



EVALUACIÓN DE LA SENSIBILIDAD A LA OBSTRUCCIÓN EN EMISORES DE RIEGO

ASSESSMENT OF CLOGGING SENSITIVITY TO IRRIGATION'S EMITTERS

Luis Carlos Grajales Guzmán

Universidad del Valle, Cali (Colombia) • luiscarlosg@hotmail.com

María Alejandra Mejía Carreño

Universidad del Valle, Cali (Colombia) • marialeja2000@hotmail.com

Jaime Ernesto Díaz Ortíz

Universidad del Valle, Cali (Colombia) • jaime.diaz@correounivalle.edu.co

Resumen

El uso del agua en sistemas de irrigación de alta tecnología, conlleva el desarrollo de mejores métodos de filtración que minimicen el impacto de posibles obstrucciones en las unidades de aplicación. Los taponamientos de los goteros afectan directamente la eficiencia de los sistemas. Empleando sistemas no convencionales de filtración de agua que combinan un Filtro Grueso de Flujo Ascendente (FGFA) con un Filtro de Anillos (FAN), y sistemas convencionales conformados por (FGFA) con un Filtro de Arena (FA), se comparó el funcionamiento de cuatro tipos diferentes de sistemas de riego localizado de alta frecuencia (Microjet, autocompensado, Lyn y cinta de riego). Se estudió el Coeficiente de Uniformidad del riego (CU) y la capacidad de los filtros en la remoción de parámetros físicos, químicos y microbiológicos que inciden en el riesgo de obturación. Se observó que los emisores Microjet y Lyn mostraron mejor comportamiento del coeficiente de uniformidad con el tratamiento de filtración convencional. Para periodos de riego superiores a 500 horas los emisores autocompensado y Lyn mostraron coeficientes de uniformidad superiores a 80%. La remoción de hierro, manganeso, sólidos suspendidos totales y mesófilos fue significativamente mejor con el sistema convencional, comprobando que FA es más eficiente que FAN.

Palabras clave: riego localizado de alta frecuencia (rlaf), obturación, filtración

Abstract

Technology driven irrigation systems require filtration methods that minimize the impact of possible obstructions in application units, which finally might affect a systems' efficiency. This paper compares the performance of four high frequency localized irrigation systems (Microjet, compensating, Lyn and

drip tape) by using non-conventional and conventional water filtration systems. The non-conventional system combined an Ascendant Flux Gross Filter (FGFA, spanish acronym for: Filtro Gruoso de Flujo Ascendente) with a Ring Filter (FAN, Filtro de Anillos) and the conventional system was formed by a FGFA and a Sand Filter (FA, Filtro de Arena). We studied the irrigation Uniformity Coefficient (CU) and the filter capacity to remove physical, chemical and microbiological parameters, which affect the shutter's risk. The Microjet and Lyn emitters showed better Uniformity Coefficient values together with the conventional filtration treatment. For irrigation periods higher than 500 hours the Compensating and Lyn emitters showed Uniformity Coefficients higher than 80%. The removal of iron, manganese, total suspended solids and mesophiles, was significantly improved when the conventional system was used, demonstrating that FA is more efficient than FAN.

Keywords: localizad high-frecuency irrigation, clogging, filtration

Introducción

Los sistemas de riego localizado de alta frecuencia (Rlaf) se caracterizan por la aplicación de agua, precisa, lenta y eficiente en forma de gotas o pequeños chorros a través de dispositivos llamados emisores. Estos métodos presentan como ventajas una eficiencia alta y bajo riesgo de contaminación. Sin embargo, dependiendo de las características físicas de los goteros, éstos se muestran susceptibles al taponamiento, sobre todo al emplear aguas residuales, convirtiéndose así, en el mayor problema para usar estas tecnologías (Sagi et al., 1995). Los aspectos críticos relacionados con el taponamiento de goteros cuando se utilizan aguas residuales, se refieren a los conductos de largo tramo, a la existencia de regiones de flujo en regimen laminar, a las bajas velocidades y caudales, a las areas de filtracion pequeñas e ineficiencia de los mecanismos auto-limpiadores (Capra y Scicolono, 2004). La sensibilidad al taponamiento varia con las características del emisor (Ravina et al., 1992) y con los aspectos físicos, químicos y biológicos que presente el agua aplicada (Adin y Sacks, 1991; Ayers y Westcot, 1985).

En un trabajo reciente Oliveira et al., (2009), mencionan que la formación de películas biológicas, resultantes de la interacción entre bacterias formadoras de mucílago y sólidos suspendidos, puede ser considerada como el principal factor de taponamiento parcial y total de goteros de las líneas de riego. Estudios realizados por Taylor et al., (1995), evidenciaron que las interacciones entre factores físicos, químicos y biológicos fueron responsables por el 90% de los goteros taponados. Dehghanisani

et al., (2003), constataron que la aplicación de agua residual tratada, proporcionó una reducción en el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por goteo en valores de 9%, para una operación con duración de 187 horas. Por su parte Rav-acha et al. (1995), verificaron una disminución del 68%, en el caudal nominal de los goteros abastecidos con aguas residuales sanitarias ya tratadas, después de 60 horas del inicio del experimento. La obturación de los emisores incide en la uniformidad de riego y de manera directa con el crecimiento de las plantas y la uniformidad de producción.

Diversos autores como Bresler (1977) y Elfing (1982) han descrito ventajas y desventajas para los sistemas Rlaf. Sellés 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 para un tiempo de riego de 18 horas se presentaron las mejores condiciones de humedad del suelo, generando el potencial hídrico xilémico más alto. Las ventajas más notorias se refieren al aumento de la producción de los cultivos, el incremento de la eficiencia en la distribución de fertilizantes y agroquímicos, el crecimiento limitado de arvenses disminuyendo la incidencia de enfermedades, el mejoramiento en la sostenibilidad del recurso hídrico y el menor consumo de energía. Las principales desventajas son la mayor acumulación de sales alrededor de la planta, el costo de los equipos y los problemas de funcionamiento por las obturaciones en los emisores (Ravina et al., 1997).

Pizarro (1996) ha planteado diferentes parámetros sobre la calidad recomendada del agua, que permiten

determinar el riesgo de obturación en sistemas de riego localizado.

Otros inconvenientes se refieren a los procesos de 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 calidad de los materiales utilizados en la fabricación de los emisores parece incidir en las obstrucciones de carácter físico, químico y biológico que se presentan en los mismos (Keller y Bliesner, 1990). Desde el punto de vista físico-químico y biológico, para obtener la mejor calidad de agua en sistemas de riego es necesario implementar tecnologías que garanticen la mínima obturación de los emisores, principal aspecto que afecta la variación del coeficiente de uniformidad (CU) de riego en un cultivo (Martínez, 2000). Pero es importante considerar que los métodos de prevención de esos taponamientos, involucran también aspectos relacionados con el manejo del sistema (filtrado, inspección de campo y lavado de redes de distribución), al igual que con las medidas de tratamiento químico del agua de riego y con los aspectos inherentes de fertilización (Dehghanisani et al., 2005).

Para Galvis y Latorre (2006) la tecnología de filtración (FGFA+FA), ha sido utilizada con éxito para el tratamiento de agua de consumo humano, y debe ser explorada para su uso en sistemas de riego localizado. Combina distintos tipos de filtros de grava y arena, y trabaja con agua de diferentes niveles

de contaminación. Esta tecnología ha desarrollado varios sistemas entre los cuales existen los llamados, Filtros Gruesos con Flujo Ascendente (FGFA). Estos se configuran mediante la combinación de lechos de grava de distinta granulometría instalados en una misma unidad o estructura (Wegelin et al., 1997). La filtración de agua utilizando capas alternadas de arena y grava se emplea en sistemas de filtración en la etapa de pre-tratamiento y permite reducir la concentración de sólidos suspendidos (Gallego et al., 2007).

La investigación evaluó dos sistemas de filtración de agua en cuatro unidades Rlaf diferenciadas por el tipo de sus emisores. Las variables de observación fueron, la calidad de agua para la evaluación de los sistemas de filtración y el Coeficiente de Uniformidad (CU) para los emisores.

Materiales y métodos

La Planta de Tratamiento del Acueducto de Cali, facilitó sus instalaciones para realizar el experimento, y permitió efectuar los análisis de calidad de agua en los laboratorios allí existentes. El montaje experimental pretendió determinar el comportamiento de los sistemas Rlaf, al emplear sistemas de filtración convencional y no convencional.

Se diseñaron cuatro unidades de riego por goteo, cada una con un modelo de Gotero diferente (M1, M2, M3 y M4); las especificaciones técnicas de cada emisor se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de los emisores de riego

TRATAMIENTO	EMISOR	Presión de trabajo (m.c.a.)	Caudal del emisor (l/h)	Número de emisores	Emisores evaluados	CU mínimo estimado
M1	MICROJET	10.54	1.4	10	10	80%
M2	AUTOCOMPENSADO	10.54	1.6	120	120	80%
M3	LYN	10.54	1.6	120	120	80%
M4	CINTA DE RIEGO	7.03	0.2	700	70	75%

Se utilizaron dos tratamientos de filtración (F1, F2), con un sistema de prefiltrado común para ambos, basado en un Filtro Grueso Dinámico (FGDi). El

caudal de entrada (15 l/h) fue el mismo en los dos tratamientos y la velocidad de operación fue de 0.4 m/h. Las especificaciones se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Características del sistema de filtrado

TRATAMIENTO	SISTEMA	Tipo de Filtros	CONTROL
F1	No convencional	FGFA + FAN	Lecturas diarias 5 Piezómetros por cada FGFA Control del nivel por orificio en FA
F2	Convencional	FGFA + FA	Lecturas diarias Manómetros a la entrada y salida

Filtros Gruesos con Flujo Ascendente (FGFA)

Filtro Lento en Arena (FA)

Filtro convencional de anillos (FAN)

Se estableció un diseño experimental de dos factores ($F_i \times M_i$). El efluente de cada uno de los tratamientos de filtración almacenado en un reservorio, se suministró mediante presión a cada uno de los tratamientos de riego.

Para medir el caudal de los goteros se utilizó el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), adaptado de los sistemas de riego por aspersión.

$$(1) \quad CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^m [q_i - \bar{q}]^2}{n_e \bar{q}^2} \right]$$

El experimento se desarrolló de manera simultánea para la combinación de los tratamientos propuestos ($F_i \times M_i$). Para garantizar condiciones hidráulicas iniciales similares, se instalaron en los filtros piezómetros a diferentes alturas del lecho filtrante y en los laterales se controló la presión a la entrada y salida de cada lateral con manómetros de glicerina $(0-30) \pm 0.5$ psi, tomando lecturas periódicas cada 4 horas. Para minimizar las diferencias de presión en las parcelas, se utilizaron laterales cortos, con longitudes de 14 metros, que generaron pérdidas de carga inferiores a 3 mm.

El funcionamiento del sistema de riego no se suspendió durante el desarrollo de la prueba. Las mediciones de caudal se realizaron cada dos días. Para el aforo de los emisores se empleó una probeta graduada y un cronómetro.

La uniformidad de riego se calculó aplicando la ecuación (2) para determinar el coeficiente de uniformidad y los criterios propuestos por Merriam y Keller (1978) citados por Pizarro. Durante el experimento se realizaron 16 mediciones.

$$(2) \quad CU = \frac{q_{25}}{q_a}$$

Donde: CU es el Coeficiente de uniformidad; q_{25} el caudal medio de los emisores que conforman el 25 % de más bajo caudal y q_a el caudal medio de todos los emisores.

La calidad del agua se analizó a la entrada y salida de cada filtro, (FGFA + FA) y (FGFA + FAN), con base en protocolos de APHA-AWWA-WPCF (1999). Los parámetros para determinar la calidad de agua fueron turbiedad, color, pH, sólidos suspendidos totales, hierro, manganeso, coliformes fecales y mesófilos.

El riesgo de taponamiento de los emisores, como principal factor influyente en el comportamiento del CU, se evaluó de acuerdo con los valores establecidos por Nakayama y Bucks (1991) que desarrollaron una clasificación en relación con la calidad del agua y el potencial de obturación de goteros (tabla 3).

Tabla 3. Calidad del agua de riego con relación a los posibles problemas de obstrucción en sistemas de riego localizado. Nakayama y Bucks (1991)

Factores de obturación	Peligro de obturación		
	Bajo	Medio	Alto
Físico			
Sólidos en suspensión (mg/l)	<50	50-100	>100
Químico			
pH	<7.5	7.0-8.0	>8.0
Sólidos disueltos (mg/l)	<500	500-2000	>2000
Manganeso (mg/l)	<0.1	0.1-1.5	>1.5
Hierro (mg/l)	<0.2	0.2-1.5	>1.5
H ₂ S (mg/l)	<0.2	0.2-2.0	>2.0
Biológico			
Población bacteriana (No.Bacterias/ml)	<10.000	10.000-50.000	>50.000

Para el análisis del Coeficiente de Uniformidad (CU) de cada tratamiento se utilizó el *software* estadístico SPSS STADISTICS 17.0.

Resultados

Los sistemas trabajaron durante 735 horas continuas de riego, periodo que permitió realizar 16 aforos de los goteros con el propósito de determinar el Coeficiente de uniformidad en cada unidad de riego.

Coefficiente de Uniformidad (CU)

Los coeficientes de uniformidad de los emisores para ambos tratamiento de filtración se presentan en la tabla 4.

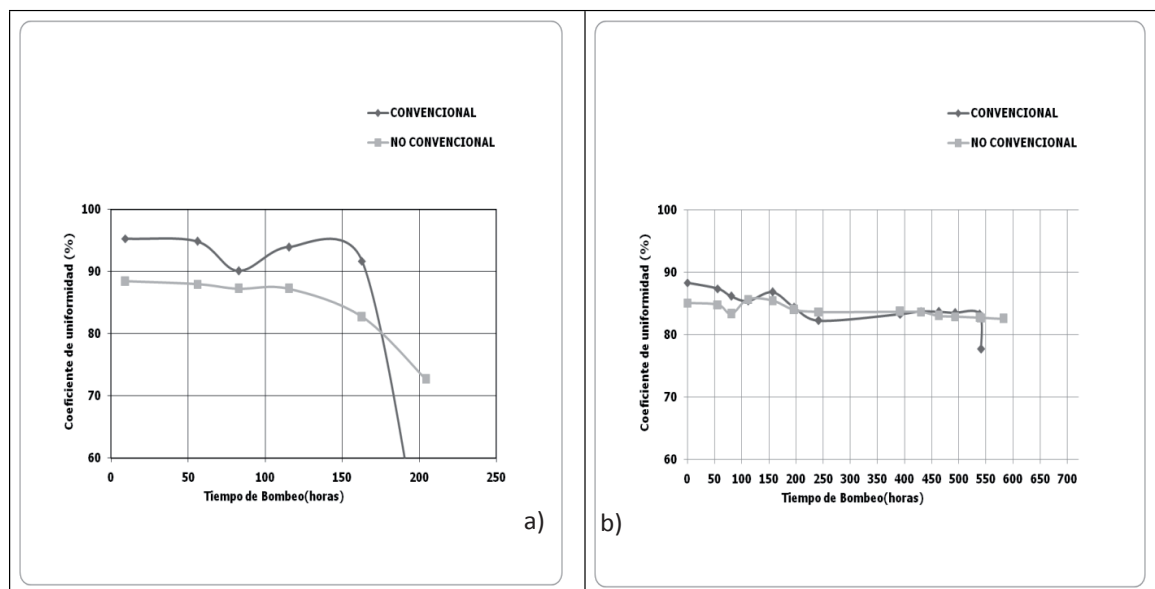
Tabla 4. Coeficiente de uniformidad (%) de los sistemas Rlaf

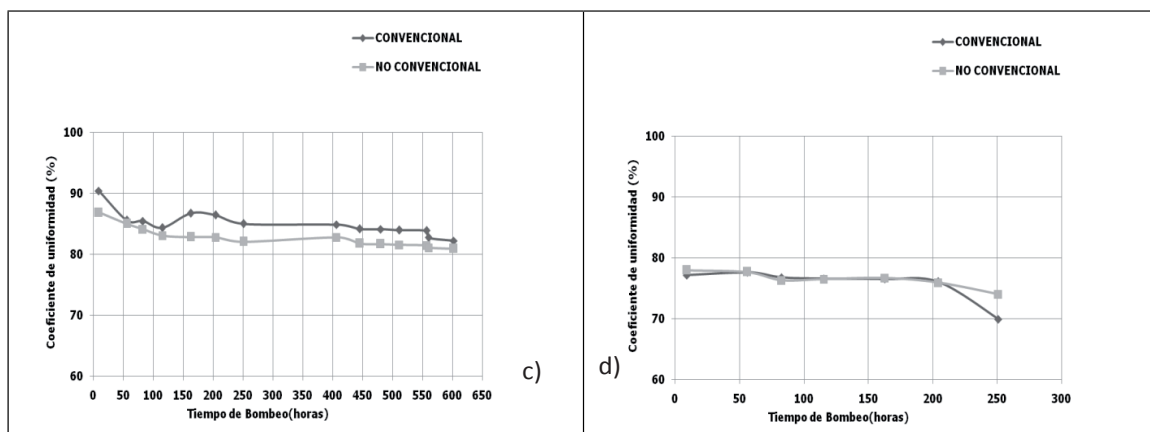
Medición	Emisor	Tratamiento	Tratamiento
		Convencional	No Convencional
1	M1	95.28	88.4
	M4	77.19	78.01
	M2	88.34	85.11
	M3	90.43	86.88
2	M1	94.83	87.96
	M4	77.65	77.71
	M2	87.37	84.82
	M3	85.6	85.06
3	M1	90.1	87.25
	M4	76.79	76.35
	M2	86.16	83.34
	M3	85.49	84.15
4	M1	93.92	87.25
	M4	76.62	76.53
	M2	85.43	85.68
	M3	84.34	83.08
5	M1	91.67	82.69
	M4	76.55	76.71
	M2	86.85	85.49
	M3	86.75	82.87
6	M1	69.88	72.68
	M4	76.08	75.95
	M2	84.37	83.99
	M3	86.45	82.83

7	M4	69.94	74.05
	M2	82.29	83.87
	M3	85.03	82.08
8	M2	83.3	83.69
	M3	84.9	82.8
9	M2	83.75	83.65
	M3	84.19	81.82
10	M2	83.71	83.03
	M3	84.15	81.71
11	M2	83.54	82.89
	M3	84.0	81.58
12	M2	83.39	82.77
	M3	83.89	81.48
13	M2	77.72	82.71
	M3	82.76	81.11
14	M2	Se suspendieron mediciones	82.57
	M3	82.24	80.94
15	M2	Se suspendieron mediciones	81.97
	M3	Se suspendieron mediciones	80.47
16	M2	Se suspendieron mediciones	80.97
	M3	Se suspendieron mediciones	79.84

El análisis de varianza entre los tratamientos de filtración mostró diferencias significativas a favor del tratamiento F2, con probabilidad de 95%, para los coeficientes de uniformidad (CU) de los emisores Microjet (0.028) y Lyn (0.036). Se observa que en los emisores Autocompensados y Cinta de riego la variación del CU fue menor para periodos de riego de 500 horas.

Figura 1. a) Coeficiente de uniformidad M1; b) Coeficiente de uniformidad M2; c) Coeficiente de uniformidad M3; d) Coeficiente de uniformidad M4





En la figura 1a se observa que el CU del emisor M1, fue superior en el tratamiento convencional durante 160 horas de funcionamiento del riego. Es conveniente destacar que el diámetro del orificio en el Microjet (M1) es de 74 μm , y por tanto pareciera que el control de tamaño de partículas con el filtro F2 es mejor que con el filtro F1. En este sentido, la posibilidad que partículas de mayor tamaño no sean retenidas por el filtro no convencional, sumado al bajo número de emisores evaluados, donde el taponamiento de solo uno puede incidir notoriamente en los resultados, parece explicar el mejor funcionamiento del tratamiento F2 y la sensible disminución del CU en ambos tratamientos, después de 180 horas de riego.

La figura 1b, indica que el coeficiente de uniformidad con los goteros Autocompensados (M2), fue ligeramente mejor en el tratamiento convencional durante las primeras 100 horas de riego. Posteriormente ambos tratamientos se comportaron de forma similar para períodos de riego de mayor duración (>500 horas).

El coeficiente de uniformidad de los emisores Lyn (M3) fue mas alto con el tratamiento convencional (figura 1c), pero se destaca que ambos tratamientos presentaron valores de CU superiores al 85%. En comparación, las Cintas de riego (M4), presentaron valores de CU inferiores al 80%, para ambos tratamientos durante todo el periodo de riego.

Comparando los CU de los emisores con ambos tratamientos, se observa que el de mejor comportamiento en el tiempo lo obtuvo el emisor Lyn (M3); no obstante es importante destacar que los emisores tipo Microjet (M1), inicialmente presentaron CU cercanos al 95%, pero durante periodos de riego mas cortos.

Calidad de agua

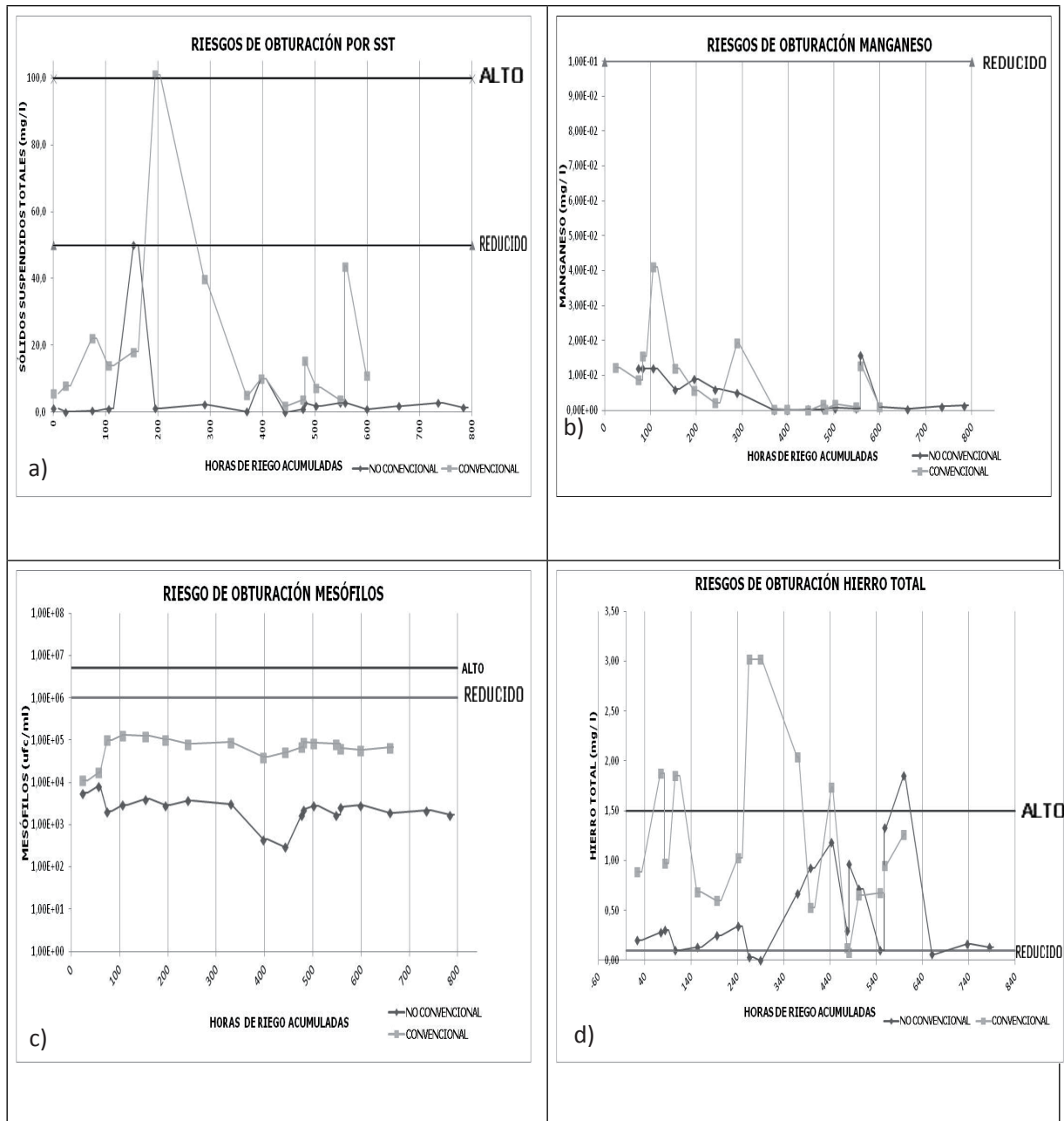
El análisis de los parámetros de calidad de agua (Mesófilos, Sólidos suspendidos totales, Hierro, Manganeseo y Coliformes Fecales) se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Análisis estadístico de los parámetros de calidad de agua

Parámetros de calidad		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Hierro Total	Inter-grupos	71043.200		71043.200	10.215	.002
	Intra-grupos	542450.000	78	6954.487		
	Total	613493.200	79			
Manganeseo	Inter-grupos	13.737		13.737	5.041	.028
	Intra-grupos	212.556	78	2.725		
	Total	226.293	79			
SST	Inter-grupos	2.134E7		2.134E7	23.228	.000
	Intra-grupos	7.166E7	78	918655.648		
	Total	9.299E7	79			
Coliformes Fecales	Inter-grupos	332949.012		332949.012	13.760	.000
	Intra-grupos	1887332.875	78	24196.575		
	Total	2220281.888	79			
Mesófilos	Inter-grupos	1.038E17		1.038E17	33.574	.000
	Intra-grupos	2.412E17	78	3.092E15		
	Total	3.450E17	79			

Los resultados de Anova indican que existe una diferencia significativa de los parámetros de calidad de agua para los dos tratamientos de filtración.

Figura 2. a) Riesgo de obturación por sólidos suspendidos totales; b) Riesgo de obturación por (Mn); c) Riesgo de obturación por mesófilos; d) Riesgo de obturación por (Fe)



La figura 2 presenta el riesgo de obturación por cada parámetro de calidad de agua evaluado, observándose que para sólidos suspendidos totales (SST), manganeso y mesófilos, el riesgo de obturación es reducido durante casi todo el tiempo de funcionamiento. En

la figura 2a se observa un valor que sobrepasa los valores permitidos de SST a las 200 horas, en el tratamiento F2, posteriormente el sistema se estabilizó. Se demuestra de esta forma que la uniformidad de aplicación en sistemas de concentración de sólidos

suspendidos se mejora con el empleo de filtros de arena, como lo muestran los resultados presentados por Rowan et al. (2004), al emplear filtros de arena con granulometría de 0,5 mm.

Los niveles de hierro total para el tratamiento convencional presentan un comportamiento irregular, manteniendo valores de obturación alto, según la clasificación de Nakayama y Bucks, 1991, (tabla 3), donde el comportamiento más estable se obtuvo con la tecnología FiME, que presentó un riesgo de obturación medio.

Se puede apreciar que la el tratamiento de filtración F2, muestra porcentajes de riesgo de obturación más bajos para todos los parámetros evaluados. Esto parece corroborar que el sistema de filtración F2, es más eficiente, pero no explica totalmente la influencia de estos parámetros en la obturación de los emisores, lo cual produce resultados similares a los presentados por Adin y Sacks (1991).

Por las determinaciones realizadas parece que los niveles de hierro (Fe) en el agua, pueden presentar un alto riesgo de obturación alto los emisores de riego.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede indicar que el sistema de filtración FGFA+FA, es más eficiente que el sistema FGFA+FAN, debido a que con FGFA+FA los emisores de riego presentaron coeficientes de uniformidad más elevados y con menores riesgos de obturación.

Los emisores M2 (Autocompensado) y Lyn (M3), presentaron un mejor comportamiento del Coeficiente de uniformidad, durante mayor tiempo de riego.

Inicialmente, el coeficiente de uniformidad del emisor M1 (Microjet) fue el más alto, pero descendió rápidamente para ambos tratamientos de filtración.

Las Cintas de riego (M4) tuvieron un comportamiento relativamente bajo pero uniforme del coeficiente de uniformidad y durante un periodo de riego apreciable (≈ 220 horas).

Los emisores Autocompensado (M2) y Lyn (M3), mostraron diferencias estadísticas significativas para el Coeficiente de uniformidad, con los tratamientos de filtración aplicados.

Los emisores M2 y M3, funcionaron adecuadamente durante un mayor tiempo de riego, obteniendo valores más altos del Coeficiente de uniformidad que los emisores M1 (Microjet) y M2 (Cintas de riego).

Valores del coeficiente de uniformidad obtenidos por Lobo y Ramírez (2008) fueron más altos y mostraron mejor comportamiento de remoción en los parámetros de calidad de agua evaluados, cuando el sistema FGFA+FA, opera con una velocidad de filtración de 0.2 m/h. Parece que el incremento en la velocidad de operación del sistema disminuye la capacidad de remoción y afecta los valores del coeficiente de uniformidad.

Se presentaron diferencias estadísticamente significativas en los efluentes del FA y con los efluentes del FAN, entre los parámetros de hierro (Fe), manganeso (Mn), sólidos suspendidos totales (SST) y mesófilos; comprobando que el FLA es mucho más eficiente que el filtro de anillos en la remoción de agentes bio-químicos que afectan la calidad del agua.

Los riesgos de obturación por los parámetros de calidad de agua medidos, parecen no tener mayor influencia en la obstrucción de los emisores y por el contrario se destaca la importancia de la velocidad de operación de los sistemas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Cinara por el apoyo para la realización del trabajo.

Referencias

Adin, A. y Sacks, M. (1991). Dripper-clogging factors in wastewater irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 117(6), 813-826.

American Public Health Associations, American Water Works Association, Water Environment Federation, APHA-AWWA-WPCF. (1999). *Standart methods*

- for the examination of water and wastewater.* 21 th ed, Editorial APHA, Baltimore, Partes 2000:92p, 3000:106p, 9000:168p.
- Arviza, J. (1989). *Evaluación de sistemas de riego localizado*. I curso de riego localizado, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Ayers, R. S., Westcot, D.W. (1985). Water quality for irrigation. *Irrigation and Drainage*. Paper. No. 29, FAO, Rome. 174, 1.
- Bresler, E. (1977). Trickle-drip irrigation: Principles and application to soil-water management. *Advances in Agronomy*, 29, 343-349.
- Capra, A. y Scicolone, B. (2004). Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 68(2), 135-149.
- Dehghanisani, H., Yamamoto, T., Rasiah, V., Inoue, M., Keshavarz, A. (2003). *Control of clogging in microirrigation using wastewater*. ASAE Annual International Meeting, Paper number 032027.
- Dehghanisani, H., Yamamoto, T., Ould Ahmad, B.V., Fujiyama, H., Miyamoto, K. (2005). The effect of chlorine on emitter clogging induced by algae and protozoa and the performance of drip irrigation. *Transaction of the American Society Agricultural Engineers*, 48(2), 519-527.
- Elfving, D. C. (1982). Crop response trickle irrigation. *Horticultural Reviews*, 1, 1-48.
- Gallego, D., Montoya, J., Valverde, J. (2007). Funcionamiento hidráulico de un filtro anaerobio de flujo ascendente: Evaluación de la inundación. *Ingeniería Química*, 450, 172-183.
- Galvis, G., Latorre, J. (2006). *Filtración en Múltiples Etapas*. Documento de revisión técnica 15, IRC, Holanda.
- Keller, J., Bliesner, D. (1990). *Sprinkle and trickle irrigation*, AVI Book, Van Nostrand Reinhold. New York.
- Loboa, J., Ramírez, S. (2008). Evaluación de la uniformidad de riego para cuatro sistemas de riego localizado de alta frecuencia (RLAF) con tres configuraciones de la tecnología filtración en múltiples etapas (FiME) y filtro de anillos. Tesis de pregrado. Cali: Universidad del Valle.
- 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 Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile). Centro Regional de Investigación Intihuasi (La Serena). Boletín INIA N° 24, 28p.
- Merriam, J. L., Keller, J. (1978). *Farm irrigation systems evaluation. A guide for management*, Utah. State University. USA.
- Nakayama, F.S., Bucks, D.A. (1991). Water quality in drip/trickle irrigation: A review. *Irrigation Science*, 12, 187-192.
- Oliveira, R., Alves, A., Zapata, O. L., Rodríguez, J.A., Vinicius, C., Astoni, D. (2009). Taponamiento de goteros y del filtro de discos con agua residual sanitaria de una laguna de maduración. *Facultad Nacional de Agronomía*, 62(1), 4957-4966.
- Pizarro-Cabello, F. (1996). *Riego localizado de alta frecuencia: Calidad de agua para riego*. España: Ediciones Mundi – Prensa.
- Rav-Acha, C.H., Kummel, M., Salamon, I., Adin., A. (1995). The effect of chemical oxidants on effluent constituents for drip irrigation. *Water Research*, 29(1), 119-129.
- Ravina, I., Paz, E., Sofer, Z., Marcu, A., Schischa, A., Yechialy, G.Z., Lev, Y. (1997). Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. *Agricultural Water Management*, 33(2-3), 127-137.
- Rowan, M., Mancl, K., Tuovinen, O. H. (2004). Clogging incidence of drip irrigation emitters distributing effluents of differing levels of treatment. In: On-Site Wastewater Treatment. Sacramento, *Proceedings ASAE*.
- Sagi, G., Paz, E., Ravina, I., Schischa, A., Marcu, A., Yechialy, Z. (1995). Clogging of drip irrigation systems by colonial protozoa and sulfur bacteria. International Microirrigation Congress, 5, *Proceedings ASAE*.
- Sellés, G., Ferreyra, R., Gonzalo, W., Rodrigo, B., Valenzuela, J., Bravo, R. (2003). *Clogging incidence of drip irrigation emitters distributing effluents of differing levels of treatment*. In: On-Site Wastewater Treatment. Proceedings ASAE. Sacramento.
- Taylor, H.D., Bastos, R., Pearson, H., Mara, D. (1995). Drip irrigation with waste stabilisation pond effluents: Solving the problem of emitter fouling. *Water Science Technology*, 31(12), 417-424.
- Wegelin, M., Galvis, G., Latorre, J. (1997). *La filtración gruesa en el tratamiento de agua de fuentes superficiales*. SANDEC, CINARA; Colombia.

Sobre los autores

Luis Carlos Grajales Guzmán

Ingeniero Agrícola. Estudiantes de Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad del Valle, Cali (Colombia)
luiscarlosg@hotmail.com

María Alejandra Mejía Carreño

Ingeniero Agrícola. Estudiantes de Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad del Valle, Cali (Colombia)
marialeja2000@hotmail.com

Jaime Ernesto Díaz Ortíz

Ingeniero Agrícola, Doctor en Ingeniería Ambiental, Profesor Titular. Universidad del Valle, Cali (Colombia)
jaime.diaz@correounivalle.edu.co