

EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO QUÍMICO EN LA PREVENCIÓN DEL TAPONAMIENTO DE GOTEROS APLICANDO AGUA RESIDUAL SANITARIA TRATADA

EFFICIENCY OF CHEMICAL TREATMENTS IN PREVENTING THE CLOGGING OF DRIPPERS BY APPLYING TREATED SANITARY SEWARAGE

RAFAEL OLIVEIRA BATISTA

Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa – UFV, eng.batista@gmail.com

ANTÔNIO ALVES SOARES

Professor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa - UFV, aasoares@ufv.br

OLGA LUCÍA ZAPATA MARIN

Administración En salud: Gestión Sanitaria y Ambiental, universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, olluzama@gmail.com

JOSÉ ANTONIO RODRIGUES DE SOUZA

Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, jarstec@yahoo.com.br

MÁRCIA APARECIDA SARTORI

Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, marciasartoriufv@yahoo.com.br

RAQUEL OLIVEIRA BATISTA

Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, kfloresteira@gmail.com

Recibido para revisar Julio 23 de 2008, aceptado marzo 3 de 2009, versión final marzo 16 de 2009

RESUMEN: El objetivo de este trabajo fue el de verificar la eficiencia del tratamiento químico en la prevención del taponamiento de los sistemas de goteo, cuando se usa aguas residuales sanitarias tratadas. Para la realización del ensayo experimental fue construida una plataforma de ensayos con la finalidad de abastecer cuatro unidades de irrigación por goteo con aguas residuales sanitarias, tratada y filtradas mediante un filtro de disco de 120 mesh. Fueron ensayados tres modelos de goteros (M1, M2 y M3) durante un período de 560 horas. En el tratamiento químico fueron ensayadas las concentraciones de cloro residual libre de 0; 0,4; 1,0 y 1,9 mg L⁻¹. A partir de los resultados obtenidos se tienen las siguientes conclusiones: el agua residual sanitaria, tratada por aplicación vía sistema de irrigación por goteo propicio la formación de un biofilme en los goteros, resultante de la interacción entre colonias de bacterias y algas. La aplicación de cloro en el agua residual sanitaria tratada, minimizó el desarrollo del biofilme en el interior de los goteros y de las líneas laterales de irrigación; además, se encontró que los goteros con mayor diámetro en el laberinto y con mas de un filtro secundario (M2 y M3), son mas susceptibles al taponamiento cuando trabajan con aguas residuales tratadas. La concentración de cloro residual libre de 0,4 mg L⁻¹ fue mas sustentable en la prevención de taponamiento por biofilme en sistemas de riego por goteo que operan con agua residual domestica tratada.

PALABRAS CLAVE: cloración, acidificación, biofilme, goteros, uniformidad de aplicación de agua.

ABSTRACT: The present work aimed to verify the efficiency of the chemical treatment on preventing drippers clogging, by applying treated sanitary sewerage. A platform for tests was built for this experiment, in order to supply four units of drip irrigation with treated sanitary sewerage, which was filtered in 120 mesh disc filter. Three different models of drippers were tested (M1, M2 e M3) for a period of 560 hours. In the chemical treatment, the concentrations of free residual chlorine of 0; 0.4; 1.0 and 1.9 mg L⁻¹ were tested. The results obtained led to the following conclusions: the treated sanitary sewerage applied via the drip irrigation system produced a biofilm, which resulted from the interaction between the colonies of bacteria and algae in the drippers. The application of chlorine in the treated sanitary sewerage hindered the development of the biofilm inside the drippers and the lateral lines; and drippers with a longer labyrinth and more than one secondary filter (M2 e M3) are more likely to face obstruction when they receive treated sanitary sewerage. The concentration of free residual chlorine of 0.4 mg L⁻¹ was more maintainable in the clogging prevention for biofilm in drip irrigation system operate with treated sanitary sewerage.

KEY WORDS: chlorination, acidification, biofilm, emitters, uniform application of water.

1. INTRODUCCIÓN

El taponamiento de goteros es el mayor problema asociado con sistemas de riego por goteo utilizados en el manejo de aguas residuales [1-2]. La formación de depósitos gelatinosos, resultantes de la interacción entre lodo bacteriano, algas y zooplancton, han sido el factor central en el proceso de taponamiento de los goteros cuando se aplica agua residual [3-4]. En la referencia [5], evidenciaron que las interacciones entre factores físicos, químicos y biológicos fueron responsables por 90% de los taponamientos en los goteros. En la referencia [1], relataron que las aguas presentes en residuos sanitarios tratados obstruían los goteros, solamente después de la ocurrencia de disposiciones minerales o de material gelatinoso.

Una gran desventaja asociada a la utilización de aguas residuales en sistemas de riego localizados, consiste en la reducción de la uniformidad de aplicación de agua en función de la modificación del caudal, por el taponamiento parcial o total, de los goteros. En la referencia. [6], 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. Un hecho similar ocurrió en otro estudio, donde identificaron colonias de protozoarios, ocupando el 57% del área de los goteros, lo que generó una disminución del 38% en el caudal nominal. [2]

La uniformidad de aplicación del agua en sistemas de riego localizados puede ser

expresada por medio de varios coeficientes. El coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), presentado en la ecuación 1, el cual fue adaptado del sistema de irrigación por aspersión. En la Tabla 1, se presenta una clasificación de los sistemas de irrigación localizados, en función del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC).

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

Donde:

q_i = caudal de cada gotero, L h⁻¹;

\bar{q} = caudal promedio de los goteros, L h⁻¹

n_e = número de goteros.

Tabla 1. Clasificación de los sistemas de riego localizados en función del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC)

Table 1. Classification of irrigation systems located in function of Christiansen uniformity coefficient (CUC)

Clasificación	CUC (%)
Excelente	90 – 100
Buena	80 – 90
Regular	70 – 80
Clasificación	CUC (%)
Mala	60 – 70
Muy mala	–

Fuente: [7]

Los métodos de prevención de esos taponamientos deben envolver tanto aspectos relacionados al manejo del sistema (filtrado, inspección de campo y lavado de redes de distribución), al igual que las medidas de

tratamiento químico del agua de fertilización con riego [8]. El proceso de filtrado aisladamente no previene el taponamiento de los goteros, así sea hecho con la utilización de filtros de [9]. En el tratamiento químico, la cloración es el proceso más utilizado, sin embargo, otras sustancias, como los ácidos clorhídricos y fosfóricos, las sales de cobre, el amonio y otros, también pueden ser aplicadas.

En la referencia [4], trabajaron con 12 goteros de diferentes modelos y marcas comerciales, donde determinaron que el nivel de taponamiento por el agua residual fue similar tanto para sistemas con filtros de tela de 80 mesh, como en los de 120 mesh, siendo, mayor para los de 40 mesh. Esos autores concluyeron que la mayoría de los tipos de goteros presentó mayor confiabilidad de operación cuando se asociaron a filtros de tela de 80 mesh, con cloración diaria (10 mg L^{-1}), y haciendo lavados de las laterales cada dos semanas.

En la referencia [9], manifiestan que la cloración es necesaria para prevenir el crecimiento del lodo bacteriano y algas dentro de los sistemas de riego por gotero que aplican aguas residuales sanitarias secundarias. Utilizando goteros autolimpiadores, filtro de arena (con partículas de 0,45 mm de tamaño efectivo) y con la adición de 2 mg L^{-1} de cloro residual libre, durante la última hora de un ciclo de irrigación, se consiguió un coeficiente de uniformidad estadística de aplicación de agua (Us) del 92%. Mientras tanto, para los goteros de laberinto tortuoso y de flujo turbulento, con filtrados de partículas mayores que $80 \mu\text{m}$, y con la aplicación continua de $0,6 \text{ mg L}^{-1}$ de cloro residual libre, se le propició al sistema un coeficiente de uniformidad estadística (Us) del 97%.

En la referencia [10], evaluaron el desempeño de cuatro tipos de cintas con goteros, abastecidas con agua residual, de un sistemas de tratamiento tipo lodo activado. El tratamiento del efluente incluyó, el pasar por dos filtros de arena (sílica nº 20), un filtro de tela ($105 \mu\text{m}$) y la aplicación continua de cloro ($0,4 \text{ mg L}^{-1}$ de cloro residual libre). Así mismo, fueron constatados varios goteros parcial o totalmente taponados, principalmente en el final las líneas laterales.

Los autores recomendaron realizar lavado de los laterales (con velocidades mínimas de $0,5 \text{ m s}^{-1}$), una vez por cada dos semanas, para prevenir el acumulamiento de sedimentos, que no fueron retenidos en los filtros de arena. En la referencia [11], recomendaron mantener un valor de pH de 6,3 en el agua residual de fertilización con riego, por la adición de ácidos, con el fin de aumentar la eficiencia de la cloración.

En este trabajo, el objetivo fue el de verificar la eficiencia del tratamiento químico (cloración y acidificación), en la prevención del taponamiento de los goteros, cuando se aplica aguas residuales sanitarias ya tratadas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en la estación piloto de tratamiento de aguas residuales del Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad Federal de Viçosa-Brasil. La estación fue abastecida con agua residual sanitaria proveniente de un conjunto residencial, donde recibió un tratamiento en tres etapas. Inicialmente, el residuo líquido sin tratar, paso por un tratamiento preliminar, en el cual un desarenador removió, los sólidos de mayor peso específico. La reducción de la carga orgánica (DBO_5), fue obtenida haciendo una disposición de las aguas residuales sanitarias en sistemas cultivados con capim Tifton 85 del genero *Cynodon*, que tenían 1,0 metro de ancho, 2,5 metros de largo y una pendiente del 2%. Después del tratamiento secundario, el agua residual sanitaria, fue arrojada en una laguna de oxidación, con una capacidad de almacenamiento de 300 m^3 , para remover los organismos patogénicos.

En la parte extrema de la laguna, fue instalada una motobomba de 3 c.v y un filtro de disco común de 120 mesh, con el fin de abastecer cuatro unidades de riego por goteo, montadas sobre la plataforma de pruebas, la cual fue construida durante el período de investigación, a un lado de la laguna. Las unidades de irrigación estuvieron compuestas por tres tipos de modelos de goteros (M1, M2, y M3), donde las características técnicas de cada uno de estos se dan a conocer en la Tabla 2.

Tabla 2. Características técnicas de los modelos de goteros M1, M2 y M3 utilizados en el experimento montado sobre a plataforma de pruebas

Table 2. Technical characteristics of droppers models M1, M2 and M3 used in the experiment mounted on a platform of test

Modelo	Tipo	Caudal (L h ⁻¹)	Presión (kPa)	Separación entre goteros (m)	Ancho del laberinto (mm)	Abertura del laberinto (mm)	Número de filtros secundarios por goteros
M1	No Autocompensador	1,7	40-250	0,75	177	1,7	1
M2	Autocompensador	2,1	50-400	0,75	260	2,1	2
M3	No autocompensador	2,0	100-400	0,60	396	2,7	2

Las unidades de irrigación recibieron los siguientes tratamientos:

- Tratamiento T1: Abastecimiento con aguas residuales sanitarias de la laguna de oxidación y filtración común con filtro de disco.
- Tratamiento T2: Abastecimiento con aguas residuales sanitarias de la laguna de oxidación, filtración común con filtro de disco, acidificación (pH 6,6) y cloración (0,4 mg L⁻¹ de cloro residual libre).
- Tratamiento T3: Abastecimiento con aguas residuales sanitarias de la laguna de oxidación, filtración común con filtro de disco, acidificación (pH 6,6) y cloración (1,0 mg L⁻¹ de cloro residual libre).
- Tratamiento T4: Abastecimiento con aguas residuales sanitarias de la laguna de oxidación, filtración común con filtro de disco, acidificación (pH 6,6) y cloración (1,9 mg L⁻¹ de cloro residual libre).

En la línea de derivación de cada unidad de irrigación, la cual estuvo constituida por tubería en PVC con un diámetro nominal de 32mm, fueron inseridos nueve conectores. Para cada modelo de goteros, fueron instaladas tres líneas laterales de 25 metros de largo. En cada línea lateral de los modelos M1 y M2, existieron 32 goteros, y en las líneas del modelo M3, 41 goteros. Para efecto de estandarizar los resultados, se procedió con la identificación de

32 goteros por línea lateral, para las evaluaciones de la uniformidad de aplicación del agua.

Durante el período de prueba fueron realizadas 8 evaluaciones, acerca de los niveles de uniformidad de las aplicaciones de agua, cada 80 horas, en las cuatro unidades de irrigación. Se determinaron los caudales de los 32 goteros seleccionados en cada línea lateral, tomando un tiempo de colecta de los datos de 3 minutos. Posteriormente, esos datos fueron utilizados para encontrar el coeficiente de uniformidad de aplicación del agua, por medio de la ecuación 1.

En la dirección del conjunto de motobombas de 3 c.v, fue instalado un filtro de disco de 120 mesh, con capacidad de filtración de 8 m³ h⁻¹. La limpieza del filtro, fue realizada siempre que ocurría una caída en la presión por debajo de los 20 kPa, medidas después del filtro, de acuerdo al criterio propuesto por la referencia [12].

El tratamiento químico fue realizado durante una hora, cada 35 horas de funcionamiento de las unidades de irrigación, correspondientes a los tratamientos T2, T3, y T4. Para tal tratamiento fueron utilizados los productos químicos dicloroisocianurato de sodio (65%) y ácido fosfórico (85%). Cada producto fue diluido separadamente, en recipientes plásticos con 10 L de agua, e inyectados en la conducción de la tubería, después del sistema de filtración, por medio de dos inyectores de fertilizantes tipo Venturi, de 70 L h⁻¹ de capacidad cada uno. Los inyectores fueron instalados en serie, en

dirección del filtro del disco, siendo el primero responsable por la inyección del ácido fosforito y el segundo, por la aplicación del dicloroisocianurato de sodio, los cuales fueron regulados mediante registros de esfera para una razón de inyección de 10 L h^{-1} .

La cantidad de cloro aplicada fue monitoreada, utilizando un kit de análisis de cloro residual libre, de tal manera de mantener tenores de 0,4; 1,0; y $1,9 \text{ mg L}^{-1}$ en el final de las líneas laterales de los tratamientos T2, T3 y T4, respectivamente. Durante el tratamiento químico, el pH del agua residual sanitaria tratada y colectada en el final de las líneas, fue monitoreado y se mantuvo un valor promedio de 6,6, a través de la adición de ácido fosforito, con la finalidad de prevalecer la presencia del ácido hipocloroso (agente bactericida). Después de la aplicación, las líneas que recibieran el tratamiento químico, eran dejadas en reposo por 12 horas, y en el día siguiente, las unidades de irrigación, operaban normalmente hasta ser realizada la próxima aplicación.

La presión de servicio fue mantenida en 101 kPa, por medio de una válvula controladora, instalada en el inicio de la derivación. Las unidades de irrigación funcionaron en un promedio de 12 horas por día, durante siete días por semana, hasta completar un tiempo total de operación de 560 horas.

Después de las 560 horas de aplicación de las aguas residuales sanitarias por el sistema, se retiraron las muestras de los goteros taponados, para identificar el material que generó la obstrucción. Las muestras fueron retiradas en el inicio, de la mitad y del final de las líneas laterales, siendo posteriormente acondicionadas en cajas de icopor con hielo, donde posteriormente fueron llevadas a los laboratorios específicos de los Departamentos de Biología Vegetal y de Microbiología de la Universidad Federal Viçosa.

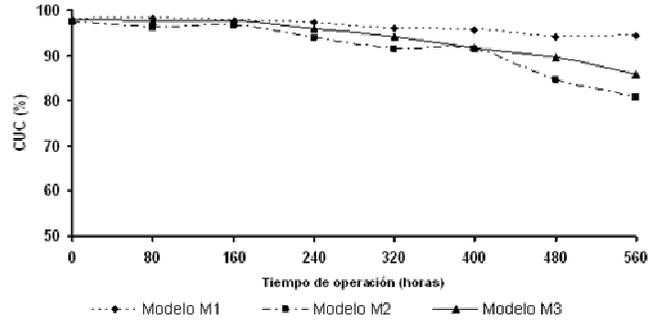
El experimento fue montado en un esquema de parcelas subdivididas, teniendo las parcelas un arreglo factorial de 3×4 (tres modelos de goteros por cuatro tratamientos), y en las subparcelas, en los horarios de las evaluaciones, con un

delineamiento enteramente casualizado, con tres repeticiones. Los datos fueron interpretados por medio de análisis de varianza y de regresión. Después del análisis de varianza, las medias fueron comparadas utilizando una prueba de Turkey, con una probabilidad del 5%.

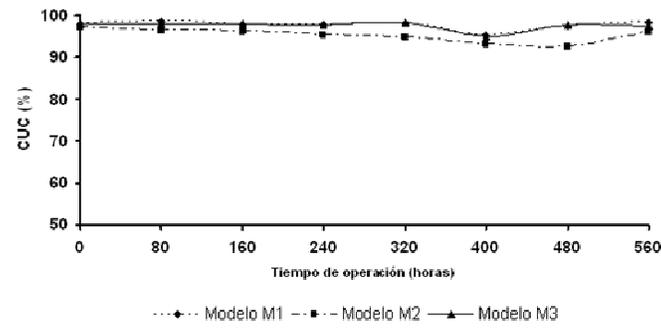
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el tratamiento T1, de acuerdo a lo mostrado en la Figura 1a, se observó una disminución de los valores promedios del CUC, de las unidades de irrigación, contenidas en los tres modelos de los goteros en función de la aplicación de las aguas residuales sanitarias tratadas. Sin embargo, la disminución de la uniformidad de aplicación del agua, fue mejor en las unidades de irrigación contenida en los modelos M2 y M3. Tal sensibilidad al taponamiento, se le atribuye tanto al mayor tamaño de los laberintos, como al mayor número de filtros secundarios en los dos modelos, en relación al modelo del gotero M1. Goteros con mayor longitud de laberinto favorece al crecimiento microbiológico, debido a la mayor superficie de contacto. En la referencia [13], constataron estos resultados, en los cuales verificaron el aumento lineal del nivel de taponamiento con la longitud del laberinto.

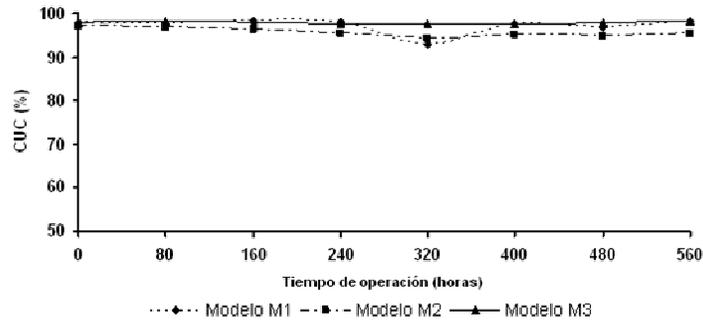
El CUC de las unidades de irrigación con el modelo M1, fue clasificado como excelente en las ocho evaluaciones realizadas, a pesar de su bajo aumento, que fue del orden del 3,63%, en comparación de los valores medios del CUC entre la primera y última evaluación. En el modelo del gotero M1, el menor tamaño del laberinto, propicio la permanencia del régimen de flujo turbulento, que minimiza la deposición de material orgánico en las turbulencias de los caminos del flujo de las aguas residuales sanitarias tratadas dentro del emisor. Los valores promedios del CUC en los modelos M2 y M3, presentaron reducciones hasta del 16,96 y 12,53 % respectivamente, proporcionando así, un cambio en la clasificación de la uniformidad de aplicación del agua, que paso de excelente a buena.



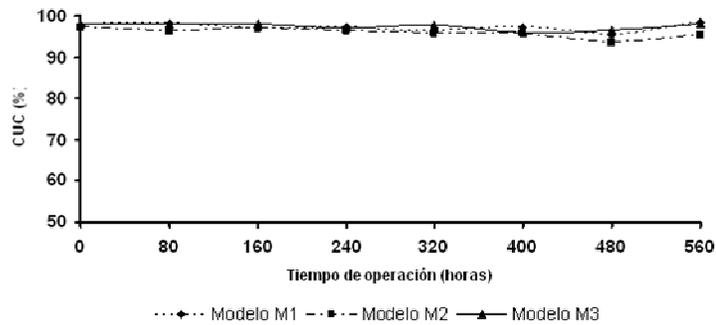
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1. Valores medios del CUC, obtenidos a lo largo del tiempo, con la utilización de los modelos de goteros M1, M2 y M3, en los tratamientos T1, T2, T3 y T4

Figure 1. Averages of CUC, obtained over time, using droppers models M1, M2 and M3 in treatments T1, T2, T3 and T4

El material de obstrucción resultó de la interacción entre bacterias y algas presentes en el agua residual, los cuales formaron aglomerados en la forma de cocos y de pequeños bastoncillos. Los géneros de bacterias *Clostridium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Enterobacter*, junto con las bacterias del hierro de la especie *cremothix sp.*, formaron un moco microbiano, en el cual se adhirieron las partículas, principalmente de origen orgánico, representadas por células de algas vivas o en descomposición. Las algas predominantes pertenecen a las familias Cyanophyta (género *Chlorococcus*), Euglenophyta (generos *Euglena* y *Phacus*) y Chlorophyta (generos *Selenastrum*, *Scenedesmus* y *Sphaerocystis*). En ese biofilme complejo, fueron también identificadas cianobacterias y protozoarios, sin embargo en menores proporciones en relación a las algas y a las bacterias formadoras de mucílago.

La aplicación simultanea del dicloisocianurato de sodio y del ácido fosfórico, mantuvo los valores medios del CUC, de las unidades de irrigación siempre encima del 90%, clasificado como excelentes para los tres modelos de goteros de acuerdo a lo presentado en las Figuras 1b, 1c y 1d. En la referencia [14], obtuvieron resultados semejantes, los cuales estudiaron el efecto de la cloración intermitente de 2 mg L⁻¹ de cloro

residual libre en la prevención del taponamiento de goteros por planctons. En los tratamientos T2, 3, y T4, se verificaron oscilaciones en los valores medios del CUC, que fueron atribuidos a las obstrucciones aleatorias de algunos goteros. La obstrucción aleatoria ocurre debido al desprendimiento del biofilme de los goteros obstruidos, debido a variaciones en la presión del servicio o en el régimen hidráulico de los sistemas. En la referencia [15], mencionan que el número y la localización de los goteros parcialmente tapados fueron los factores que más afectaron la uniformidad de aplicación de agua de sistemas de riego por goteo. En la referencia anterior, obtuvieron valores de CUC de 96, 95, 87, 82 y 69% para unidades de aplicación dotadas de goteros con taponamiento parcial de 0, 5, 10, 20 y 30%, respectivamente.

En la Tabla 3, se presentan los resultados del análisis de varianza, de los valores del CUC. Se verificó, que las fuentes de variación tanto de la parcela (modelo, tratamiento e interacción modelo X tratamiento), y con respecto a la subparcela (tiempo, interacción tiempo x modelo, interacción tiempo x tratamiento e interacción tiempo x modelo x tratamiento) fueron significativas al 5%. Se obtuvo que el coeficiente de variación de la subparcela fue igual al 1,43%, mientras el de la parcela fue de 19,07%.

Tabla 3. Análisis de variancia de los valores del CUC de las unidades de riego
Table 3. Analysis of variance of the values of the CUC of the irrigation units

Fuente de variación	G.L.	Cuadrado medio	F
Modelo	2	165,32	47,30*
Tratamiento	3	144,74	41,42*
Modelo x tratamiento	6	23,74	6,79*
Residuo (a)	24	3,49	
Tiempo	7	75,57	39,97*
Tiempo x modelo	14	8,34	4,41*
Tiempo x tratamiento	21	31,07	16,44*
Tiempo x modelo x tratamiento	42	4,50	2,38*
Residuo (b)	168	1,89	
Total	287		

* Significativo al 5% de probabilidad, por la prueba de "F".

Coefficiente de variación de la subparcela igual a 1,43%.

Coefficiente de variación de la parcela igual a 19,07%.

En la Tabla 4, se presentan los valores medios del CUC y las pruebas promedio de la interacción del tratamiento X modelo, obtenida del análisis de varianza. En el modelo M1, los tratamientos T1, T2, T3 y T4, no difirieron significativamente entre si, en relación a la variable dependiente CUC, confirmando su mayor resistencia al taponamiento, en relación a los demás modelos de goteros probados.

En relación a los modelos M2 y M3, los tratamientos T2, T3 y T4, no difieren significativamente entre en relación a la variable dependiente CUC, pero estos difieren del tratamiento T1. Luego el tratamiento T2 puede ser el mas indicado, por presentar menor concentración de cloro libre residual, que implica un menor costo y menores impactos ambientales.

Tabla 4. Valores medios del CUC, y las pruebas media de la interacción tratamiento x modelo del análisis de varianza

Table 4. Averages of CUC, and the average testing x treatment interaction model with analysis of variance

Variable dependiente	Modelo	Tratamiento*			
		T1	T2	T3	T4
CUC (%)	M1	96,42 a	97,68 a	96,96 a	96,67 a
	M2	91,59 b	95,25 a	95,64 a	95,77 a
	M3	93,85 b	97,59 a	98,02 a	97,45 a

* Medias con la misma letra en la línea, no presentan diferencias significativas, al aplicar una prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

4. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se concluyo que:

- El agua residual sanitaria tratada y aplicada vía sistema de irrigación por goteo, genero una formación de biofilmes en los goteros, resultantes de la interacción de colonias de bacterias y de algas. Dado lo anterior, se presenta una reducción en los valores medios de CUC de las unidades de irrigación, en los modelos de goteros M1, M2 y M3 del 3,63, 16,96 y 12,53% respectivamente, después de 560 horas de funcionamiento de las unidades de riego.
- La aplicación conjunta de cloro y acido fosforito en el agua residual sanitaria, minimizó el desarrollo de biofilmes en el interior de los goteros y de las líneas laterales.
- Los goteros con mayor tamaño en el laberinto, y mayor numero de filtros secundarios (M2 y M3), son mas susceptibles

al taponamiento, cuando son abastecidos con aguas residuales sanitarias.

- La dosis de 0,4 mg L⁻¹ de cloro residual libre fue la mas sustentable para la prevención de taponamiento en sistemas de riego por goteo que operan con agua residual doméstica tratada.

REFERENCIAS

- [1] ADIN, A., SACKS, M. Dripper-clogging factors in wastewater irrigation. Journal of the Irrigation and Drainage Engineering, v. 117, n. 6, p. 813-826, 1991.
- [2] SAGI, G.; PAZ, E.; RAVINA, I.; SCHISCHA, A.; MARCU, A.; YECHIELY, Z. Clogging of drip irrigation systems by colonial protozoa and sulfur bacteria. International Microirrigation Congress, 5., 1995. Proceedings... [S.P.:s.n.], 1995.

- [3] RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G.; YECHIALY, Z.; LEV, Y. Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. *Agricultural Water Management*, v. 33, p. 127-137, 1997.
- [4] RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G. Control of clogging in drip irrigation with stored reclaimed wastewater. *Irrigation Science*, v. 13, p. 129-139, 1992.
- [5] TAYLOR, H. D.; BASTOS, R. K. X.; PEARSON, H. W.; MARA, D. D. Drip irrigation with waste stabilisation pond effluents: Solving the problem of emitter fouling. *Water Science Technology*, v. 31, n. 12, p. 417-424, 1995.
- [6] RAV-ACHA, C.; KUMMEL, M.; SALAMON, I.; ADIN, A. The effect of chemical oxidants on effluent constituents for drip irrigation. *Water Reserch*, v. 29, n. 1, p. 119-129, 1995.
- [7] MANTOVANI, E. C. AVALIA. Manual do usuário. Viçosa, MG: DEA/UFV-PNP&D/café EMBRAPA, 2002. 100 p.
- [8] GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational principles. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Eds.). *Trickle irrigation for crop production*. Amsterdam: Elsevier, 1986, cap. 3, p. 142-163.
- [9] TAJRISHY, M. A.; HILLS, D. J.; TCHOBANOGLIOUS, G. Pretreatment of secondary effluent for drip irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 120, n. 4, p. 716-731, 1994.
- [10] HILLS, D. J.; BRENES, M. J. Microirrigation of wastewater effluent using drip tape. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 17, n. 3, p. 303-308, 2001.
- [11] TROOIJEN, T. P.; LAMM, F. R.; STONE, L. R.; ALAM, M.; ROGERS, D. H.; CLARK, G. A.; SCHLEGEL, A. J. Subsurface drip irrigation using livestock wastewater: Dripline flow rates. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 15, n. 5, p. 505-508, 2000.
- [12] PIZARRO CABELLO, F. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación. 2 ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1990. 471p.
- [13] CARARO, D. C.; BOTREL, T. A.; HILLS, D. J.; LEVERENZ, H. L. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. *Applied Engineering in Agriculture*, St. Joseph, v. 22, n. 2, p. 251-257, 2006.
- [14] DEHGHANISANIJ, H.; YAMAMOTO, T.; OULD AHMAD, B. V.; FUJIYAMA, H.; MIYAMOTO, K. The effect of chlorine on emitter clogging induced by algae and protozoa and the performance of drip irrigation. *Transaction of the ASAE*, St. Joseph, v. 48, n. 2, p. 519-527, 2005.
- [15] CHIENG, S.; GHAEMI, A. Uniformity in a microirrigation with partially clogged emitters. *ASAE Annual International Meeting*, St. Joseph, 2003 (Paper n. 032097).