

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO HIDRAULICO DE TRES GOTEROS APLICANDO AGUA RESIDUAL DE PORCICULTURA

EVALUATION OF HYDRAULIC PERFORMANCE OF TREE DRIPPERS APPLING SWINE WASTEWATER

RAFAEL OLIVEIRA BATISTA

Ingeniero. Agrícola, Universidad Federal de Viçosa., eng.batista@gmail.com

RUBENS ALVES DE OLIVEIRA

Ingeniero. Agrícola, Universidad Federal de Viçosa, rubens@ufv.br

ANTÔNIO ALVES SOARES

Ingeniero. Agrícola, Universidad Federal de Viçosa, aasoares@ufv.br

JOSÉ ANTONIO RODRIGUES DE SOUZA

Ingeniero. Agrícola, Universidad Federal de Viçosa, jarstec@yahoo.com.br

OLGA LUCÍA ZAPATA MARÍN

Administradora Ambiental. Universidad de Antioquia, Olluzama@gmail.com

Recibido para revisar marzo 17 de 2009, aceptado Agosto 25 de 2009, versión final Septiembre 25 de 2009

RESUMEN: La realización de este trabajo tuvo por objetivo, analizar el desempeño hidráulico de tres goteros aplicando agua residual de porcicultura tratada. Fue montada una estructura hidráulica de evaluación constituida de tres tipos de goteros (G1, G2 y G3). Se mantuvo la presión del servicio en el inicio de las líneas laterales en 105 kPa y se cuantificaron en intervalo de 20 h, el caudal de los goteros hasta la obtención de un tiempo total de 160 h de operación del sistema. El nivel de taponamiento de los goteros fue obtenido por medio del coeficiente de variación del caudal (CVQ). Con la aplicación de agua residual de porcicultura, hubo un aumento del CVQ a lo largo del tiempo de funcionamiento, solamente en la sub-unidad con gotero G2. Los goteros de mayor caudal e menor largura de laberinto son menos susceptibles al taponamiento. La formación de biofilme fue resultado de la interacción entre sólidos suspendidos, azufre y bacterias, consistiendo en el principal factor de taponamiento parcial y total de los goteros.

PALABRAS CLAVE: Taponamiento, emisores, desechos porcícolos.

ABSTRACT: This study aimed evaluation hydraulic of tree drippers used treated swine wastewater. For that, a hydraulic structure of evaluation was built, consisting of three kind drippers (G1, G2 and G3). Service pressure was kept, in the beginning of the lateral lines, at 105 kPa; the discharges of the drippers were quantified every 20 h, until a total time of 160 h of the system operation. The degree clogging of drippers was obtained for discharge variation coefficient (DVC). For the swine wastewater application there was increase of DVC, along the time of operation, only in the subunit with dripper G2. The emitters of larger discharge and short pathway length are less susceptible to the clogging. The biofilm formation was resultant of the interaction between suspended solids, sulfur and bacteria consisting on the main factor of partial and total clogging of drippers.

KEYWORDS: clogging, emitters, swine manure.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores problemas de la porcicultura es la cantidad considerable de desechos producidos por unidad de área, los cuales cuando son manejados inadecuadamente pueden causar impactos negativos al ambiente. El uso racional del agua residual en la agricultura, constituye una alternativa para el control de la polución de aguas superficiales e subterráneas,

además de la disponibilidad de agua y fertilizantes para los cultivos, reciclaje de nutrientes y aumento de la producción agrícola.

El método de riego localizado, ha sido usado para la aplicación de aguas residuales, en razón de la elevada eficiencia en su aplicación y el bajo riesgo de contaminación, tanto del producto agrícola como de operadores de campo [1-2]. En los sistemas de riego

localizado, los emisores presentan alta susceptibilidad al taponamiento [3-4-5-6].

La combinación de los factores físicos, químicos y biológicos, consisten en la principal causa de obstrucción de los goteros utilizados en la aplicación de agua residual. En el trabajo presentado en la referencia [7], se verificó que 90% de los goteros presentan taponamiento con biofilme, formado por materia orgánica en descomposición y bacterias, debido a la aplicación de agua residual tratada. En la referencia [8], las bacterias *Escherichia coli*, *Streptococcus faecalis*, *Streptococcus faecium*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Proteus mirabilis*, *Providencia stuartii*, *Serratia*, *Staphylococcus* y *Klebsiella pneumoniae* surgen con frecuencia en los desechos de cerdos y pueden formar biofilme complejo en el interior del equipamiento de riego localizado. En la referencia [9], constataron la formación de biofilme, resultado de mucilagos bacterianos y sólidos suspendidos en goteros abastecidos con agua residual doméstica secundaria. En la referencia [4], afirmaron que el biofilme fue acumulado principalmente en la entrada del laberinto de los goteros no autocompensados y en la membrana de silicona de los goteros autocompensados.

El taponamiento afecta directamente la uniformidad de aplicación del efluente y consecuentemente la eficacia del sistema de riego. En la referencia [10], analizaron el desempeño de tres unidades de riego por goteo, dotadas de gotero no autocompensado con caudal nominal de $1,9 \text{ L h}^{-1}$ y operando con agua residual doméstica tratada. Dos sistemas de riego, uno con filtro de discos y otro con filtro de tela, ambos de $130 \mu\text{m}$, fueron abastecidos con agua residual doméstica secundaria. El tercer sistema de riego constaba de un filtro de tela de $130 \mu\text{m}$ y fue abastecido con agua residual doméstica terciaria. Después de 750 h de funcionamiento de las unidades de aplicación, los valores de coeficiente de variación de caudal (CVQ) fueron de 58, 35 y 5%, respectivamente para las unidades de riego aplicando efluente secundario en filtro de discos de $130 \mu\text{m}$, efluente filtrado en filtro de tela de $130 \mu\text{m}$ y un efluente terciario filtrado en filtro de tela de $130 \mu\text{m}$. En la referencia [11], constataron una reducción de 5 a 28% en los valores del coeficiente de variación del caudal (CVQ) en 15 tipos de goteros ensayados con agua residual doméstica tratada durante 373 h. El estudio paso por filtros de arena (con tamaño efectivo de $0,50 \text{ mm}$), de discos (con aberturas de $100 \mu\text{m}$) y de tela (con aberturas de $80 \mu\text{m}$) en serie, antes de ser aplicado por los goteros.

El objetivo del trabajo, fue analizar el desempeño hidráulico de sistemas de riego por gotero, utilizado en la aplicación de agua residual de porcicultura tratada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo fue realizado en la Unidad Piloto de Tratamiento y Aplicación Localizada de Agua Residual de Porcicultura (UTARS) del Departamento de Ingeniería Agrícola (DEA) de la Universidad Federal de Viçosa (UFV), en Viçosa, Minas Gerais.

En la UTARS, el agua residual de porcicultura, proviene de granja con un tipo e ciclo completo, la cual fue sometida a las siguientes etapas de tratamiento: 1) tanque de sedimentación de $211,7 \text{ m}^3$ para remoción de los sólidos sedimentados y suspendidos; 2) Trampa de grasa de $8,6 \text{ m}^3$ para reducción de la concentración de aceites y grasas, 3) Tamiz para filtración del efluente para su uso en sistemas de riego por goteo.

En el sistema de filtración, se utilizó un tamiz con tela metálica de $47 \mu\text{m}$ montada en un dispositivo con inclinación fija de 25° . Después de pasar por la trampa de grasa, el efluente fue almacenado en un reservatorio $7,1 \text{ m}^3$. Un conjunto motobomba de 1 cv bombeo el efluente hasta la parte superior del tamiz por medio de segmentos de tubos de PVC de 32 mm , dotados de perforaciones circulares. El efluente filtrado fue almacenado en otro reservatorio de $7,1 \text{ m}^3$ con la finalidad de abastecer las subunidades de riego.

Se monto una banca experimental constituida por una unidad de control y tres subunidades de riego, conforme esta presentado en la Figura 1. La unidad de control era compuesta por un conjunto motobomba de 3 cv, que abastecía las subunidades de riego con efluente filtrado.

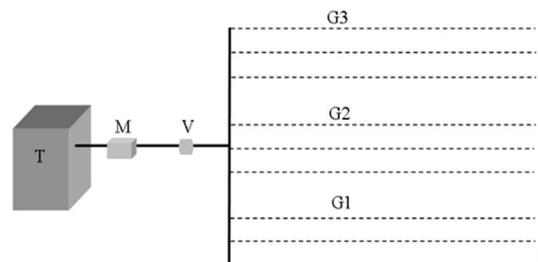


Figura 1. Componentes de la banca experimental, ilustrándose el tanque con agua residual e porcicultura filtrada (T), la motobomba (M), la válvula reguladora de presión (V) y las líneas laterales con goteros (G1, G2 y G3)

Fueron ensayados tres tipos de goteros (G1, G2 y G3), cuyas características técnicas están presentadas en la tabla 1. En la línea de derivación de las subunidades, en PVC de 32 mm, fueron inseridos nueve conectores.

Para cada modelo de gotero se instalaron tres líneas laterales con 18 m de largura (Figura 1). En todas las líneas laterales fueron identificados 22 goteros para medición del caudal.

Tabla 1. Caracterización de los goteros (G) utilizados en el experimento

G	D	Q (L h ⁻¹)	A (mm ²)	VE (m s ⁻¹)	L (mm)	CVF (%)	P (kPa)
G1	No	2,00	4,45	0,07	327	≤ 3	80 - 300
G2	No	1,70	1,86	0,30	176	≤ 3	40 - 100
G3	Si	3,60	2,54	0,20	44	≤ 4	80 - 350

Siendo: D -dispositivo de auto-compensación; Q -Caudal nominal; A -área del orificio;

VE -velocidad del derrame a la presión de 105 kPa; L -Largura del laberinto;

CVF -coeficiente de variación de fabricación; e P -Rango de presión recomendada.

La presión del servicio en el inicio de las líneas laterales fue mantenida en 105 ± 5 kPa por medio de una válvula reguladora de presión. Las subunidades de aplicación funcionaron 4 h por día hasta completar el tiempo total de operación de 160 h.

En el período de ensayos, fueron realizadas, en intervalos de 20 h, mediciones del caudal de los goteros y análisis físico, químico y biológico del efluente filtrado. El caudal de cada gotero fue determinado, colectándose un volumen de efluente aplicado por el gotero durante tres minutos. Los datos de caudal fueron interpretados por medio del coeficiente de variación del caudal (CVQ).

$$CVQ = \frac{\sigma_Q}{\bar{Q}} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde:

σ_Q - desvío padrón del caudal de los goteros, L h⁻¹; y

\bar{Q} - Caudal medio de los goteros, L h⁻¹.

Las colectas del efluente fueron realizadas en tres horarios diferentes (a las 7, 9 y 11 h). De esas colectas simples, se obtuvieron muestras compuestas, las cuales fueron enviadas a los laboratorios para los análisis específicos. Parte de las muestras compuestas fueron llevadas al Laboratorio de Calidad de agua (DEA/UFV), para determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) por el método iodométrico (proceso Winkler), sólidos suspendidos por el método gravimétrico con la utilización de membranas de

fibra de vidrio (0,45 μm de diámetro de poro). Los elementos químicos calcio, manganeso y azufre fueron obtenidos por espectrofotometría de absorción atómica en el Laboratorio de Espectrofotometría Atómica del Departamento de Suelos de la UFV. El conteo de las bacterias, fue realizado en el Laboratorio de Microbiología de Alimentos del Departamento de Microbiología de la UFV. Los resultados fueron expresados en unidades formadoras de colonias (UFC) por ml de efluente.

Finalizada las 160 h de funcionamiento de las unidades de riego fertilizante, se realizó el corte de las líneas laterales, abriéndose diversos goteros para retirar muestras del material que provocó obstrucción de los mismos. Las muestras colectadas fueron acondicionadas en cajas de icopor con hielo, las cuales fueron inmediatamente enviadas a los laboratorios de los Departamentos de Biología Vegetal, Biología Animal y de Microbiología de la UFV y al Laboratorio de Procesos Biológicos del Departamento de Hidráulica y Saneamiento de la USP, para identificación de los agentes causadores de taponamiento.

El experimento fue montado en esquema de parcelas sub-divididas, teniendo en estas los tipos de goteros (G1, G2 e G3) y en las sub-parcelas los tiempos de las evaluaciones (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 h), en el delineamiento enteramente casualizado con tres repeticiones. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y de regresión. Los modelos de regresión fueron escogidos con base en la significancia de los coeficientes de regresión (utilizándose el ensayo t con nivel de significancia de hasta 10%), en el valor del coeficiente de determinación (R²) y en el proceso en estudio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 están presentados los valores medios y desvíos del padrón de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), sólidos suspendidos (SS), población de bacterias (PB), azufre (S), magnesio (Mg) y calcio (Ca) del agua residual de porcicultura filtrada. Notándose que la concentración media de la DBO_5 en el efluente fue superior al límite de 25 mg L^{-1} , establecido para una optima uniformidad de aplicación de aguas residuales por sistemas riego por goteo [6]. Los valores de SS y PB en el efluente fueron superiores a los límites de 100 mg L^{-1} y $50.000 \text{ UFC mL}^{-1}$, que clasificaron como severo el riesgo de taponamiento de los goteros

para las dos características [12]. La concentración media del S en el efluente fue superior al límite de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ [13], siendo el riego de taponamiento goteros, clasificado como severo [12]. El valor medio de Mg se situó dentro del rango límite de $2,0$ a $7,3 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, siendo el riego de taponamiento de goteros, clasificado como moderado [14]. En cuanto, el Ca represento un bajo riego de taponamiento de goteros, dado que su concentración en el efluente fue inferior al límite de $12,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ [14]. En general, el agua residual de porcicultura, presentó un riesgo severo de taponamiento de goteros, teniendo un tratamiento en sedimentador y matiz con abertura de $47 \mu\text{m}$.

Tabla 2. Valores medios y desvíos del padrón de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), sólidos suspendidos (SS), población de bacterias (PB), azufre (S), magnesio (Mg) y calcio (Ca) del agua residual de porcicultura filtrada

DBO_5 (mg L^{-1})	SS (mg L^{-1})	PB ($\text{UFC}^* \text{ mL}^{-1}$)	S (mg L^{-1})	Mg ($\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$)	Ca ($\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$)
602 ± 252	333 ± 61	$2,30.10^6 \pm 3,30.10^6$	$45,40 \pm 10,69$	$2,81 \pm 0,37$	$4,85 \pm 0,93$

*UFC - Unidades formadoras de colonias.

En la tabla 3, se presenta el análisis de varianza del CVQ en función del tipo de gotero (G) y del tiempo de funcionamiento (T). Se verifica que la fuente de variación T x G fue significativa al 1% de probabilidad.

Los valores de los coeficientes de variación de la parcela y sub-parcela fueron de 77,97 y 35,03%, respectivamente.

Tabla 3. Análisis de varianza del CVQ en función el tipo de gotero (G) y del tiempo de funcionamiento (T)

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F
Tipo de gotero (G)	2	2314,77	1157,38	27,44**
Residuo (a)	6	253,10	42,18	
Tiempo de funcionamiento (T)	8	1844,58	230,57	27,09**
T x G	16	3389,40	211,84	24,89**
Residuo (b)	48	408,53	8,51	
Total	80			
CV(%) de la parcela		77,97		
CV(%) de la sub-parcela		35,03		

** significativo al 1% de probabilidad por el ensayo F. CV - coeficiente de variación.

Las ecuaciones de regresión que mejor se ajustan a los datos de CVQ en función del tiempo de funcionamiento, para cada tipo de gotero, se presentan en la Figura 2. En las subunidades dotadas de los goteros G1 y G3 no se verificó el efecto significativo del tiempo de funcionamiento en la alteración del CVQ. Por lo tanto, en la subunidad con gotero G2 el modelo cuadrático fue el que mejor representó la relación entre los datos de CVQ y el tiempo de funcionamiento, con coeficiente de determinación (R^2) de 0,88.

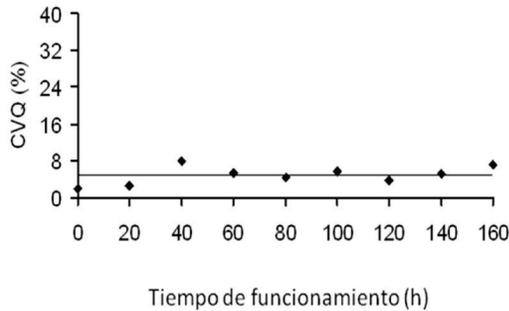
Los valores de CVQ de las subunidades con goteros G1 y G2 aumentaron en 4 y 25 veces, respectivamente,

cuando se compararon los tiempos de funcionamiento inicial y 160 h. Por lo tanto, el CVQ de la subunidad con gotero G3 prácticamente se mantiene inalterado durante todo el período de ensayo. Los resultados del desempeño hidráulico indicaron que el gotero G3 fue menos susceptible al taponamiento de los

goteros G1 y G2, debido a la mayor área de filtración y caudal [4-15-17]. La mayor susceptibilidad al taponamiento del gotero G1, se debió a la menor velocidad del flujo del efluente y a la mayor longitud del laberinto [11-16].

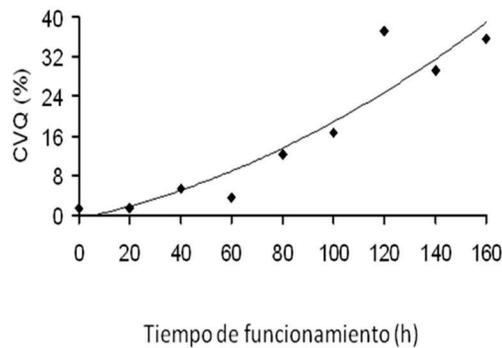
El gotero G2 fue mas susceptible al taponamiento que el G3, por presentar menor área de filtración y caudal, y menos susceptible al taponamiento que el G1, dada la mayor velocidad del flujo del efluente y a la menor longitud del laberinto.

(A) CVQ = 4,91



(B)

$$\hat{CVQ} = -0,64 - 0,11**T - 0,00087**T^2$$



(C) CVQ = 4,20

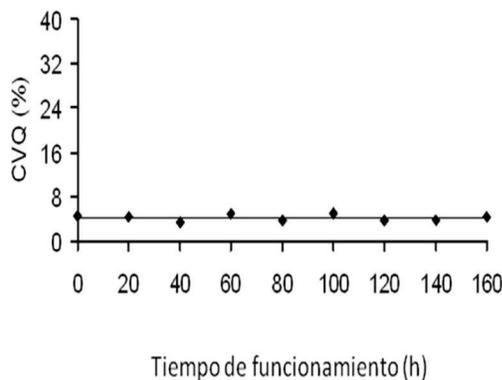


Figura 2. Comportamiento del CVQ de las subunidades con goteros G1 (A), G2 (B) y G3 (C) a lo largo del tiempo y respectivas ecuaciones de regresión (** significativo a 1% de probabilidad por el ensayo t)

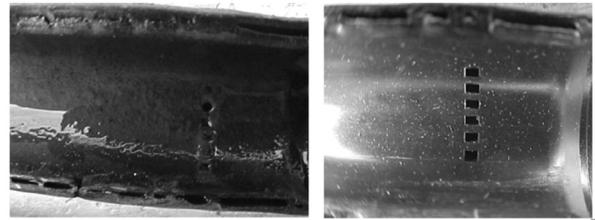
Se constató en el equipamiento de aplicación de

desarrollo del biofilme complejo, un resultante de la interacción entre agentes físicos (sólidos suspendidos), químicos (precipitados de azufre) y biológicos (bacterias, fitoplancton, hongos y protozoarios).

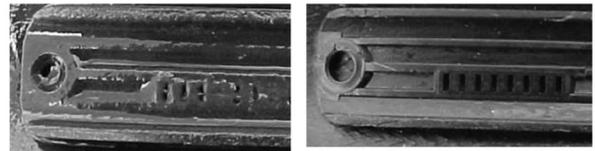
La formación de este biofilme se debió en parte a la no realización de apertura de finales de líneas laterales para limpieza, teniendo la ausencia de esa práctica, el propósito de potencializar los efectos del taponamiento y consecuentemente, apuntar el gotero menos susceptible.

La formación del biofilme sobre el área de filtración de los goteros dificultó la entrada del efluente por las pequeñas aberturas, acarreado, así, la reducción en el caudal. En la Figura 3, se puede observar las pequeñas aberturas de los goteros G1 y G2 y la membrana de autocompensación del gotero G3 lleno por el biofilme.

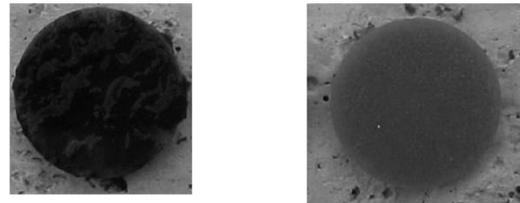
G1



G2



G3



Con biofilme

Sin biofilme

Figura 3. Ilustración de los modelos de goteros G1, G2 y G3 con y sin biofilme

4. CONCLUSIONES

Antes los resultados obtenidos se puede concluir que:

El agua residual de la porcicultura presenta un elevado

riesgo de taponamiento de emisores, así sea sometida a tratamiento en sedimentador y matiz;

La formación de biofilme, es resultado de la interacción entre sólidos suspendidos, azufre y bacterias formadoras de mucilago.

La aplicación de agua residual de porcicultura, causo un aumento del CVQ, a lo largo del tiempo de funcionamiento, solamente en la subunidad con gotero G2.

Los goteros de mayor caudal y menor longitud de labirinto son menos susceptibles al taponamiento cuando son utilizados en La aplicación de agua residual de porcicultura.

REFERENCIAS

- [1] Sadvoski, A. Y., Fattal, B. and Goldberg, D., Microbial contamination of vegetables irrigated with sewage effluent by the drip method. *Journal of Food Protection*, Ames, v. 41, (5), pp. 336-340, 1978.
- [2] Oron, G., Campos, C., Gillerman, L., and Salgot, M., Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 38, (3), pp. 223-234, 1999.
- [3] Adin, A. and Sacks, M., Dripper-clogging factors in wastewater irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v. 117, (6), pp. 813-826, 1991.
- [4] Ravina, I. et al. Control of clogging in drip irrigation with stored reclaimed wastewater. *Irrigation Science*, New York, v. 13, (3), pp. 129-139, 1992.
- [5] Trooien, T. P., Lamm, F. R., Stone, L. R., Alam, M., Rogers, D. H., Clark, G. A. and Schlegel, A. J., Subsurface drip irrigation using livestock wastewater: dripline flow rates. *Applied Engineering in Agriculture*, St. Joseph, v. 16, (5), pp. 505-508, 2000.
- [6] Capra, A. and Scicolone, B., Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 68, (2), pp.135-149, 2004.
- [7] Taylor, H. D. et al. Drip irrigation with waste stabilisation pond effluents: Solving the problem of emitter fouling. *Water Science Technology*, London, v. 31, (12), pp. 417-424, 1995.
- [8] Krapac, I. G., Dey, W. S., Roy, W. R., Smyth, C. A., Storrent, E., Sargent, S. L. and Steele, J. D., Impacts of swine manure pits on groundwater quality. *Environmental Pollution*, Oxford, v. 120, (2), pp. 475-492, 2002.
- [9] Tajrishy, M., Hills, D. J., Tchobanoglous, G., Pretreatment of secondary effluent for drip irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v. 120, (4), pp. 716-731, 1994.
- [10] Puig-Bargués, J., Barragán, J. and Ramírez De Cartagena, F., Filtration of effluents for microirrigation systems. *Transaction of the ASAE*, St. Joseph, v. 48, n. 3, p. 969-978, 2005.
- [11] Cararo, D. C., Botrel, T. A., Hills, D. J. and Leverenz, H. L., Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. *Applied Engineering in Agriculture*, St. Joseph, v. 22, (2), pp. 251-257, 2006.
- [12] Bucks, D.A., Nakayama, F.S. and Gilbet, R.G., Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.2, (2), pp. 149-162, 1979.
- [13] Ayers, R. S. and Westcot, D. W., A qualidade da água na agricultura. Traduzida por H.R. Gheyi, J.F. de Medeiros, F.A.V. Damaceno. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO 29, 1999).
- [14] Capra, A. and Scicolone, B., Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, London, v. 70, (4), pp. 355-365, 1998.
- [15] Dehghanisani, H., Yamamoto, T., Ould Ahmad, B. V., Fujiyama, H. and 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, (2), pp. 519-527, 2005.
- [16] Pizarro, F., Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1990. 471 p.
- [17] Batista, R. O., Soares, A. A., Marin, O. L. Z., Souza, J. A. R., Sartori, M. A. and Oliveira, R., Eficiencia del tratamiento químico en la prevención del taponamiento de goteros aplicando agua residual sanitaria tratada. *Dyna*, Medellín, v. 76, (160), pp. 149-157, 2009.