

EVALUACIÓN DE LA FILTRACIÓN LENTA EN ARENA COMO TRATAMIENTO TERCIARIO DE AGUA RESI- DUAL DOMÉSTICA CON FINES DE REUSO AGROPECUARIO Y PISCÍCOLA



RESUMEN

Viviana Valencia Zuluaga, Ing.
Instituto Cinara
Universidad del Valle, Cali, Colombia
vivalezu@univalle.edu.co

Luis Darío Sánchez Torrez, M.Sc.
Instituto Cinara
Universidad del Valle, Cali, Colombia
luisanc@univalle.edu.co

Alexánder Aponte, M.Sc.
Instituto Cinara
Universidad del Valle, Cali, Colombia
alaponte@univalle.edu.co

Con el objetivo contribuir al mejoramiento de la calidad de los recursos hídricos y su uso eficiente se estudió la aplicación a escala piloto de la filtración lenta en arena como tratamiento terciario de agua residual doméstica con fines de reuso en la producción agrícola, pecuaria y piscícola. Se evaluó la influencia de la variación de tres cargas orgánicas superficiales (COS) y dos alturas de lecho filtrante, analizando las carreras de filtración y comparando las remociones obtenidas frente a la normatividad existente sobre el reuso de agua residual. Los resultados indican que el uso de la filtración lenta como tratamiento terciario de agua residual está condicionado por las COS. Los mejores resultados se obtienen con COS de 5,2 y 8,1 g DBO₅/m².d, obteniendo a menores cargas orgánicas las mayores carreras de

**Recibido: Abril 15 2009 *Aceptado: Mayo 30 2009*

filtración y las mayores eficiencias de remoción en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Los Huevos de Helmintos son más afectados por la altura del lecho. El reuso de los efluentes de filtros lentos en arena para la producción agrícola, pecuaria y piscícola se limita por la cantidad de *E. Coli* y Coliformes Fecales encontrados, por lo cual su uso estaría condicionado a la adición de más barreras de protección.

PALABRAS CLAVES

Filtración Lenta en Arena, agua residual doméstica, reuso.

ABSTRACT

*In order to contribute to the improvement of the water resources quality and their efficient use, it was studied the implementation of the slow sand filtration at a pilot scale as a tertiary treatment of wastewater for reuse in agricultural and livestock production, and fish farming. The influence of the variation of three surface organic loads (SOL) and two bed filter heights was evaluated by analyzing the filter run lengths and comparing removals against the standards related to wastewater reuse. The results indicate that the use of slow sand filtration as a tertiary treatment of wastewater is conditioned by SOL. The best results were obtained with SOL of 5,2 and 8,1 g DBO₅/m².d, obtaining the largest filtration run lengths and the biggest removal efficiencies in physicochemical and microbiological parameters, at lower organic loads. Helminth eggs are affected by the bed height. The reuse of the slow sand filters effluents for agricultural and livestock production, and fish farming is limited by the amount of *E. Coli* and fecal coliforms found, whence its use would be conditioned to the addition of more barriers of treatment.*

KEYWORDS

Slow sand filtration, domestic wastewater, reuse.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el aumento de la población y el consecuente incremento en el uso de agua superficial y la generación creciente de agua residual y su deficiente disposición, que conlleva a la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, disminuyen la disponibilidad de agua, llegando en algunos países al punto de la escasez o estrés hídrico. En 1995, según la Organización Mundial de la Salud (2006b) 31 países del mundo fueron clasificados con estrés hídrico y se estima que para los años 2025 y 2050 entre 48 y 54 países estarán en esta condición.

Por esta razón, el reuso de agua residual se ha ido expandiendo, resultando provechoso tanto para la sostenibilidad del recurso hídrico como para la economía en diferentes sectores productivos, especialmente el agrícola, en el cual se ha venido usando en muchos países en vía de desarrollo (Qadir *et al.*, 2007). En este contexto es importante resaltar que el reuso de agua residual en la producción agrícola, piscícola y pecuaria tiene una relación cercana con el logro de los objetivos del milenio, tales como “erradicar la extrema pobreza y el hambre” y “asegurar la sostenibilidad ambiental” (OMS, 2006a y b; Rosemarin *et al.*, 2008).

No obstante, el reuso de agua residual lleva consigo ciertos riesgos para la salud humana y el ambiente (GWP, 2000a), generándose la necesidad de emplear sistemas de tratamiento avanzados y barreras de protección que reduzcan los efectos sobre ellos. Existen diversas tecnologías para el tratamiento avanzado del agua residual; sin embargo la Filtración Lenta en Arena (FLA) utilizada en agua para consumo humano, a pesar de su alta eficiencia, simplicidad de operación y mantenimiento y bajo costo, aún no ha sido aceptada ni debidamente evaluada como un método para el tratamiento terciario de agua residual, ya que existen pocas investigaciones al respecto (Adin, 2003). La Filtración Lenta en Arena es una de las tecnologías más antiguas y efectivas para el tratamiento de agua superficial en regiones rurales (Hijnen *et al.*, 2007; Galvis *et al.*, 1999), siendo empleada mundialmente para la potabilización del agua superficial en los últimos 150 años (Adin *et al.*, 1995). La tecnología FLA aplicada para el tratamiento de agua residual difiere de la usada para potabilizar agua superficial, por lo tanto, los parámetros de diseño son diferentes y no necesariamente replicables para cada

caso (Hamoda *et al.*, 2004; Adin, 2003).

Según Kang *et al.* (2007), la tecnología FLA que es de bajo costo, puede ser empleada para tratamiento de agua residual debido a su mantenimiento simple y alta eficiencia, por estar basada en el desempeño de una biopelícula. Adin (2003) señala que el agua filtrada puede ser utilizada para riego, tal como lo demuestran los estudios realizados por investigadores como Hamoda *et al.* (2004) y Langenbach *et al.* (2007).

En esta investigación se evaluó, a escala piloto, la filtración lenta en arena como tratamiento terciario de agua residual doméstica con fines de reuso en la producción agrícola, pecuaria y piscícola. Para ello se variaron las cargas orgánicas superficiales (COS) y las alturas de los lechos filtrantes analizando la influencia de su variación sobre las carreras de filtración y las concentraciones finales de parámetros de calidad de agua en el efluente de las unidades experimentales. A partir de allí se realizaron comparaciones entre las concentraciones obtenidas en la investigación y las sugeridas por la normatividad y las guías existentes para el reuso del agua residual.

2. METODOLOGÍA

El trabajo de campo de la investigación fue desarrollado a escala piloto en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas "PTAR-El Caney" (Cali, Colombia), que es administrada y operada por Aguas del Sur S.A. E.S.P. Los análisis de calidad de agua se realizaron en los laboratorios de la Estación de Investigación y Transferencia del Instituto Cinara, ubicada en Puerto Mallarino (Cali, Colombia); los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos fueron determinados según las técnicas establecidas en los Métodos Estándar para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales (APHA-AWWA-WPCF, 1999).

La investigación se desarrolló utilizando tres filtros lentos en arena, alimentados por el efluente secundario de la PTAR - El Caney, cuyo tratamiento consta de desarenador, sedimentador primario, lodos activados y sedimentador secundario. En el transcurso de la investigación se evaluaron, en dos etapas, tres cargas orgánicas superficiales (COS) y sus correspondientes velocidades de filtración (v_f) como parámetros de diseño, y

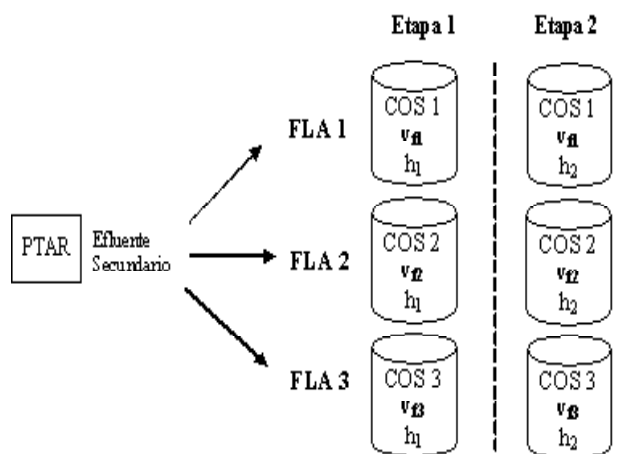


Figura 1. Esquema diseño experimental

dos alturas de lecho filtrante como parámetros de operación. La Figura 1 muestra el esquema experimental de la investigación.

La variable de control del experimento fue el caudal afluente de cada unidad de filtración y la variable de seguimiento fue la pérdida de carga diaria.

Tabla 1. Características principales de los filtros lentos

Característica	FLA 1	FLA 2	FLA 3
Diámetro (m)	0,70	0,70	0,70
Área superficial (m ²)	0,38	0,38	0,38
DBO ₅ promedio de entrada (mg/l)	3,3	3,3	3,3
Caudal (l/s)	0,007	0,011	0,015
Velocidad (m/h)	0,07	0,10	0,14
COS evaluada (g DBO ₅ /m ² .d)	5,2	8,1	11,1
Altura lecho de arena Etapa 1 (m)	0,75	0,75	0,75
Altura lecho de arena Etapa 2 (m)	0,55	0,55	0,55
Diámetro efectivo de arena (mm)	0,20	0,20	0,20
Coefficiente de uniformidad	2,4	2,4	2,4
Altura soporte grava (m)	0,06	0,06	0,06
Altura inicial del sobrenadante (m)	0,02	0,02	0,02
Pérdida de carga máxima (m)	0,58	0,58	0,58
Borde libre (m)	0,09	0,09	0,09

Las características de los filtros piloto operados en campo se consignan en la Tabla 1.

La evaluación de los filtros se realizó mediante el análisis de las carreras de filtración y la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para cada uno de los

filtros. Los parámetros de calidad de agua medidos fueron: Turbiedad, pH, DBO_5 , Sólidos Suspendidos Totales (SST), Nitratos (N-NO_3^-), E. Coli, Coliformes Fecales y Huevos de Helminthos (HH). Adicionalmente se compararon las concentraciones de estos parámetros en los efluentes con la normatividad nacional e internacional asociada al reuso de agua residual.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Comportamiento de las carreras de filtración

Se analizó la influencia de la variación de las COS sobre la duración de las carreras de filtración. En la Figura 2 se presentan las pérdidas de carga obtenidas, indicando la finalización de las carreras de filtración de cada uno de los filtros lentos (ver líneas verticales sobre las gráficas).

Según la Figura 2, la relación entre la COS aplicada a los filtros es inversamente proporcional a la duración de la carrera de filtración, pues se encontraron mayores carreras con las COS más bajas. En la primera etapa la mayor carrera de filtración (23 días) se obtuvo con la menor COS ($5,2 \text{ g DBO}_5/\text{m}^2.\text{d}$) y las menores carreras de filtración (2,5 y 3 días) se obtuvieron para COS de $8,1$ y $11,1 \text{ g DBO}_5/\text{m}^2.\text{d}$. Estas últimas duraciones de las carreras de filtración son considerablemente bajas de acuerdo con lo reportado por Galvis *et al.* (1999) en experiencias con FLA para potabilizar agua (carreras de 1 mes y más). En la segunda etapa se logró mejorar la duración de la carrera de filtración del FLA 2 (24 días) correspondiente a la COS de $8,1 \text{ g DBO}_5/\text{m}^2.\text{d}$ y se obtuvieron las mismas

tendencias de la etapa 1 para los FLA 1 y 3 (25 y 2 días, respectivamente). La mejora en esta carrera de filtración pudo haber sido influenciada por alguna variación en la porosidad del medio filtrante después de la limpieza para alcanzar los $0,55 \text{ m}$.

Es importante resaltar que el mantenimiento de un FLA para agua residual no puede ser igual al realizado a un FLA para potabilizar agua superficial. La operación de limpieza en los FLA para agua residual en esta investigación fue distinta a lo reportado en la literatura para filtros lentos de arena para agua potable. Por lo anterior, fue necesario realizar un procedimiento de limpieza particular: de cada filtro se extrajo $0,40 \text{ m}$ de arena dejándose en la unidad $0,35 \text{ m}$ de lecho. La arena retirada fue lavada cuidadosamente y la remanente en el filtro se lavó a contra-flujo, introduciéndose enseguida la arena extraída para completar una altura de $0,55 \text{ m}$. Más investigación enfocada a evaluar las diferentes opciones de mantenimiento de los filtros en arena es necesaria para tratamiento de agua residual frente a las carreras de filtración y las eficiencias de remoción.

3.2 Comportamiento de los parámetros físico-químicos y microbiológicos

Se analizó la influencia de la variación de las COS y sus correspondientes velocidades de filtración sobre las remociones obtenidas en cada filtro. En las Figuras 3 a 8 se muestran, en su orden, los valores de Turbiedad, pH, DBO_5 , SST, NO_3^- y HH, asociados a los percentiles de cada parámetro, tanto para el afluente como para el efluente de cada uno de los filtros evaluados. En la Tabla

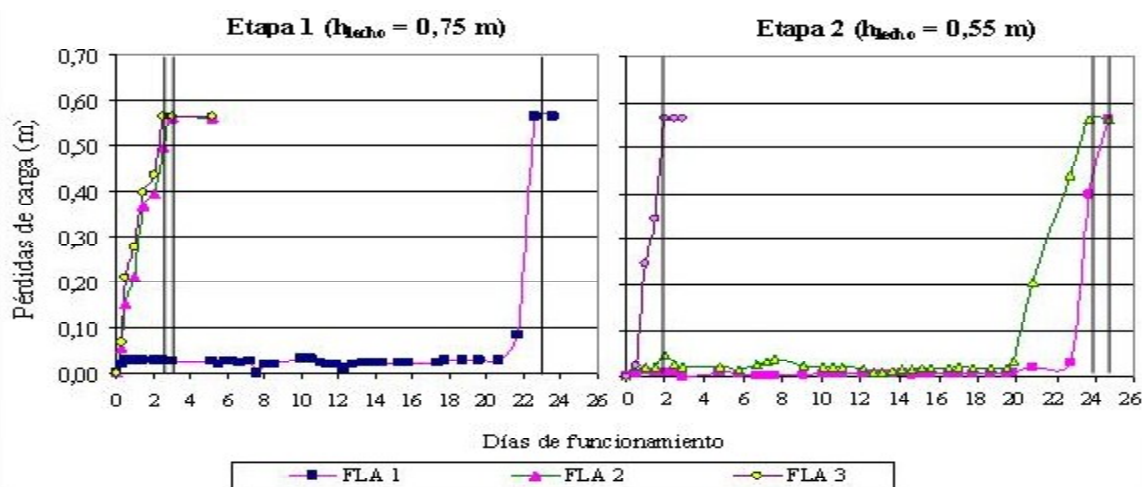


Figura 2. Pérdidas de carga encontradas en las dos carreras de filtración

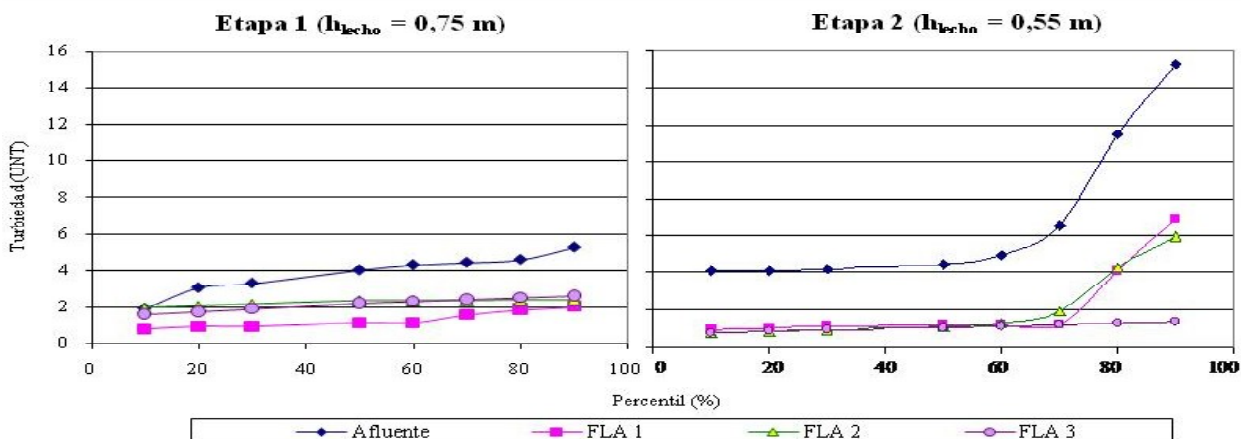


Figura 3. Percentiles de Turbiedad en afluente y efluente de los FLA 1, 2 y 3

2 se consignan las medianas de las remociones obtenidas para cada parámetro fisicoquímico evaluado en cada uno de los filtros lentos en arena. En lo que respecta a los parámetros microbiológicos, la Tabla 3 sintetiza las remociones obtenidas.

En la Figura 3, que muestra el comportamiento de la Turbiedad, se aprecia que en la primera etapa se tuvo menor Turbiedad afluente: el 90% de las veces fue menor a 5,3 UNT frente a 15,3 UNT en la segunda etapa. Estos valores son próximos a lo reportado por Di Bernardo (1993) y Galvis *et al.* (1999) para el buen funcionamiento de un FLA. Los efluentes estuvieron el 90% de las veces por debajo de 2,6 UNT para las tres COS en la primera etapa, mientras que en la segunda etapa la Turbiedad en los FLA 1 y 2 fueron menores a 6,9 UNT el 90% de las

veces y menores a 1,3 UNT para el FLA 3. Esto contrasta con la duración de la carrera, pues el FLA 3 registró la menor duración de la carrera de filtración. En la Tabla 2 se aprecia que para la primera etapa las remociones fueron próximas al 60% en los tres FLA; en la segunda etapa mejoraron las eficiencias hasta alcanzar valores entre el 73 y el 76%. Las remociones encontradas son similares a las obtenidas por Langenbach *et al.* (2007), entre 59 y 77%. Respecto al pH, en la Figura 4 se observa que fluctuó entre 6,7 y 8,1 para las dos etapas evaluadas, encontrando mayores valores de pH para los efluentes de los filtros que para el afluente. Esto puede ser el efecto de la solubilidad del lecho filtrante en el agua o por la acción de la biota presente en el filtro.

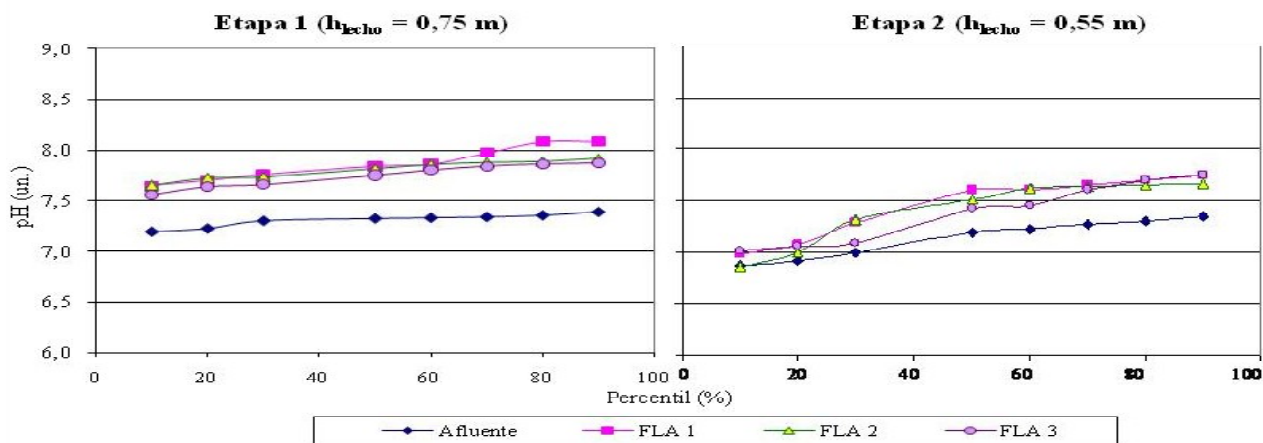


Figura 4. Percentiles de pH en afluente y efluente de los FLA 1, 2 y 3

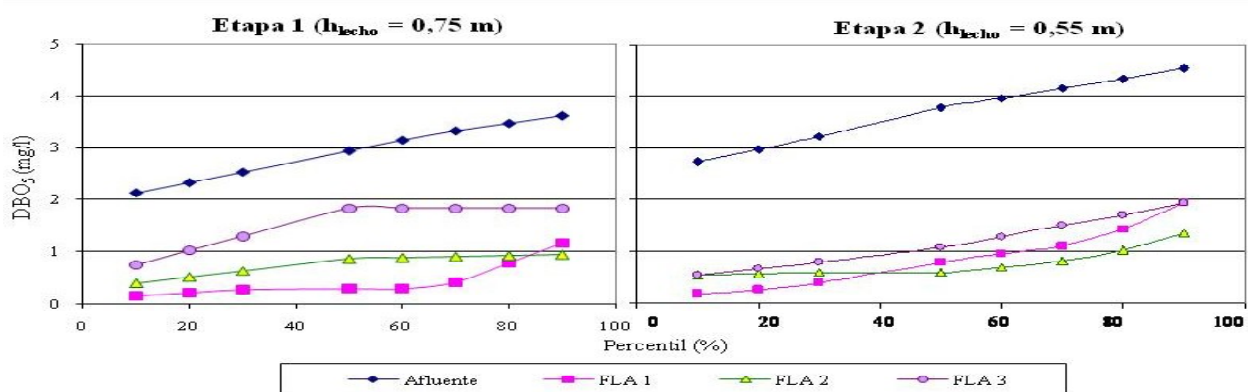


Figura 5. Percentiles de DBO_5 en afluente y efluente de los FLA 1, 2 y 3

Respecto a la DBO_5 , en la Figura 5 se aprecia que el mejor desempeño lo tuvieron el FLA 1 y el FLA 2, observándose en la etapa 1 que estos filtros lograron el 90% de las veces un efluente menor a 1 mg/l de DBO_5 y en la etapa 2 un efluente menor a 1,5 mg/l. En términos de remoción, la Tabla 2 muestra que para las dos etapas, la mejor eficiencia se obtuvo con el FLA 1 a una COS de 5,2 g $DBO_5/m^2.d$. Adicionalmente, en esta tabla se aprecia que no hay diferencias significativas en la remoción de DBO_5 en las dos alturas de lecho filtrante para cada FLA. Las remociones encontradas son menores que las obtenidas por Hamoda *et al.* (2004), quienes reportan eficiencias de remoción de DBO_5 entre 95 y 99%, con concentraciones afluentes mayores que las de esta investigación.

En lo que refiere a SST, en la Tabla 2 y la Figura 6 se aprecia que en la primera etapa los tres filtros produjeron agua con concentraciones similares de SST, obteniendo el 90% de las veces valores por debajo de 2 mg/l y remociones entre el 83 y el 94%. Sin embargo, en la segunda etapa se obtuvieron diferencias entre los efluentes de los FLA 1 y 2 con el 3, teniendo este último el más bajo desempeño. Las investigaciones realizadas por Hamoda *et al.* (2004) y Langenbach *et al.* (2007) indican que se pueden obtener remociones de SST entre el 95 y el 99%, y entre 94 y 95% respectivamente. Estos resultados son comparables a los encontrados en esta investigación, incluyendo las remociones indicadas por Adin (2003), quien menciona que los pocos estudios de tratamiento de agua residual con FLA como tratamiento terciario muestran eliminaciones de Sólidos Suspendi-

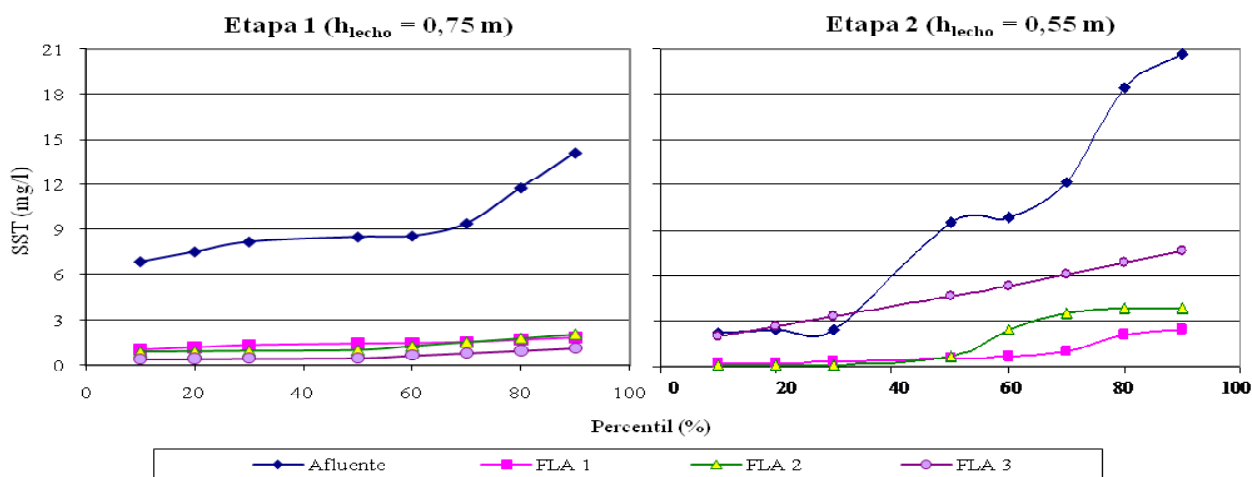


Figura 6. Percentiles de SST en afluente y efluente de los FLA 1, 2 y 3

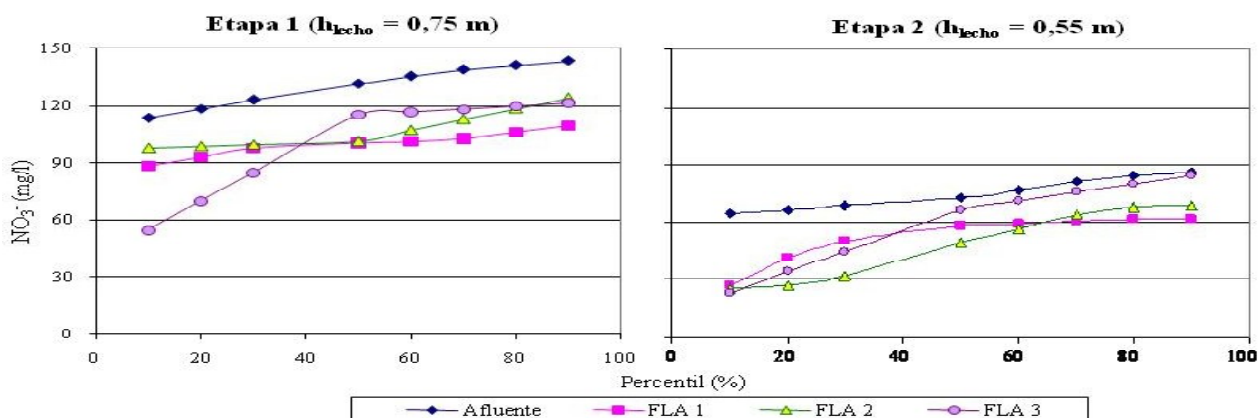


Figura 7. Percentiles de Nitratos en afluente y efluente de los FLA 1, 2 y 3

dos entre 60 y 80%.

En cuanto al comportamiento de los Nitratos, en la Figura 7 no se aprecian remociones significativas, pues las concentraciones en los efluentes de los tres filtros son cercanas a las concentraciones en el afluente para cada percentil. Esto se ve reflejado en los bajos valores de remociones de Nitratos mostrados en la Tabla 2.

En lo que respecta a los parámetros microbiológicos, en la Tabla 3 se puede apreciar la similitud en los descriptores estadísticos de *E. Coli* obtenidos para los tres filtros evaluados en las dos etapas evaluadas; para Coliformes Fecales se encuentra la misma similitud en la mayor altura de lecho y en la menor se obtuvieron mejores remociones con el FLA 1. Las remociones de *E. Coli* están acordes a lo encontrado por Adin (2003), Langenbach *et al.* (2007) y Papadopoulos *et al.* (2007), quienes reportan eliminaciones entre 1,0, 1,6 y 2,3, y 2,0 unidades logs, respectivamente, en efluentes de FLA como tratamiento terciario.

En el caso de los Huevos de Helminto se logró su reducción total con el FLA 1 en las dos alturas de lecho y en el FLA 2 con la altura de lecho de arena de 0,75 m; para el FLA 2 y 3 se redujeron las eficiencias con la menor altura de lecho. La reducción hallada es de gran importancia en el reuso de las aguas residuales en agricultura o acuicultura ya que según el CEPIS (2002) en muchos países en desarrollo los principales riesgos reales para la salud tienen relación con las helmintiasis y, por consiguiente, el tratamiento de estas aguas debe garantizar la eliminación casi completa de los helmintos. Dependiendo de los objetivos de tratamiento, menor COS y mayor altura de lecho favorece la eliminación total de Helmintos. Esto también debe ser evaluado a la luz de los costos de inversión, operación y mantenimiento.

3.3 Comparación frente a valores recomendados para reuso

Con el fin de comparar las concentraciones de los diferentes parámetros de calidad de agua medidos en el

Tabla 2. Medianas de las remociones obtenidas por parámetro fisicoquímico

Parámetro		Remociones (%)			
		Turbiedad	DBO ₅	SST	NO ₃ ⁻
h _{lecho} = 0,75 m	FLA 1	66	89	83	23
	FLA 2	58	77	84	19
	FLA 3	59	51	94	17
h _{lecho} = 0,55 m	FLA 1	73	82	92	24
	FLA 2	76	77	92	22
	FLA 3	76	58	28	1

Tabla 3. Remociones obtenidas en parámetros microbiológicos

Remoción		Parámetro								
		E. Coli (log)			Coliformes Fecales (log)			Huevos de Helminto (%)		
		FLA 1	FLA 2	FLA 3	FLA 1	FLA 2	FLA 3	FLA 1	FLA 2	FLA 3
$h_{lecho} = 0,75 \text{ m}$	Mínimo	0,8	0,9	0,8	1,0	1,1	1,1	100	100	67
	Máximo	2,4	2,1	2,4	1,7	1,4	1,6	100	100	100
	Mediana	1,3	1,5	1,2	1,2	1,3	1,4	100	100	100
$h_{lecho} = 0,55 \text{ m}$	Mínimo	1,4	1,0	1,3	0,9	0,6	1,1	100	69	40
	Máximo	1,8	2,1	1,5	2,3	2,1	1,8	100	100	40
	Mediana	1,5	1,4	1,4	2,0	1,1	1,2	100	83	40

efluente de cada uno de los filtros evaluados con los valores contemplados por diferentes autores para reuso de agua residual se elaboraron las Tablas 4 y 5, las cuales resumen la información encontrada tanto en el ámbito nacional como internacional. Como se observa, no todos los lineamientos encontrados recomiendan o establecen los mismos valores límite en cada uno de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, siendo algunos más exigentes que otros.

De la confrontación realizada se obtuvo que en términos de Turbiedad, DBO₅ y SST, los efluentes de los tres filtros evaluados con las dos alturas de lecho filtrante podrían ser utilizados en la producción agrícola, piscícola y riego de zonas verdes y campos de golf, puesto que los valores medios encontrados no sobrepasan los 2 UNT de Turbiedad y los 10 mg/l de DBO₅ y SST. Adicionalmente todos los valores de pH se encontraron entre 6 y 9. No se encontraron valores de referencia en cuanto a parámetros fisicoquímicos requeridos para el reuso de

Tabla 4. Valores recomendados de parámetros de calidad de agua para reuso de agua residual

Reuso en producción											
Parámetro / Norma o Guía	Agrícola							Piscicultura			
	WHO (2006b)	Qadir et al (2007)	Mínimo biente (2001)	US EPA (2004)	Normas Españolas (Iglesias, 2005)	CEPIS (2002)	Israel (Gen. de Cataluña)	WHO (2006c)	Mínimo biente (2001)	CEPIS (2002)	R. Dec. 1620/07 (Guardino et al, 2008)
Turbiedad (UNT)	-	-	-	$\leq 2^a$	≤ 5	-	-	-	-	-	-
pH (un)	-	-	-	6 - 9 ^a	-	-	-	-	-	-	-
DBO ₅ (mg/l)	-	-	-	$\leq 10^a$ $\leq 30^b$	≤ 20 ≤ 30	-	15 ^a 60 ^b	-	-	-	-
SST (mg/l)	-	-	-	$\leq 30^b$	$\leq 20^a$ $\leq 45^a$	-	15 ^a 50 ^b	-	-	-	35
E. Coli (UFC/100 ml)	$\leq 10^{3a}$	-	-	-	≤ 200	-	-	$\leq 10^4$	-	-	$\leq 10^3$
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	-	$\leq 10^{3a}$ $\leq 10^{5b}$	$\leq 10^{3a}$	0 ^a $\leq 200^b$	-	$\leq 10^{3a}$	-	-	$10^2 - 10^3$	10^3	-
Huevos de Helminto (H/l)	$\leq 1^{a*}$ $\leq 1^{b*}$	$\leq 0,1^a$ $\leq 1^b$	$\leq 1^a$ $\leq 1^b$	-	$\leq 1^a$	$\leq 1^a$	-	≤ 1	≤ 1	-	$\leq 0,1$

^aDebe ser menor que 0.1 cuando hay exposición de niños menores de 15 años

^aSin restricción: vegetales y todos los cultivos que se consuman sin cocinar

^bCon restricción: cereal, pastos y árboles

^cAnimales lecheros

^dAnimales no lecheros

Tabla 5. Valores permitidos de parámetros de calidad de agua para reuso de agua residual en zonas verdes y campos de golf

Parámetro	Organismo Cuenca (España) ¹	Campos de golf (España) ¹	Israel ²	C.H. Tajo (España) ³	Cataluña (España) ³	Baleares (España) ³	EPA (2004)	MinAmbiente (2001)
Turbiedad (UNT)	-	-	-	-	< 5	< 5	< 2	-
pH	6 - 9	-	-	-	-	-	-	-
DBO ₅ (mg/l)	< 10	-	< 35	< 25	-	< 20	< 10	-
SST (mg/l)	< 10	-	< 20	< 25	< 20	< 30	-	-
E. Coli (UFC/100 ml)	-	-	-	< 200	< 200	< 200	0	-
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	< 10	< 10	< 250	-	-	-	-	10 ³ - 10 ⁴
Huevos de Helminto (H/l)	< 1	-	-	< 1	< 1	< 1	< 1	≤ 5

¹Muñoz y Miranda (2005)²Generalitat de Cataluña. Depto. de Salud (SF)³Iglesias (2005)

agua residual en la producción pecuaria.

Respecto a los valores de E. Coli consignados en las Tablas 4 y 5, se tiene que los efluentes de los tres FLA evaluados con las dos alturas de lecho, en las dos etapas, no cumplen con las concentraciones máximas permitidas para ser utilizados en la producción agrícola, piscícola, pecuaria y riego de zonas verdes y campos de golf debido a que todos los valores superan las 4 unidades logarítmicas (10⁴ UFC/100 ml). En cuanto a los

Coliformes Fecales, la comparación arroja que para las dos alturas de lecho los efluentes de los tres FLA evaluados a diferentes COS cumplen con los criterios existentes para su uso en la producción agrícola con restricción, es decir, para regar cereales, pastos y árboles. Esto se debe a que los valores medios encontrados fueron menores o iguales a 5 logs (10⁵ UFC/100 ml). En lo que refiere a la producción agrícola sin restricción, producción piscícola, pecuaria y riego de zonas verdes y campos de golf, ningún efluente podría utilizarse.

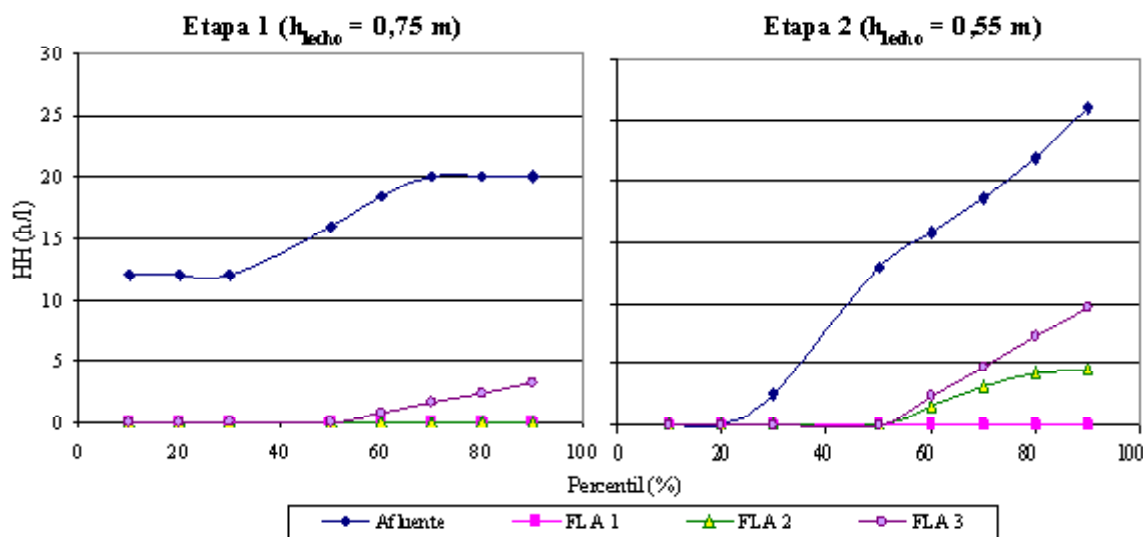


Figura 8. Percentiles de Huevos de Helminto en afluente y efluente de los FLA 1, 2 y 3

Frente a los parámetros de E. Coli y Coliformes Fecales medidos en este trabajo los niveles afluentes a los FLA fueron elevados en comparación a lo recomendado por autores como Di Bernardo para agua potable, cuyo valor no debe ser mayor a 500 UFC/100 ml. Por consiguiente, para que estos efluentes puedan ser utilizados con un bajo riesgo microbiológico se necesitaría adicionar diferentes barreras de tratamiento y protección previas a su aplicación en los diferentes campos de la producción.

Finalmente, al comparar las concentraciones de Huevos de Helminto obtenidas en esta investigación contra las consignadas en las Tablas 4 y 5, se encontró que los filtros operados a las más bajas COS (5,2 y 8,1 g DBO₅/m².d) con la mayor altura de lecho (0,75 m) garantizan la mejor remoción de Huevos de Helminto hasta lograr los valores establecidos por los diferentes autores.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El uso de la filtración lenta como tratamiento terciario de agua residual está condicionado por las COS. Sobre la base de este estudio los mejores resultados se obtienen con COS de 5,2 DBO₅/m².d, seguida por la COS de 8,1 g DBO₅/m².d, obteniéndose a menores cargas orgánicas las mayores carreras de filtración y las mayores eficiencias de remoción en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

La remoción de los Huevos de Helminto es más afectada por la altura del lecho. El reuso de los efluentes de filtros lentos en arena para la producción agrícola, pecuaria y piscícola se limita por la cantidad de E. Coli y Coliformes Fecales encontrados, por lo cual su uso estaría condicionado a la adición de más barreras de tratamiento y protección.

Más investigación es requerida para estudiar los costos de inversión inicial y de operación y mantenimiento analizando diferentes técnicas de mantenimiento de los filtros para la optimización de su limpieza y evaluar sus períodos de maduración.

Adicionalmente, será necesario estudiar el efecto de la variación del tamaño efectivo de arena y su coeficiente de uniformidad, así como el comportamiento de la biota de un filtro lento en arena tratando agua residual.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Gerencia de Aguas del Sur S.A. E.S.P. por permitir desarrollar la investigación en las instalaciones de la PTAR – El Caney y al personal de operación y mantenimiento de la planta por su disposición y colaboración en el montaje experimental. De igual forma se agradece al personal del Laboratorio de la Estación de Investigación del Instituto Cinara en Puerto Mallarino por su importante apoyo a lo largo del estudio.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adin, A., Mingelgrin, U. y Kanarek, A. (1995). Slow granular filtration for advanced wastewater treatment: design, performance and operation. Annual Scientific Report. Israel, 94 p.

Adin, A. (2003). Slow granular filtration for water reuse. Water Science and Technology: Water Supply 3 (4), 123-130.

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, APHA – AWWA – WPCF. (1999) Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th ed. USA.

CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria). (2002). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en Agricultura y Acuicultura. <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind57/mps/mpsaar.html>

Di Bernardo, L. (1993). Metodos e tecnicas de tratamiento de agua. Tomo II. Río de Janeiro: ABES.

Galvis, G., Latorre, J. y Visscher, J.T. (1999). Filtración en múltiples etapas: Tecnología innovativa para el tratamiento de agua. Santiago de Cali: Universidad del Valle, IRC.

Generalitat de Catalunya, Depto. de Salud (sf). Prevención del riesgo sanitario derivado de la reutilización de aguas residuales depuradas como

- aguas de riego. <http://www.gencat.cat/salut/depsalut/html/es/dir90/spsard05.htm>
- Guardino, R., Danés, C., Pérez, F., Loredó, J. y Rubio, Y. (2008). Reutilización de aguas residuales. http://www.conama9.org/conama9/download/files/GTs/5703_ppt_RGuardino.pdf
- GWP (Global Water Partnership). (2000). Agua para el siglo XXI: de la visión a la acción. América del Sur. Argentina: Módulo 3.
- Hamoda, M.F., Al-Ghusain, I. y Al-Mutairi, N.Z. (2004). Sand filtration of wastewater for tertiary treatment and water reuse. *Desalination* 164, 203-211.
- Hijnen, W., Dullemont, Y., Schijven, J., Hanzens-Brouwer, A., Rosielle, M. y Medema, G. (2007). Removal and fate of *Cryptosporidium parvum*, *Clostridium perfringens* and small-sized centric diatoms (*Stephanodiscus hantzschii*) in slow sand filters. *Water Research* 41, 2151-2162.
- Iglesias, R. (2005). Escenarios existentes y propuestas para el avance de la regeneración y reutilización de aguas en España. http://www.ccbgi.org/jornades2005/ponencias/10_iglesias.pdf
- Kang, Y.W., Mancl, K.M. y Tuovinen, O.H. (2007). Treatment of turkey processing wastewater with sand filtration. *Bioresource Technology* 98, 1460-1466.
- Langenbach, K., Kuschik, P. y Kästner, M. (2007). Disinfection of secondary effluent using slow sand filtration. Próximo a publicar.
- MINAMBIENTE (Ministerio del Medio Ambiente). (2001). Guía técnica para el desarrollo de proyectos de reuso de aguas residuales domésticas municipales. Dirección general ambiental sectorial. Grupo de gestión ambiental urbana y salud. Programa de gestión ambiental urbana – GAU, Colombia.
- Papadopoulos, F., Papadopoulos, A., Parissopoulos, G., Zdragas, A. y Metaxa, I. (2007). Sand filtration of naturally treated wastewater for irrigation reuse. *Fresenius Environmental Bulletin* 16 (8), 875-879.
- Muñoz, P. y Miranda, E. (2005). Evolución y problemática del agua reciclada en la Costa del Sol Occidental. España. http://www.ccbgi.org/jornades2005/ponencias/12_pmuno.pdf
- OMS (World Health Organization). (2006a). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Vol. 1: Policy and regulatory aspects. Switzerland.
- OMS (World Health Organization). (2006b). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Vol. 2: Wastewater use in agriculture. Switzerland.
- OMS (World Health Organization). (2006c). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Vol. 3: Wastewater and excreta use in aquaculture. Switzerland.
- Qadir, M., Sharma, B.R., Bruggeman, A., Choukr-Allah, R. y Karajeh, F. (2007). Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. *Agricultural Water Management* 87, 2-22.
- Rosemarin, A., Ekane, N., Caldwell, I., Kvarnström, E., McConville, J., Ruben, C. y Fogde, M. (2008). Pathways for Sustainable Sanitation - Achieving the Millennium Development Goals. Document generated by the Stockholm Environment Institute (SEI) within the Sustainable Sanitation Alliance. IWA Publishing, London, UK.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) (2004). Guidelines for Water Reuse. EPA/625/R-04/108. Washington D.C., USA.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.