mejores condiciones de humedad del suelo, generando el potencial hídrico xilémico más alto. No obstante sus múltiples ventajas, el riesgo constante de obturación de los emisores es con frecuencia la mayor debilidad de estos sistemas, producido en la mayoría de las ocasiones por la baja calidad de agua.

Según Pizarro (1996) la uniformidad de riego en los RLAF debe superar el 90 %, pero este resultado se ve alterado por procesos asociados a las variaciones en la fabricación de los emisores y en ocasiones a los diseños hidráulicos inadecuados de los sistemas que proporcionan caudales distintos para presiones de trabajo similares (Arviza, 1989).

La tecnología de filtración en múltiples etapas (FiME) consiste en la combinación de procesos de filtración gruesa en grava y filtros lentos de arena (Galvis y Latorre, 2006). Uno de los sistemas desarrollados por esta tecnología es la filtración gruesa de flujo ascendente en capas (FGAC), que se compone de lechos de grava de distinta granulometría instalados en una misma unidad o estructura (Wegelin, Galvis y Latorre, 1997). La filtración de agua usando capas alternadas de arena y grava se emplea en sistemas de filtración en la etapa de pretratamiento y permite reducir la concentración de sólidos suspendidos (Gallego, Montoya y Valverde, 2007). Durante el proceso de circulación del agua las partículas más pequeñas son eliminadas, permitiendo que, al llegar al filtro lento de arena, el agua producida presente bajos niveles de turbiedad, de sólidos suspendidos y de entero-bacterias (Visscher, Galvis y Latorre, 1999).

Por lo tanto, para que la confiabilidad y eficiencia de los RLAF se incrementen es necesario acoplar tecnologías de filtración prácticas, eficientes y económicas que ofrezcan mejores condiciones de operación, disminuyan los costos de mantenimiento e incrementen la durabilidad de dichos sistemas. En forma paralela, se debe intentar que el agua de riego empleada cumpla con los requisitos mínimos de calidad para que los cultivos no se vean afectados (Ayers y Wescot, 1987). En la búsqueda de estos propósitos se evaluó el coeficiente de uniformidad en una parcela de riego que fue dividida en cuatro secciones, instalando en cada una de ellas diferentes emisores utilizados en RLAF. Se pretendió conocer el desempeño de estos emisores combinados con dos sistemas de filtración: el filtro grueso dinámico (FGDi) y el filtro grueso de flujo ascendente en capas (FGAC). Durante el experimento se comparó la uniformidad de riego generada por los emisores, con el propósito de verificar cuál de ellos presentaba las condiciones más adecuadas de trabajo al usar la tecnología FiME.

La calidad de agua obtenida permitió evaluar el coeficiente de uniformidad en los cuatro tipos de emisores (microjet, autocompensado, Lyn, cinta de riego) empleados en el experimento, al combinarlos con los sistemas de filtración (FGDi + FGAC), con el fin de establecer la compatibilidad con dichas tecnologías.

2. METODOLOGÍA

El trabajo se realizó en la planta de investigación del instituto Cinara de Puerto Mallarino, ubicada en la ciudad de Cali. El agua para el funcionamiento de la planta de filtración y el sistema de riego fue conducida por gravedad desde el río Cauca a un homogeneizador que fue conectado mediante una tubería de 4 pulgadas de diámetro a un filtro grueso dinámico (FGDi). A través de una canaleta se entregó un caudal de 0,52 L/s al FGAC, donde se obtuvo una velocidad de filtración de 0,6 m/h. Para la aplicación de riego se utilizó una bomba (0,5 HP) que suministró

un caudal de 238 L/h a los diferentes sistemas de riego instalados. Para garantizar una presión de trabajo homogénea se instalaron una válvula reguladora de

presión y un manómetro de glicerina de rango de medición (0-100 ± 0,5) PSI. En la figura 1 se muestra la configuración experimental de la investigación.

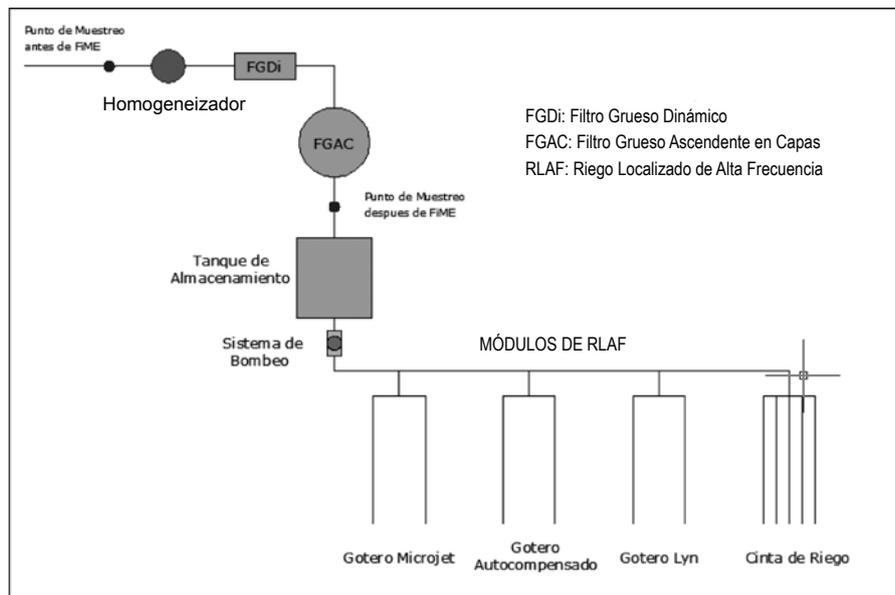


Figura 1. Esquema experimental

El proceso de filtración del sistema estaba compuesto por dos estructuras; inicialmente fue conformado por un filtro que consta de un estanque de concreto en cuyo interior se depositó una capa de grava gruesa (13 a 25 mm) sobre un sistema de drenaje en el fondo y en la parte superior una capa delgada de grava fina (6 a 13 mm), que se utilizó como pretratamiento (FGDi). A continuación se instaló el FGAC, constituido por un compartimiento principal donde se localiza un lecho filtrante de grava, disminuyendo el tamaño de los granos de grava en la dirección del flujo. En el fondo de este filtro se situó un sistema de tuberías con diámetros de 4 pulgadas, con el propósito de distribuir el agua en forma uniforme. En las tablas 1 y 2 se presentan las características generales de los sistemas de filtración mencionados.

Tabla 1. Características del filtro grueso dinámico

Característica	Valor	Unidad
Caudal para tratar	2,57	m ³ /h
Anchura	0,80	m
Longitud (lecho)	2,40	m
Área superficial	1,92	m ²
Velocidad de filtración calculada	1,34	m/h
h total lecho	0,60	m
# capas grava	3	
Altura capa 1 (19-25 mm)	0,20	m
Altura capa 2 (13-19 mm)	0,20	m
Altura capa 3 (6-13 mm)	0,20	m



Tabla 2. Características del filtro grueso ascendente en capas

Característica	Valor	Unidad
Caudal para tratar	1,28	m ³ /h
Diámetro	2,00	m
Área superficial	3,14	m ²
Velocidad de filtración	0,41	m/h
Altura total lecho	1,55	m
# capas grava	5	
Altura capa 1 (19-25 mm)	0,30	m
Altura capa 2 (13-19 mm)	0,30	m
Altura capa 3 (6-13 mm)	0,30	m
Altura capa 4 (3-6 mm)	0,30	m
Altura capa 5 (1,6-3 mm)	0,35	m

Los emisores de riego fueron instalados en módulos diferentes previamente distribuidos al azar en el área experimental. Se emplearon diez goteros microjet insertos en dos laterales de polietileno de 16 mm de diámetro y longitud de 10 m cada una, la cinta con goteros autocompensados incorporados y el sistema de goteros Lyn, cada uno con 90 emisores distribuidos en 2 laterales con 45 emisores por lateral. En la cinta de riego se emplearon 720 emisores distribuidos en 6 laterales de riego de 14 m de longitud cada uno. Las características de configuración espacial e hidráulicas de los módulos de riego y emisores se observan en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Características de los módulos de riego

Módulo	q/emisor (L/h)	Emisor/lateral	q/lateral (L/h)	Número laterales/módulo	q/módulo (L/h)	Separación laterales (m)	Longitud lateral (m)
Microjet	14	5	70	2	140	2	13,0
Autocompensado	1,6	45	72	2	144	2	10,3
Lyn	1,6	45	72	2	144	2	10,3
Cinta de riego	0,2	120	24	6	144	0,5	13,4

Tabla 4. Características de los emisores evaluados

Tipo de gotero	Presión de trabajo (m.c.a)	Caudal del emisor (L/h)
Microjet	10,54	14
Autocompensado	10,54	1,6
Lyn	10,54	1,6
Cinta de riego	7,03	0,2

En los módulos con los goteros microjet, autocompensados y Lyn se aforaron todos los emisores, y en el módulo con la cinta de riego, sólo el 10 % de ellos. Se regó en forma continua hasta conseguir para cada tipo de emisor coeficientes de uniformidad bajos

o inaceptables (<70 %), según las normas de clasificación presentadas en la tabla 5. Para el aforo del caudal de los goteros microjet se utilizó una probeta de 25 mL, para los otros goteros se emplearon probetas de 10 mL. A los goteros microjet y emisores de la cinta de riego se les acondicionó un embudo de plástico, con el fin de evitar errores en la recolección de las muestras. Para todos los casos se empleó un cronómetro de precisión, tomando tres repeticiones por muestra en un tiempo determinado. Como caudal de aforo se tomó el promedio de las determinaciones realizadas, además se realizaron mediciones de presión cada 4 horas en la entrada de los respectivos módulos de riego, para asegurar condiciones hidráulicas uniformes de acuerdo con el diseño.

Tabla 5. Valores recomendados de coeficiente de uniformidad (Pizarro, 1996)

Emisores	Pendiente	CU clima árido	CU clima húmedo
Asociados a más de 4 m en cultivos permanentes	Uniforme ($i < 2 \%$) Uniforme u ondulada ($i > 2 \%$)	0,90-0,95 0,85-0,90	0,80-0,85 0,75-0,80
Espaciados a menos de 2,5 m en cultivos permanentes o semipermanentes	Uniforme ($i < 2 \%$) Uniforme u ondulada ($i > 2 \%$)	0,85-0,90 0,80-0,90	0,75-0,80 0,70-0,80
Mangueras o cintas de exudación en cultivos anuales	Uniforme ($i < 2 \%$) Uniforme u ondulada ($i > 2 \%$)	0,80-0,90 0,70- 0,85	0,70-0,80 0,65-0,75

Para evaluar la eficiencia de riego en el sistema se determinó el coeficiente de uniformidad (CU), de conformidad con el criterio de evaluación propuesto por Pizarro (1996), que se define con la siguiente expresión:

$$CU = \frac{q_{25\%}}{q_a}$$

Donde:

CU: Coeficiente de uniformidad

$q_{25\%}$: Caudal medio recibido por el 25 % de los emisores que reciben menos caudal en la prueba

q_a : Caudal medio de los emisores evaluados en la prueba de campo

Con el fin de interpretar de modo correcto los valores del coeficiente de uniformidad que se obtenían y además teniendo en cuenta la topografía de la zona de estudio, se recurrió a un criterio utilizado para topografías sensiblemente llanas, que clasifica los valores de uniformidad en excelentes cuando son superiores al 94 %, en buenos cuando oscilan entre el 86 % y el 94 %, aceptables con valores entre el 80 % y el 86 % y pobres, menores del 80 % (Vermeiren y Jobling, 1986).

Para determinar la calidad del agua de riego se usaron los criterios propuestos por Bucks, Nakayama y Gilbert (1979), citados por Pizarro (1996), quienes los califican, según el riesgo potencial de obturaciones que se presentan, en riesgo alto, medio y reducido en un rango de valores que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Riesgo potencial de obturaciones por el agua de riego (Pizarro, 1996)

Tipo de problema	Riesgo reducido	Riesgo medio	Riesgo alto
FÍSICO			
Sólidos	< 50	50-100	> 100
QUÍMICO			
pH	< 7,0	7,0-8,0	> 8,0
Sólidos disueltos (ppm)	< 500	500-2000	> 2000
Mn (ppm)	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
Fe (ppm)	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
H ₂ S (ppm)	< 0,1	0,5-2,0	> 2,0
BIOLÓGICO			
Población bacteriana (n. ^o /cm ³)	< 10000	10000-50000	> 50000



Con el fin de verificar la calidad del agua que ingresaba a los módulos de riego y establecer una relación con la obturación de los emisores, se tomaron muestras de agua a la salida del filtro grueso de flujo ascendente. Las muestras fueron analizadas, evaluando las concentraciones de hierro, manganeso, sólidos suspendidos totales (SST) y mesófilos. Con los resultados obtenidos del análisis se estableció el riesgo de obturación de los emisores. Para cada módulo de riego se evaluó la variación del coeficiente de uniformidad (tabla 7), con el propósito de determinar la influencia de este parámetro en la obturación de los emisores y al

final establecer la incidencia del FGAC en el comportamiento de los diferentes emisores considerados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El funcionamiento y capacidad de remoción del FGAC depende de la calidad inicial del agua de entrada. Para este caso particular se encontró que, durante todo el tiempo de operación del sistema, el filtro contribuyó a reducir los indicadores iniciales de calidad del agua, como el hierro, manganeso, sólidos suspendidos y mesófilos. La figura 2 presenta la variación de la calidad del agua al salir del FGAC

Tabla 7. Variación del coeficiente de uniformidad de los emisores con respecto al tiempo de riego

Tiempo de riego (horas)	Microjet	Autocompensado	Lyn	Cinta de riego
3	94,3	90,8	93,73	84,88
24	91,9	89,4	91,55	76,50
48	92,1	90,4	91,90	72,10
72	79,9	82,98	91,50	75,44
96	79,3	65,17	80,50	72,30
120	77,8	67,89	81,74	73,80
144	30,1	66,52	80,90	73,80
168		63,0	80,50	74,00
192		58,0	71,00	68,00
216		57,5	68,00	64,00

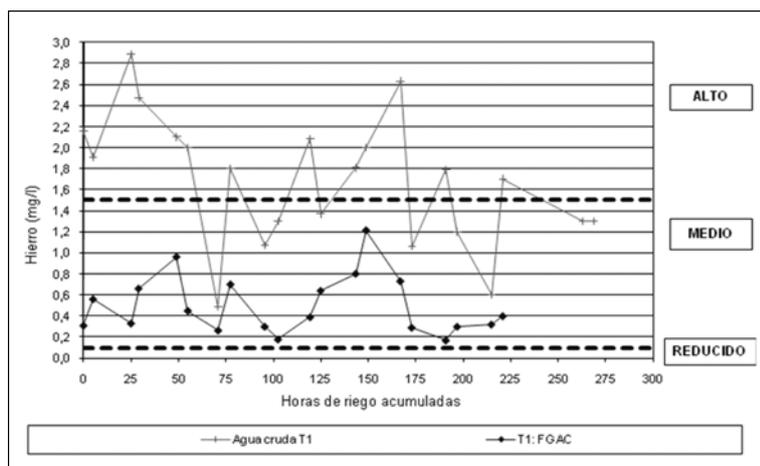


Figura 2. Riesgo de obturación por hierro

con respecto al parámetro “Hierro” durante el funcionamiento del sistema y lo contrasta con el riesgo de obturación en los emisores. Como puede observarse, el riesgo de obturación obtenido es medio durante todo el periodo de riego, indicando que este factor puede influir en la obturación de los emisores de riego, lo que afecta el coeficiente de uniformidad del módulo de riego.

La figura 3 indica las variaciones de manganeso en las muestras de agua durante el periodo de observación, señalando que el riesgo de obturación es reducido durante casi todo el periodo de riego y

que tal vez no afecte la calidad del agua ni el coeficiente de uniformidad del módulo de riego.

La figura 4 muestra el riesgo de obturación de los sólidos suspendidos observándose comportamientos variables. Durante el primer periodo de 75 horas de riego, el riesgo es reducido; para el periodo comprendido entre las 75 y 125 horas de riego ocurrió un incremento de los sólidos, lo que genera un riesgo alto, que se reduce nuevamente para el periodo entre las 125 y 150 horas de riego. Al final el riesgo se eleva otra vez hasta las 220 horas de riego para luego disminuir. El comportamiento de

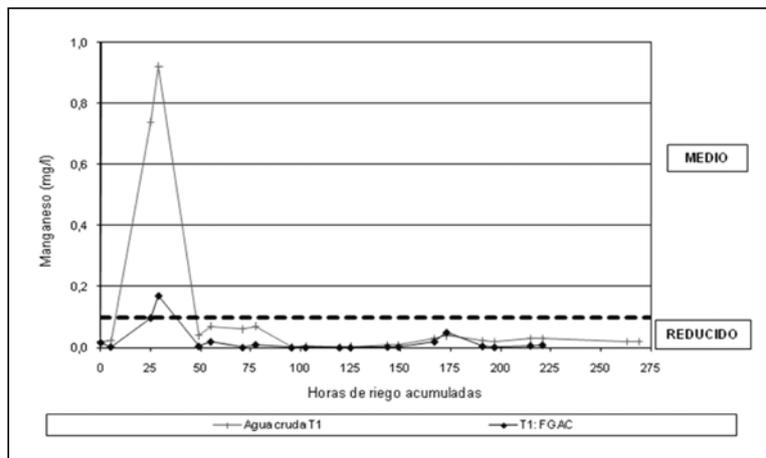


Figura 3. Riesgo de obturación por manganeso

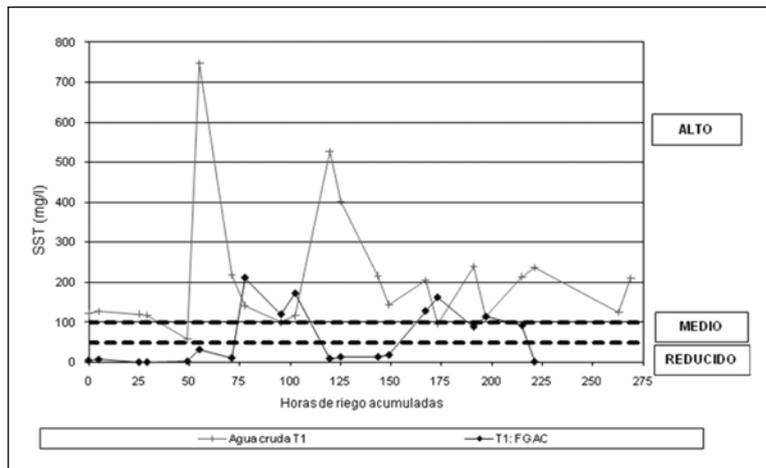


Figura 4. Riesgo de obturación por sólidos suspendidos



esta variable indica que las soluciones con sólidos suspendidos pueden afectar el comportamiento de los emisores y, por lo tanto, el coeficiente de uniformidad del módulo de riego.

La figura 5 presenta el riesgo de obturación por mesófilos, se observa un riesgo reducido de obturación para todo el periodo de riego, lo cual indica que el sistema de filtración FGAC produce una remoción eficiente para esta situación.

Las figuras 1, 2, 3 y 4 muestran las condiciones de calidad del agua cruda y tratada por el proceso de filtración, informando el riesgo de obturación a que están expuestos los distintos emisores. Se comparó la calidad del agua antes y después de los sistemas de filtrado, para garantizar que sí hay remoción de los parámetros, pero no se profundiza en la eficiencia de remoción de los filtros, debido a que el objetivo del trabajo consistió en evaluar el funcionamiento de los goteros para la agua producida por el sistema de filtración propuesto. La tabla 7 muestra la variación del coeficiente de uniformidad de todos los goteros durante el tiempo de riego. Se observa que los valores del coeficiente de uniformidad varían para cada tipo de emisor en función del tiempo de riego. Sólo el gotero microjet mostró

durante las primeras tres horas de riego un comportamiento excelente del coeficiente de uniformidad (94,3 %), resaltándose que para ese mismo periodo la cinta de riego alcanzó su mayor valor (84,88 %, Aceptable). Después de las tres horas de riego, los goteros microjet, autocompensado y Lyn lograron mantener un coeficiente de uniformidad calificado como bueno hasta las 72 horas, extendiendo este comportamiento el gotero Lyn hasta las 96 horas de riego continuo. Observando la variación del coeficiente de uniformidad en los diferentes goteros, se puede concluir que el mejor desempeño fue mostrado por el gotero Lyn y, en orden descendente, el microjet, el gotero autocompensado y la cinta de riego, que mostró un pobre desempeño casi desde el comienzo del ensayo.

En la figura 6 se observa que para el gotero microjet el coeficiente de uniformidad es calificado como bueno en las primeras 48 horas de riego e inaceptable ($< 80\%$) después de las 120 horas. El incremento de la pendiente en el coeficiente de uniformidad a partir de ese tiempo de funcionamiento podría indicar que la calidad del agua producida con el uso de la tecnología FGAC ocasiona obstrucciones en este tipo de emisores.

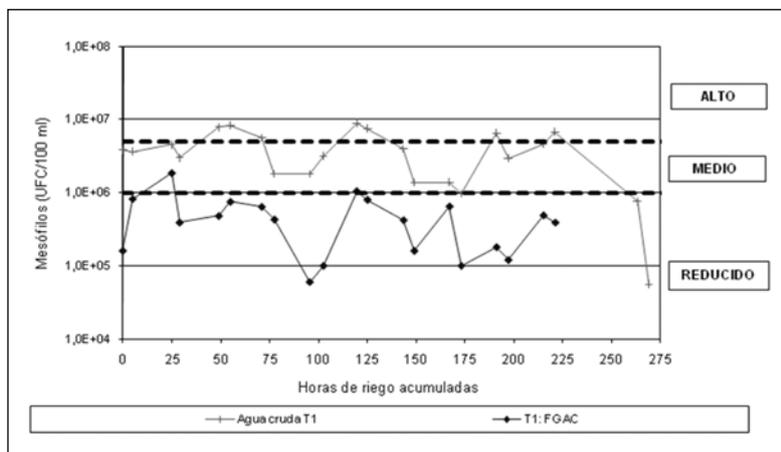


Figura 5. Riesgo de obturación por mesófilos

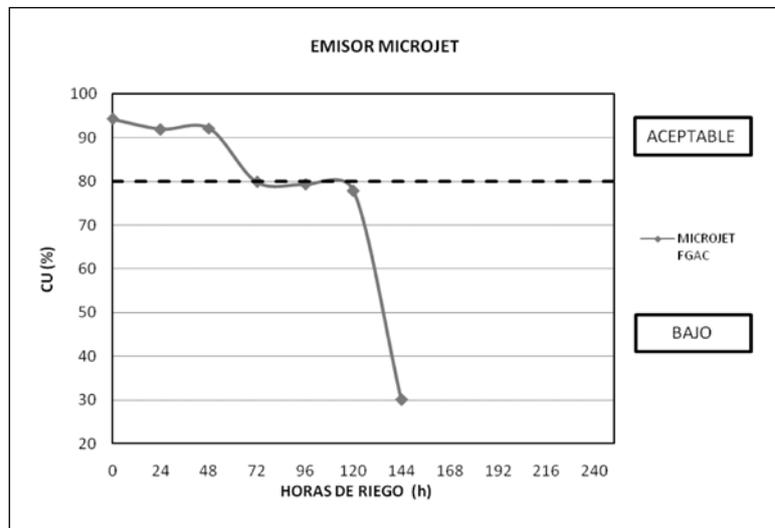


Figura 6. Coeficiente de uniformidad del gotero microjet

La figura 7 muestra como el coeficiente de uniformidad de los goteros autocompensados sólo puede ser calificado como bueno en las primeras 48 horas de riego, con valores cercanos al 90 % en promedio, y a partir de las 80 horas es inaceptable.

La figura 8 muestra la variación del coeficiente de uniformidad en el gotero Lyn donde se aprecia una menor variación del coeficiente en comparación con los goteros microjet (CU < 80 % después de las

120 horas), y autocompensado (CU < 80 % después de las 80 horas). Se observa que en este gotero el coeficiente de uniformidad alcanza calificación Buena (> 90 %) durante las primeras 72 horas y Aceptable (> 80 %) hasta las 168 horas de funcionamiento, por lo cual se califica como el gotero con el mejor comportamiento con respecto a los otros emisores y para las condiciones de calidad de agua que presentó la fuente de abastecimiento.

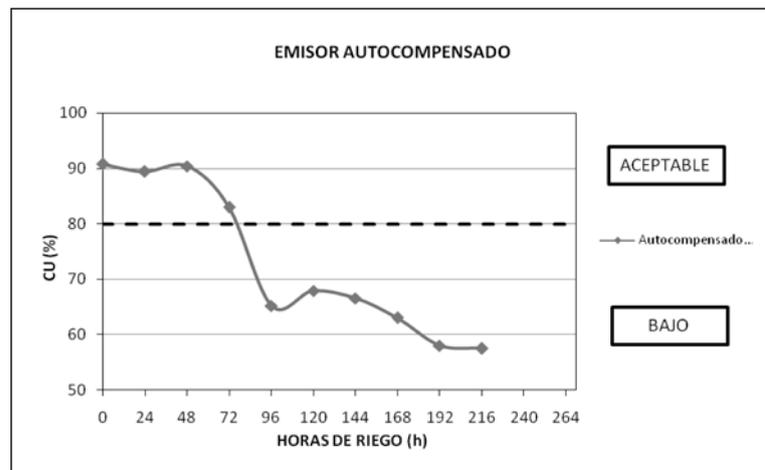


Figura 7. Coeficiente de uniformidad del gotero autocompensado

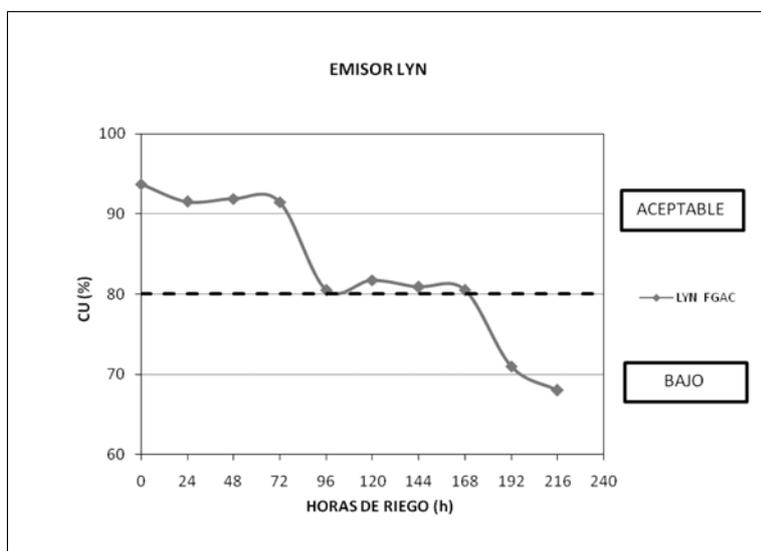


Figura 8. Coeficiente de uniformidad del gotero Lyn

La variación del coeficiente de uniformidad de la cinta de riego (figura 9) señala un bajo desempeño durante casi la totalidad del periodo de riego, con valores de CU menores del 80 %. Por otra parte, el análisis de la variación del CU de los distintos goteros muestra que la cinta de riego presentó la menor

variación, arrojando valores de CU entre 70 % y 80 % durante un periodo de 156 horas; aun así, debido al bajo desempeño con respecto al CU aceptable, es considerado como el sistema de goteros menos apropiado y poco recomendado para combinarlo con los sistemas de filtración empleados.

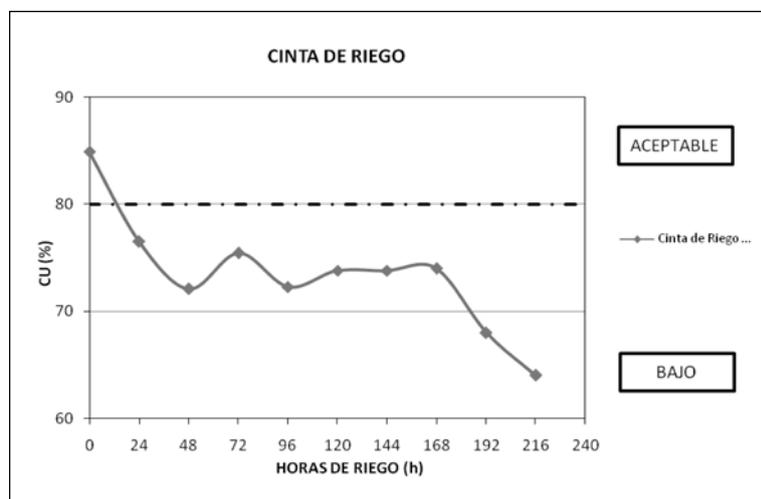


Figura 9. Coeficiente de uniformidad de la cinta de riego (Queen Gil)

4. CONCLUSIONES

El comportamiento de los goteros con respecto al coeficiente de uniformidad indicó que el de mejor desempeño correspondió a los emisores Lyn, seguidos por los goteros autocompensados y microjet, y el de rendimiento menos eficiente correspondió a la cinta de riego. Entre los goteros evaluados la cinta de riego presentó el menor porcentaje de variación del coeficiente de uniformidad. El porcentaje de variación del coeficiente de uniformidad de los goteros ascendió en el siguiente orden: Lyn, autocompensado y microjet. El gotero Lyn obtuvo el mejor comportamiento con respecto al coeficiente de uniformidad cuando se utilizó el método de filtración FGAC.

La cantidad de hierro encontrada en las soluciones de agua a la salida del filtro grueso de flujo ascendente en capas indica que existen riesgos de obturación valorados con calificación media. Esto señala que este indicador puede ser un factor directo de obturación al generar posibles incrustaciones en las tuberías, mangueras y goteros de las redes de riego, lo que altera de manera rápida el coeficiente de uniformidad de los goteros.

El parámetro “Sólidos suspendidos totales” también puede considerarse como factor directo de obturación de los goteros, ya que en varios periodos de riego mostró un riesgo de obturación alto y medio, debido a que la sedimentación puede ocasionar obturación de los emisores, modificando su funcionamiento y causando variaciones en el módulo de riego y de esta manera alterando el coeficiente de uniformidad.

El manganeso y mesófilos presentes en el agua obtenida a la salida del FGAC generaron riesgos de obturación reducidos durante todo el periodo de riego, demostrando que esta tecnología es eficiente en su remoción y tal vez no son factores que contribuyan a la obturación de los goteros y a la variación de los módulos de riego.

Como un caso particular se observó que los goteros tipo microjet son susceptibles de taponarse por circunstancias diferentes a la calidad de agua empleada, como presencia de insectos e incrustación de partículas sólidas de materia orgánica depositada en el suelo. Esto lo condiciona a ser un gotero muy propenso a obturaciones y, por tanto, se recomienda que cuando se empleen este tipo de goteros, los pozos o estanques utilizados como fuente de agua sean protegidos con mallas que disminuyan los efectos de partículas de mayor diámetro que contaminen la fuente.

REFERENCIAS

- Arviza, J. *Evaluación de sistemas de riego localizado*. I curso de riego localizado. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, 1989.
- Ayers, R. S. y Westcot, D. W. *La calidad del agua en la agricultura*. Serie Riego y Drenaje No. 29. Rev. 1. Roma: FAO, 1987. 174 p.
- Bresler, Eshel (1977). “Trickle-drip irrigation: Principles and application to soil-water management”. *Advances in Agronomy*, vol. 29, No. 3, pp. 343-393.
- Bucks, D. A.; Nakayama, F. S. and Gilbert, R. G. (1979). “Trickle irrigation water quality and preventive maintenance”. *Agricultural Water Management*, vol. 2, No. 2 (June), pp. 149-162.
- Elfving, D. C. (1982). “Crop response to trickle irrigation”. *Horticultural Reviews*, vol. 4, pp. 1-48.
- Gallego, Darío; Montoya, Jorge Iván y Valverde, Julián Antonio (2007). “Funcionamiento hidráulico de un filtro anaerobio de flujo ascendente: Evaluación de la inundación”. *Ingeniería Química*, No. 450, pp. 172-183.
- Galvis, Gerardo y Latorre, Jorge (2006). *Filtración en múltiples etapas*. Documento de revisión técnica # 15. IRC. Holanda.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). *Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas*. OPS/CEPIS: Lima, 2005. 28 p.
- Pizarro, Fernando. *Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): Goteo, microaspersión, exudación*. 3ª ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 513 p.
- Román, S. (2000). *Fertilizantes solubles y fertirriego en Chile*. p. 1-38. Primer Seminario Internacional de Fertirriego, Santiago de Chile (28-30 agosto 2000).



Selles, Gabriel; Ferreyra, Raúl; Contreras, Gonzalo; Ahumada, Rodrigo; Valenzuela, Jorge y Bravo, Rodrigo (2003). "Manejo de riego por goteo en uva de mesa CV Thompson seedless cultivada en suelos de textura fina". *Agricultura Técnica*, vol. 63, No. 2 (abril-junio), pp. 180-192.

Vermeiren, L. y Jobling, G. A. *Riego localizado*. Serie Riego y Drenaje, N° 36. Roma: FAO, 1986. 203 p.

Visscher, Jan Teun; Galvis, Gerardo y Latorre, Jorge. *Filtración en múltiples etapas*. Cali: Cinara, IRC, 1999. 197 p.

Wegelin, Martin; Galvis, Gerardo y Latorre, Jorge. (1997). *La filtración gruesa en el tratamiento de agua de fuentes superficiales*. Cali: SANDEC, Cinara, 1997.