

# Synthetic non-woven fabrics & sand vertical filtration columns as a slow filtration pre-treatment system

**Edson Pereira Tangerino<sup>1</sup>, Marcelo Botini Tavares<sup>1</sup>,  
Iván Andrés Sánchez Ortiz<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>*Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería de Ilha Solteira (FEIS),  
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Brasil.*

<sup>2</sup>*Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Universidad de Nariño,  
Torobajo, Pasto, Nariño, Colombia. Tel: (032)7311449. \* [iaso@udenar.edu.co](mailto:iaso@udenar.edu.co)*

## Abstract

Slow sand filtration is an efficient water treatment technique used for treating surface water with relatively low levels of contamination. Despite the slow sand filtration at pathogen, algae and cyanobacteria removal efficiency, it has some restrictions in relation to the required area for slow filters, and the cleaning activities for the filters and the stone pre-filters when used in the treatment. This research evaluated during 120 days the use of non woven & sand pre-filtration columns as part of a slow filtration process for the apparent color, turbidity, algae, cyanobacteria, phytoflagellates and diatomaceous. The columns shown an efficient removal of the monitored parameters and demonstrated as a vantage their faster and easier cleaning process and less awkward than the required to the stone pre-filters. The turbidity removal efficiency increased progressively during the experiment, especially after the first 35 days of the start; the apparent color removal by the pre-filtration columns was of 85%, and working together with the polishing of activated carbon columns was up to 95; the diatomaceous, phytoflagellates, algae and cyanobacteria removal by the columns achieve a weekly average of 95%, it's recommended to use filtration rates lower to  $1,5\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ .

**Keywords:** water treatment, multiple-stage filtration, slow filtration, pre-filtration vertical columns.

## Utilización de columnas verticales de filtración de manta y arena como pre-tratamiento de un sistema de filtración lenta

### Resumen

La Filtración Lenta es una eficiente técnica de tratamiento de agua superficial con relativamente bajos niveles de contaminación. Pese a su eficiencia en la remoción de patógenos, algas y cianobacterias presenta restricciones en cuanto al área necesaria de los filtros y su limpieza así como la de los pre-filtros de piedra usados en el tratamiento. En esta investigación se evaluó durante 120 días el uso de Columnas Verticales de Pre-Filtración de manta y arena como parte de un proceso de filtración lenta para la remoción de color aparente, turbiedad, algas, cianobacterias, fitoflagelados y diatomáceas. Las columnas evidenciaron una eficiente remoción de los parámetros monitoreados y demostraron como ventaja su procedimiento de limpieza más rápido y menos dispendioso que el requerido por los prefiltros de piedra. La eficiencia de remoción de la turbiedad se incrementó progresivamente en el experimento, especialmente después de 35 días de su inicio; la remoción de color aparente por las columnas de prefiltración fue del

85%, y junto a columnas de pulimento con carbón activado granular removieron hasta el 95%; la remoción de diatomáceas, fitoflagelados, algas y cianobacterias por las columnas alcanzó un promedio semanal de 95%, se recomienda utilizar tasas de filtración inferiores a  $1,5\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ .

**Palabras clave:** tratamiento de agua, filtración en múltiples etapas, filtración lenta y columnas verticales de pre-filtración.

## 1. Introducción

Los cuerpos de agua son utilizados por el hombre de varias maneras y con múltiples fines, tales como, abastecimiento de agua, irrigación de cultivos, recreación y disposición final de aguas residuales con o sin tratamiento previo, siendo la eutrofización una de las principales modificaciones provocadas por el hombre en ambientes acuáticos, causada generalmente por el aporte excesivo de nutrientes.

En algunos países en vías de desarrollo, la mayor parte de las aguas residuales (tanto domésticas, industriales, transporte de fertilizantes utilizados en la agricultura y residuos provenientes del cultivo de animales) son dispuestas sin tratamiento previo en los cuerpos de agua. Ese gran aporte de materia orgánica y nutrientes es uno de los principales responsables por la eutrofización de gran variedad de ambientes acuáticos, generando preocupación creciente con el alto grado de contaminación en que se encuentran actualmente los ambientes de agua dulce, según Tundisi [1].

De acuerdo con Esteves [2], un ambiente eutrófico presenta características como transparencia limitada, altos niveles de nutrientes y materia orgánica tanto en el sedimento como en el agua, alto potencial para la producción de biomasa, pérdida de la biodiversidad y proliferaciones de algas, cianobacterias y macrófitas acuáticas.

El crecimiento excesivo de microalgas y cianobacterias causa en el agua problemas como olor, turbiedad, disminución del oxígeno disuelto, sedimentación y toxicidad SÁ [3]. Factores estos que se traducen en un mayor costo en el tratamiento del agua para abastecimiento y en consecuencias relacionadas a la salud pública.

Puesto que los antiguos proyectos de Estaciones de Tratamiento de Agua potable (ETA) no contemplaron la ocurrencia de la eutrofización, la búsqueda de fuentes de agua con calidad adecuada para consumo humano, o que permitan

un tratamiento más económico, se torna cada vez mayor. Para atender tal fin, se hace necesario el desarrollo de sistemas alternativos de tratamiento de agua.

Según Di Bernardo y Dantas [4], la Filtración Lenta –FL– es considerada una tecnología apropiada para la remoción de algas y sus toxinas. Ella presenta algunas ventajas sobre el tratamiento de ciclo completo, destacándose la ausencia del empleo de coagulantes, poca o nula necesidad de maquinaria, no requiere de mano de obra especializada, no utiliza agua tratada en el proceso de limpieza y posee bajo costo de operación en la estación de tratamiento [5, 6, 4].

Pese a las ventajas de dicha tecnología, existen algunos factores que limitan su uso, tales como la duración, los procesos de colmatación que disminuyen la eficiencia y la frecuencia de limpieza de los filtros, las características físico-químicas que debe presentar el agua bruta y el área superficial de filtración requerida.

Otra desventaja es la duración de la limpieza de los filtros lentos, que se realiza mediante el raspado de la camada superior de arena, seguida del lavado y recolocación de la arena en el filtro; cuando ésta se realiza manualmente, puede requerir del orden de 75 horas por  $2000\text{m}^2$  [7, 8].

La frecuencia de la limpieza depende de aspectos físicos del agua bruta; si dicha agua presentase valores de turbiedad, color aparente y sólidos suspendidos por encima de los indicados para FL puede ocurrir la rápida colmatación del filtro, ocasionando una reducción en la duración de las carreras de filtración, exigiendo limpiezas frecuentes [9].

Para la obtención del agua bruta compatible con la FL, se utilizan los pre-filtros de piedra, cuyos procedimientos de limpieza pueden ser representativos en relación al tiempo y costo de mano de obra.

Comparándose la FL y otras tecnologías de tratamiento de agua para un mismo caudal a ser tratado, se verifica que el área superficial del fil-

tro lento, debido a la baja tasa de filtración utilizada (de 3,0 a 6,0m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d), necesita ser mayor que la requerida para otras tecnologías, lo que puede constituirse en una limitante dependiendo del lugar destinado a la instalación de la ETA.

El perfeccionamiento de este sistema de tratamiento de agua se torna cada vez más necesario, ya que en el mundo, y particularmente en Latinoamérica, existen comunidades de pequeño y mediano tamaño, localizadas lejos de los grandes centros urbanos, que deben ser abastecidas con agua que cumpla las normas de potabilidad.

En la presente investigación se evaluó el uso de Columnas Verticales de Pre-Filtración (CVPF) como pre-tratamiento a filtros lentos en una instalación a escala de laboratorio cuya técnica de potabilización se fundamentó en la Filtración en Múltiples Etapas (FiME). Las CVPFs tuvieron como función hacer un pre-tratamiento del agua bruta por medio de la propia filtración lenta; las columnas volvieron más rápida y simple la limpieza de los pre-filtros.

## 2. Metodología

### 2.1. Descripción de los sistemas de filtración

Se utilizó un pre-filtro dinámico (PFD), un pre-filtro vertical ascendente (PFVA), tres filtros lentos (FL), tres columnas de pulimento (CP) con carbón activado granular (CAG), y cuatro colum-

nas verticales de pre-filtración (CVPF). La estación piloto se instaló en el Barrio Ipê en Ilha Solteira/SP por la Universidad Estadual Paulista (UNESP), Facultad de Ingeniería Civil de Ilha Solteira (FEIS) utilizando la tecnología FiME como forma de tratamiento.

Las columnas verticales de pre-filtración (CVPF) se construyeron con dos tubos concéntricos de PVC con diámetros externo e interno de 150 y 32 mm respectivamente, se rellenaron con arena para filtros de diámetro entre 0,08 mm y 1,00 mm, tamaño efectivo de 0,28 mm y coeficiente de uniformidad de 2,0 a 3,0. El tubo interno tuvo perforaciones circulares y el externo tuvo aberturas para permitir el paso del agua, ambos fueron envueltos con manta no tejida y se instalaron en tanques de 100 y 200 L. Detalles de la CVPF y del dispositivo adaptador de cada columna se presentan en la Figura 1.

La granulometría del material utilizado en los filtros se presenta en la Tabla 1.

En la Figura 2 se muestra un esquema del flujo del agua pre-filtrada, en el tanque con CVPF.

En el punto 1 de la Figura 2 se da la entrada del agua al tanque reservorio de la columna a través de un indicador de control. Dicha agua puede ser bruta o pre-tratada por el PFD y PFVA, dependiendo de la etapa experimental. En el punto 2, el agua permanece dentro del tanque y de acuerdo con la tasa de filtración adoptada es filtrada por

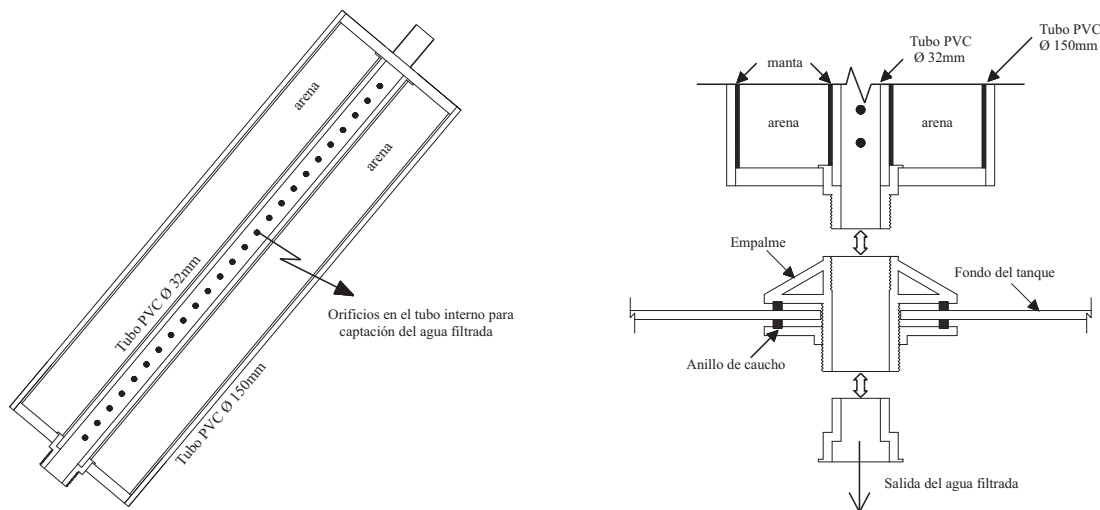


Figura 1. Detalles de las columnas de filtración con manta y del adaptador roscado de las columnas verticales de filtración.

Tabla 1  
Granulometría de las unidades filtrantes (camadas en el sentido del flujo del agua)

| Unidades                         | Camada | Espesor (mm) | Granulometría (mm) |
|----------------------------------|--------|--------------|--------------------|
| PFD<br>(flujo descendente)       | 1      | 250          | 15,9-25,4          |
|                                  | 2      | 250          | 15,9-9,6           |
|                                  | 3      | 400          | 4,8-9,6            |
| PFVA<br>(flujo ascendente)       | 1      | 500          | 31,4-50,0          |
|                                  | 2      | 400          | 19,0-25,4          |
|                                  | 3      | 400          | 9,6-15,4           |
|                                  | 4      | 400          | 1,41-3,20          |
| FL1 y FL2<br>(flujo descendente) | 1      | -            | manta no-tejida    |
|                                  | 2      | 300          | 0,08-1,00          |
|                                  | 3      | 300          | 0,30-0,84 *(CAG)   |
|                                  | 4      | 100          | 0,08-1,00          |
|                                  | 5      | 100          | 1,41-3,20          |
|                                  | 6      | 100          | 3,2-6,4            |
|                                  | 7      | 100          | 7,9-12,7           |
|                                  | 8      | 150          | 15,9-25,4          |
|                                  | 9      | 300          | 31,4-50,0          |
| FL3<br>(flujo descendente)       | 1      | 600          | 0,08-1,0           |
|                                  | 2      | 50           | 1,40-3,2           |
|                                  | 3      | 50           | 3,2-6,4            |
|                                  | 4      | 50           | 7,9-25,4           |
|                                  | 5      | 100          | 31,4-50,0          |

\* CAG: Carbón activado granular.

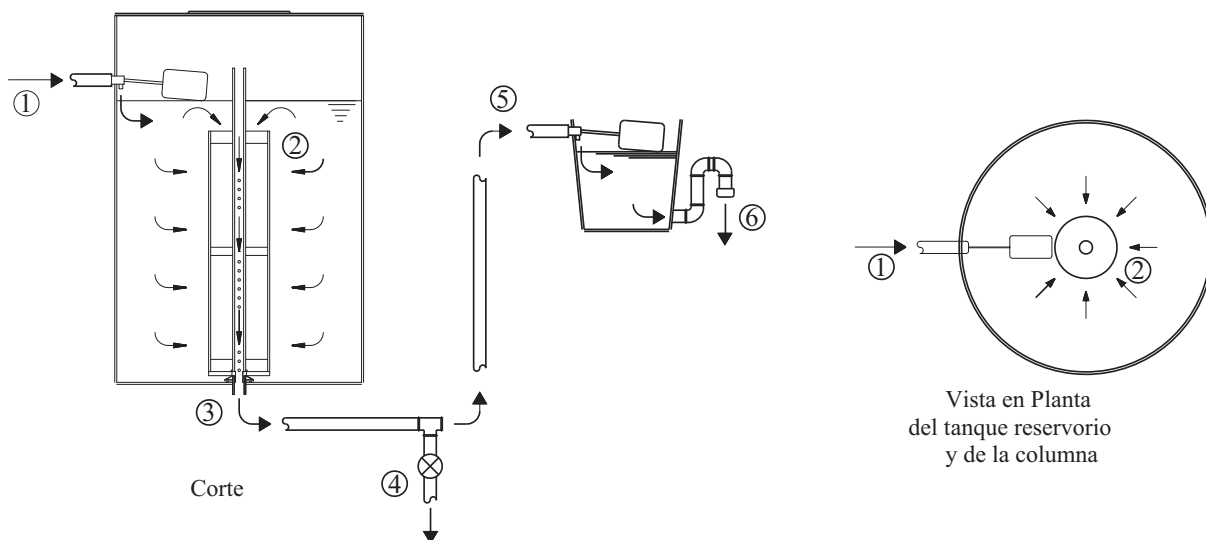


Figura 2. Esquema del funcionamiento de la columna vertical de pre-filtración.

la columna, pasando por la manta, la arena y otra capa de manta.

El agua filtrada es captada por el tubo central de diámetro 32mm y es llevada para la caja de nivel constante (punto 5) a través de la salida de la columna, punto 3, donde fue instalado el adaptador roscado. El registro instalado en el punto 4 se utilizó para vaciado del tanque y limpieza de las CVPF.

La caja de nivel constante tuvo como finalidad controlar la tasa de filtración de cada columna, por medio de orificio (punto 6). Su efluente pasaba para el filtro lento y después de este, para la CP.

Para cambiar una CVPF se retiraba del tanque reservorio y se sustituía por otra columna que ya tuviese desarrollada la capa biológica, que se depositaba previamente en un depósito especial, externo a la secuencia de tratamiento de la estación y protegido del ingreso de la luz solar. El depósito contenía agua idéntica a la tratada que era sustituida periódicamente; la columna se mantenía durante un periodo de maduración superior a 2 semanas, en analogía al tiempo reportado en la literatura para FL [10]. La limpieza de una CVPF consistió en la remoción y lavado de la arena y la manta, su nueva colocación e instala-

ción en el reservorio para desarrollo de la capa biológica hasta la próxima limpieza del sistema.

El experimento se dividió en dos etapas en las que la determinación de la eficiencia del proceso de filtración se basó en la evaluación del agua afluente y efluente de los FL y de las CVPF. Los parámetros determinados en las dos etapas experimentales siguieron los métodos definidos por APHA, AWWA y WEF [11]; sus unidades, frecuencia y código fueron: color aparente (uH), con mediciones diarias por espectrofotometría, número 2120-C; turbiedad (uT), medida diariamente por método nefelométrico, número 2130-B; conteo de algas, una vez por semana por medio de Cámara Sedgwick Rafter y microscopio con ampliación de 40x, número 10200-F.

En la etapa experimental 1 se utilizó dos FL y cuatro CVPF abastecidos con agua bruta del Lago de Ipê en la ciudad de Ilha Solteira/SP. En la segunda etapa experimental, los mismos filtros y columnas recibieron agua pre-tratada en serie por el PFD y por el PFVA. En ambas etapas los efluentes de los FL fueron tratados por columnas de pulimento con CAG. Las carreras de filtración duraron aproximadamente 60 días en cada etapa. El flujograma de las etapas se presenta en la Figura 3 y las tasas de filtración utilizadas en la Tabla 2.

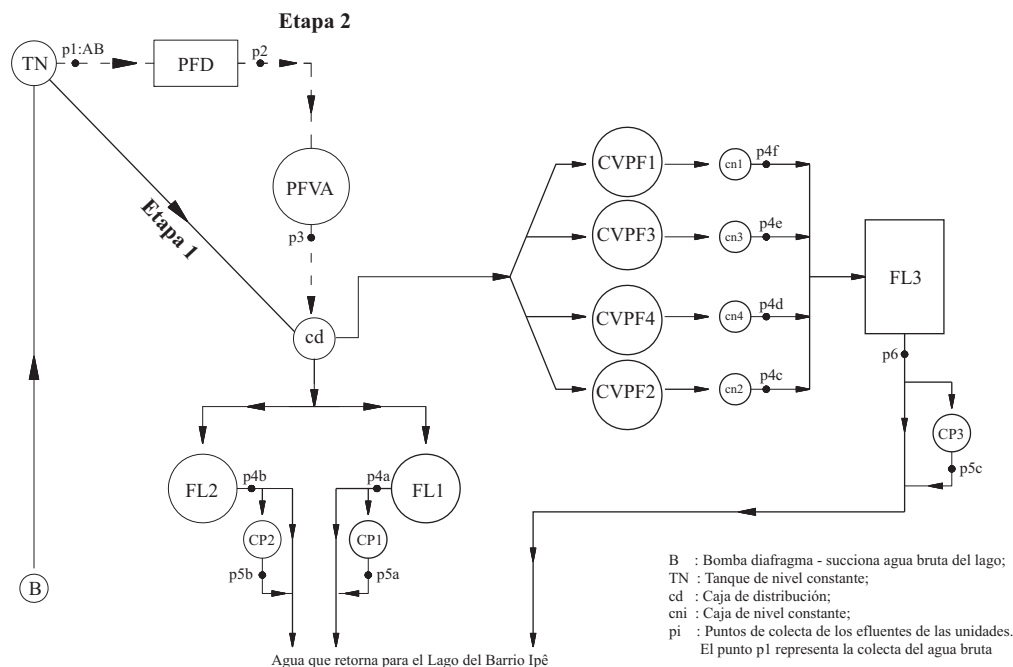


Figura 3. Flujograma de las etapas experimentales 1 y 2 y sus respectivos puntos de colecta.

Tabla 2  
Tasas de filtración de las unidades para las etapas experimentales 1 y 2

| Unidades  | Tasa de filtración (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d) |
|-----------|--|
| FL1 y FL2 | 3,00   |
| CVPF2     | 3,00   |
| CVPF4     | 1,50   |
| CVPF3     | 0,75   |
| CVPF1     | 0,38   |
| CP        | 8,0  |
| FL3       | 5,65   |
| iOPFD     | 12,0   |
| PFVA      | 11,0   |

Durante las dos etapas experimentales fueron determinados los parámetros color aparente y turbiedad y se realizó conteo de algas en todos los puntos de muestreo según lo esquematizado en la Figura 3, a excepción de los puntos P5A, P5B y P5C donde no se realizó conteo de algas.

En la etapa experimental 1 se utilizó dos FL y cuatro CVPF abastecidos con agua bruta del Lago de Ipê en la ciudad de Ilha Solteira/SP. En la segunda etapa experimental, los mismos filtros y columnas recibieron agua pre-tratada en serie por el PFD y por el PFVA. En ambas etapas los efluentes de los FL fueron tratados por columnas de pulimento con carbón activado granular. Las carreras de filtración duraron aproximadamente 60 días en cada etapa.

Para discernir de manera más clara los resultados del desempeño de las columnas verticales de prefiltración, adicionalmente al cálculo de las respectivas eficiencias de remoción de los parámetros analizados, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y se determinó en qué casos el desempeño de las CVPF reportó diferencias estadísticamente significativas.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Color aparente

La Figura 4 esquematiza de manera gráfica la variación de los valores de color aparente en el agua bruta (AB), las columnas verticales de prefiltración 1 a 4, los filtros lentos 1 a 3, y las columnas de pulimento 1 a 3 registrados en la Etapa 1 del experimento (61 datos en cada punto).

En la Figura 5 se presentan los valores de color aparente en el AB; el PFD; el PFVA; las columna CVPF 1 a 4; los FL 1 a 3; y las columnas CP 1 a 3 registrados en la Etapa 2 del experimento.

Las Figuras 4 y 5 evidencian la utilidad de las CVPF en la reducción del color aparente respecto al registrado en el AB y su contribución en el mejoramiento de la calidad del agua que pasó al FL3. La Tabla 3 presenta los valores promedio y de desviación estándar para color aparente en el afluente bruto y los efluentes de las unidades de filtración, así como los promedios de remoción diaria en relación al agua bruta de cada unidad durante las etapas experimentales 1 y 2.

En la primera etapa, se verificó que las CVPFs presentaron una remoción promedio me-

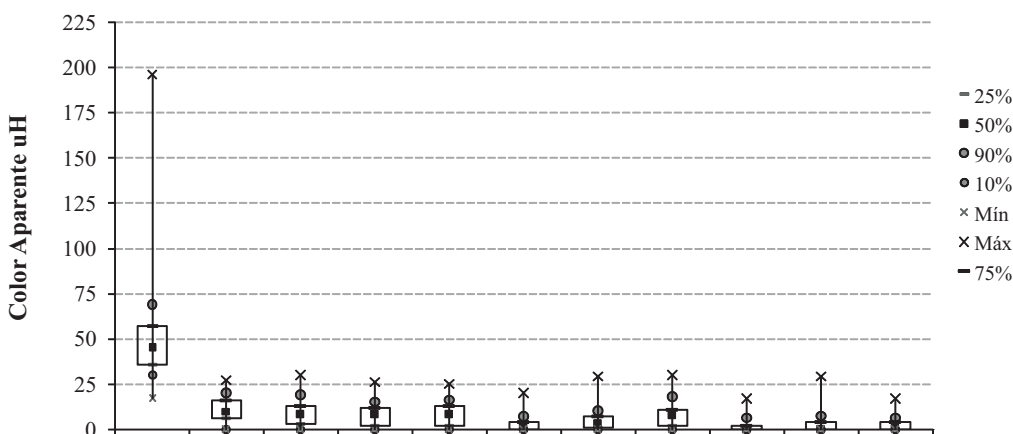


Figura 4. Color aparente en el AB y en los efluentes de las CVPF, los FL y las CP en la etapa 1.

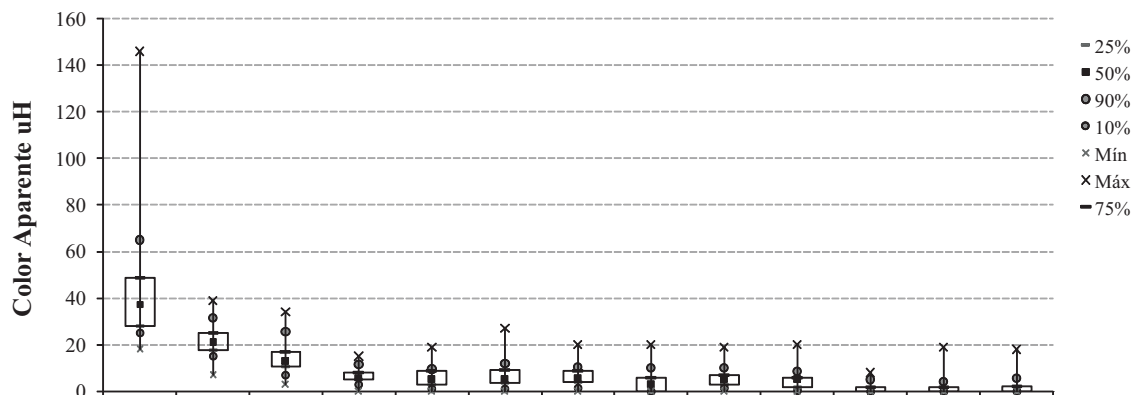


Figura 5. Color aparente en el AB y los efluentes de PFD, PFVA, FL, CVPF y CP en la etapa 2.

Tabla 3

Valores de color aparente (uH) en el AB y efluentes de las unidades filtrantes y promedios de remoción diaria de color aparente (%) en las unidades en relación al agua bruta en las etapas 1 y 2

| Agua analizada<br>(Punto de muestreo) | Etapa 1 |            | Etapa 2 |            | Promedio de remoción (%) |         |
|---------------------------------------|---------|------------|---------|------------|--------------------------|---------|
|                                       | Prom.   | Desv. Est. | Prom.   | Desv. Est. | Etapa 1                  | Etapa 2 |
| AB (p1)                               | 47      | 23,9       | 41      | 21,9       |                          |         |
| PFD (p2)                              |         |            | 22      | 6,4        | -                        | 42,60   |
| PFVA (p3)                             |         |            | 14      | 7,0        | -                        | 62,30   |
| FL1 (p4a)                             | 3       | 3,6        | 4       | 4,4        | 94,50                    | 90,50   |
| FL2 (p4b)                             | 5       | 5,7        | 6       | 4,2        | 89,70                    | 85,90   |
| CVPF2 (p4c)                           | 11      | 6,9        | 7       | 3,4        | 76,30                    | 82,00   |
| CVPF4 (p4d)                           | 9       | 7,4        | 6       | 3,9        | 80,10                    | 84,80   |
| CVPF3 (p4e)                           | 8       | 6,4        | 7       | 5,1        | 81,90                    | 83,90   |
| CVPF1 (p4f)                           | 8       | 6,4        | 7       | 4,0        | 81,30                    | 82,70   |
| CP1 (p5a)                             | 2       | 3,6        | 1       | 2,1        | 95,90                    | 96,40   |
| CP2 (p5b)                             | 3       | 4,6        | 2       | 3,4        | 95,50                    | 95,70   |
| CP3 (p5c)                             | 2       | 6,3        | 2       | 3,4        | 95,50                    | 95,20   |
| FL3 (p6)                              | 8       | 6,8        | 5       | 4,0        | 81,70                    | 86,80   |

nor que los filtros lentos; sin embargo, por debajo del valor máximo permitido (VMP) de 15 uH, recomendado por la legislación brasilera [12]. La remoción global de color aparente en la instalación fue mayor que 95% en las dos etapas, indicando una alta eficiencia por el uso del carbón activado granular.

En la segunda etapa, las CVPFs también presentaron remoción de color aparente menor

que los filtros lentos, en los que se apreció una disminución en el porcentaje de remoción. En compensación todas las CVPFs presentaron un aumento en la remoción de color aparente.

A partir de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis se logró determinar que en el desempeño de las CVPF no hubo diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la remoción de color aparente. Si bien es cierto, las co-

lumnas contribuyeron a la remoción de este parámetro, las tasas de filtración entre 0,38 y 3,00 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d ofrecieron resultados similares.

**3.2. Turbiedad**

La Figura 6 presenta los valores de turbiedad en el agua bruta, las CVPF 1 a 4, los filtros lentos 1 a 3, y las CP 1 a 3, registrados en la Etapa 1 del experimento (61 datos en cada punto de muestreo).

En la Figura 7 se ilustra la variación de los valores de turbiedad en el AB; el PFD; el PFVA; las columnas CVPF 1 a 4; los FL 1 a 3; y las columnas CP 1 a 3 registrados en la Etapa 2 del experimento.

En la Figura 7 se observa que el comportamiento de los valores de turbiedad en el efluente de las columnas verticales de pre-filtración fue

similar entre sí. Como complemento a los valores anteriormente graficados, la Tabla 4 presenta los valores promedio y de desviación estándar para turbiedad en el efluente de las unidades filtrantes y los valores promedio de remoción diaria en relación al agua bruta de cada unidad en las etapas experimentales 1 y 2.

Se determinó que en la primera etapa las columnas tuvieron remoción de turbiedad menor que la de los filtros lentos, aunque sus valores medios permanecieron por debajo del VMP recomendado por la Portaria N°518 del Ministerio Brasileiro de la Salud, que es de 5,0uT [12].

Se constató un periodo más largo de maduración en las CVPF en comparación al de los filtros lentos, destacándose que tales columnas eran de construcción y utilización reciente y los filtros lentos ya habían operado a lo largo de dos

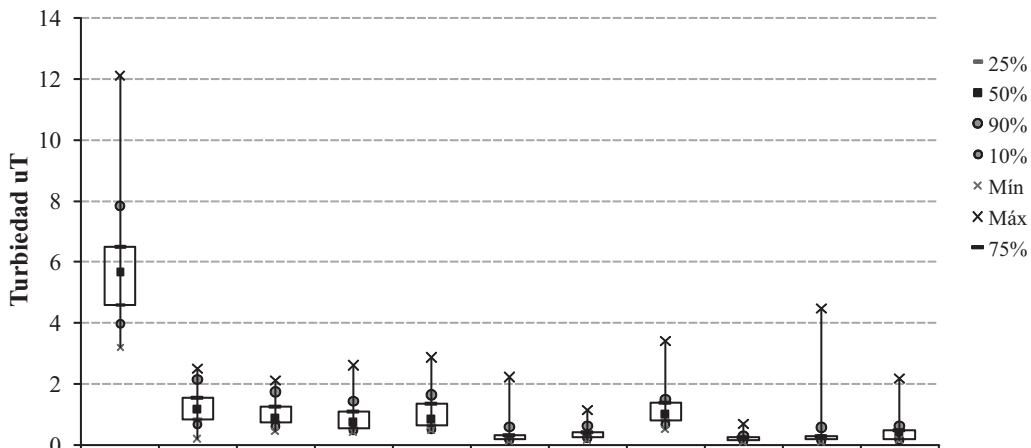


Figura 6. Turbiedad en el AB y en los efluentes de las CVPF, los FL y las CP en la etapa 1.

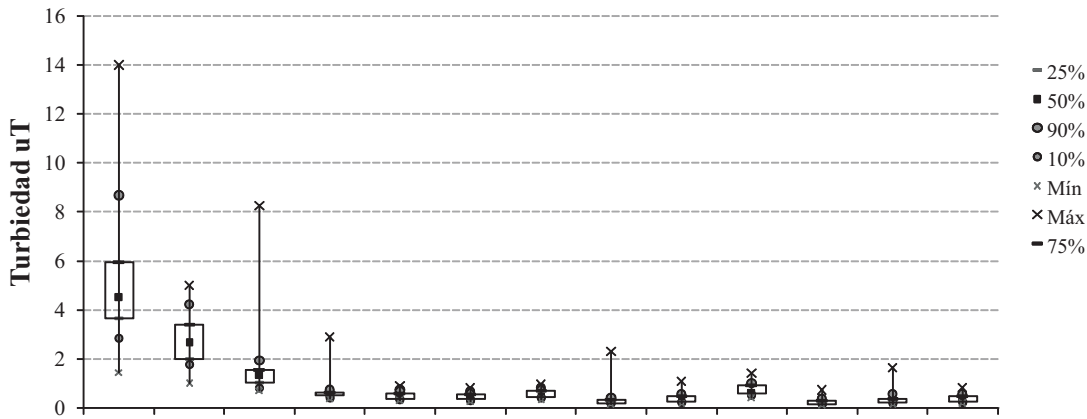


Figura 7. Turbiedad en el AB y los efluentes del PFD, del PFVA, las CVPF, los FL y las CP en la etapa 2 del experimento.



Tabla 4  
Valores de turbiedad (uT) en el agua bruta y efluentes de las unidades filtrantes y promedios de remoción (%) diaria de turbiedad en las unidades en relación al agua bruta durante las etapas 1 y 2

| Agua analizada<br>(Punto de muestreo) | Etapa 1 |            | Etapa 2 |            | Promedio de remoción (%) |         |
|---------------------------------------|---------|------------|---------|------------|--------------------------|---------|
|                                       | Prom.   | Desv. Est. | Prom.   | Desv. Est. | Etapa 1                  | Etapa 2 |
| AB (p1)                               | 6       | 1,66       | 5       | 2,44       |                          |         |
| PFD (p2)                              | -       |            | 3       | 0,96       | -                        | 43,80   |
| PFVA (p3)                             | -       |            | 1,5     | 1,05       | -                        | 70,40   |
| FL1 (p4a)                             | 0,33    | 0,31       | 0,30    | 0,30       | 93,80                    | 93,20   |
| FL2 (p4b)                             | 0,36    | 0,19       | 0,37    | 0,16       | 93,30                    | 92,00   |
| CVPF2 (p4c)                           | 1,3     | 0,53       | 0,61    | 0,34       | 77,40                    | 86,90   |
| CVPF4 (p4d)                           | 1,0     | 0,44       | 0,48    | 0,17       | 81,40                    | 89,40   |
| CVPF3 (p4e)                           | 0,87    | 0,43       | 0,45    | 0,14       | 83,70                    | 90,00   |
| CVPF1 (p4f)                           | 0,99    | 0,47       | 0,55    | 0,17       | 81,70                    | 87,80   |
| CP1 (p5a)                             | 0,22    | 0,10       | 0,24    | 0,11       | 95,90                    | 94,40   |
| CP2 (p5b)                             | 0,59    | 0,70       | 0,36    | 0,25       | 92,90                    | 91,90   |
| CP3 (p5c)                             | 0,38    | 0,30       | 0,38    | 0,15       | 93,00                    | 91,60   |
| FL3 (p6)                              | 1,1     | 0,49       | 0,72    | 0,22       | 78,70                    | 83,70   |

años (PROSAB 4). La remoción global fue mayor que 91%.

En la segunda etapa el PFD y el PFVA removieron en promedio 44% y 70% de la turbiedad, respectivamente, lo que ocasionó una disminución relativa en los valores medios del agua efluente direccionada hacia los FL (por debajo de 0,40uT) y a las columnas (debajo de 0,61uT); las remociones obtenidas fueron inferiores a las presentadas por Rodrigues y Di Bernardo [13], quienes reportaron eficiencias hasta del 81% utilizando series hasta de cuatro prefiltros verticales de flujo ascendente. La tasa de filtración de las CVPF que presentó mejor resultado medio (0,45uT) fue de 0,75m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día.

La prueba de Kruskal Wallis reportó diferencias estadísticamente significativas entre las CVPF, donde las columnas 3, 4 y 2 presentaron comportamientos iguales, con una eficiencia de remoción mayor a la de la CVPF1; por ello se recomienda utilizar tasas de filtración de 1,5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d o menores.

### 3.3. Conteo de algas, cianobacterias, fitoflagelados y diatomáceas

En el experimento se determinó que el agua del lago Ipê presentó principalmente algas, y en orden decreciente, cianobacterias, fitoflagelados y diatomáceas. En la Figura 8 se ilustra los valores de la sumatoria de todos los organismos estudiados en las unidades de filtración en las dos etapas experimentales, y la Tabla 5 presenta los valores promedio y de desviación estándar del conteo general y la remoción promedio semanal de los organismos en cada unidad durante tales etapas.

En la primera etapa, en relación a las cantidades sumadas de organismos verificados y su remoción por las unidades de filtración, se hizo evidente la eficiencia de las columnas verticales de pre-filtración aunque hayan presentado valores inferiores que los filtros lentos. Las columnas CVPF1 y CVPF3 fueron las que presentaron los mejores resultados. En la segunda etapa hubo una caída en la remoción por parte de las

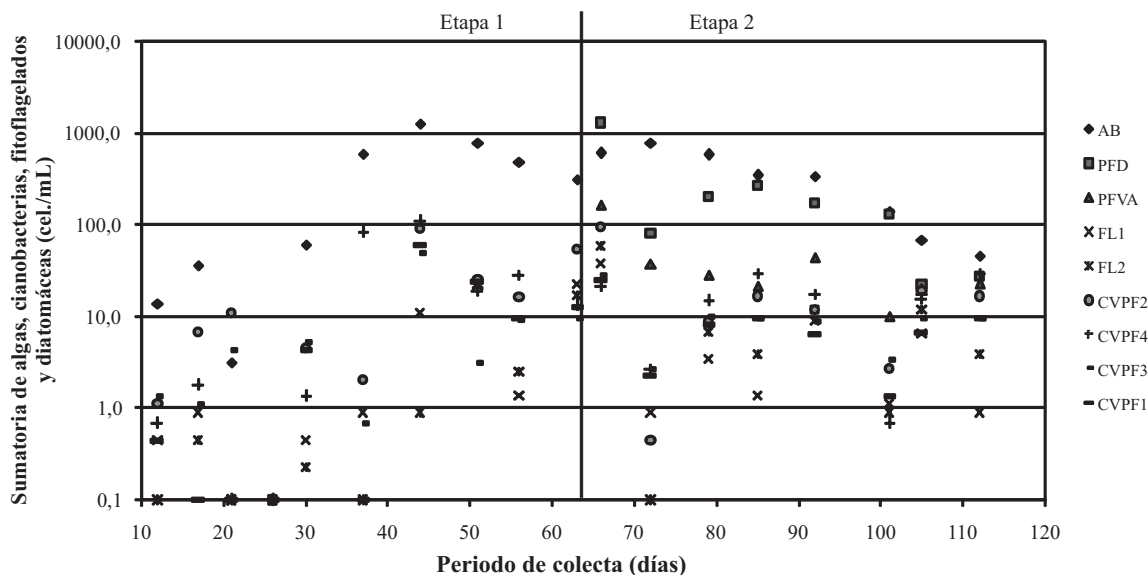


Figura 8. Conteo de algas y cianobacterias, fitoflagelados y diatomáceas en el agua bruta y en el efluente de las unidades filtrantes durante las etapas 1 y 2.

Tabla 5

Valores del conteo de algas y cianobacterias, fitoflagelados y diatomáceas (cel/mL) en el AB y efluentes de las unidades filtrantes y remoción promedio en las unidades respecto al AB

| Agua analizada<br>(Punto de<br>muestreo) | Etapa 1 |            | Etapa 2 |            | Promedio de remoción semanal (%) |         |
|--|---------|------------|---------|------------|----------------------------------|---------|
|  | Prom.   | Desv. Est. | Prom.   | Desv. Est. | Etapa 1                          | Etapa 2 |
| AB (p1)                                  | 398,1   | 437,2      | 367,9   | 237,5      |                                  |         |
| PFD (p2)                                 |         |            | 114,7   | 422,6      |                                  | 56,5%   |
| PFVA (p3)                                |         |            | 43,7    | 50,0       |                                  | 83,2%   |
| FL1 (p4a)                                | 7,4     | 9,8        | 7,7     | 12,6       | 99,0%                            | 97,3%   |
| FL2 (p4b)                                | 5,5     | 9,0        | 12,3    | 19,4       | 99,1%                            | 95,1%   |
| CVPF2 (p4c)                              | 23,1    | 30,1       | 21,6    | 30,9       | 93,7%                            | 89,2%   |
| CVPF4 (p4d)                              | 32,4    | 41,9       | 16,7    | 11,0       | 94,3%                            | 87,4%   |
| CVPF3 (p4e)                              | 9,5     | 15,6       | 10,3    | 8,0        | 97,2%                            | 94,3%   |
| CVPF1 (p4f)                              | 14      | 20,7       | 8,6     | 7,2        | 96,5                             | 97,6    |

CVPF2 y CVPF4 observándose la presencia de algas en los tanques reservorios; las demás continuaron presentando valores por encima del 90%. La prueba de Kruskal Wallis reportó que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de los valores registrados para remoción de microorganismos en las CVPF.

## 4. Conclusiones

La aplicabilidad del sistema de pre-tratamiento por medio de columnas verticales fue constatada por medio de la realización de los ensayos de laboratorio y de la facilidad en el procedimiento de limpieza, sugiriendo así una opción eficiente con el cambio de los pre-filtros de piedra

por las columnas en el tratamiento de agua a través de una estación de tratamiento del tipo FiME.

Los filtros lentos obtuvieron un mejor desempeño que las columnas verticales de pre-filtración en la remoción de color durante la primera etapa experimental; no obstante, en la segunda etapa hubo una disminución en la remoción de los filtros y una elevación en las columnas verticales, con promedios muy similares, en torno de 85%. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre las columnas en cuanto a la remoción de color aparente. El carbón activado granular en las columnas de pulimento proporcionó una remoción global por encima de 95% con relación al agua bruta.

Los filtros lentos presentaron remoción diaria de turbiedad prácticamente igual entre sí, con promedios cercanos al 93%, y con un aumento en la remoción después de los 10 primeros días de muestreo. Las columnas verticales presentaron una creciente remoción a lo largo de todo el periodo del experimento; sin embargo, solo se constató un acentuado aumento después de 35 días de inicio del experimento. En las columnas se recomiendan tasas de filtración menores o iguales a  $1,5\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ .

La remoción de diatomáceas, fitoflagelados, algas y cianobacterias fue eficiente tanto por parte de los filtros lentos como por las columnas de pre-filtración. Las columnas en la primera etapa alcanzaron una remoción promedio semanal de 95%, configurándose como grandes removedoras de patógenos funcionando como pre-tratamiento al filtro lento aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas en cuanto a su eficiencia de remoción. Por su parte, los filtros lentos registraron remociones promedio de estos microorganismos con valores cercanos al 100% y 96% para la primera y segunda etapa experimental, respectivamente.

### Referencias bibliográficas

1. Tundisi, J. G. A Crise da Água: Eutrofização e Suas Conseqüências. In. Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez. (ed.) Rima, IIE, São Carlos. (2003), 247p.
2. Esteves, F. A. Fundamentos de limnologia. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência. (1998), 602p.
3. Sá, J. C. Influência da camada filtrante e da taxa de filtração na eficiência de remoção de *Microcystis aeruginosa* e microcistina na filtração lenta em areia. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasilia. (2006), 186p.
4. Di Bernardo, L.; Dantas, A. D. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2. ed. São Carlos: RIMA, Vol. 2, (2005), 792p.
5. Murtha, N. A.; Heller, L. Avaliação da eficiência da filtração lenta em areia segundo a profundidade do leito filtrante. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, 1999, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: [s.n]. (1999).
6. Ferraz, C. F. Influência da redução da espessura da camada suporte na eficiência da filtração lenta com uso de mantas sintéticas não tecidas para águas de abastecimento. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. (2001), 199p.
7. Huisman, L.; Wood, W. Slow Sand Filtration. World Health Organization. Geneva. (1974), 120 p.
8. Washington State Department of Health. (2003) Environmental Health Programs -Division of Drinking Water. Guidance Document: Slow Sand Filtration and Diatomaceous Earth Filtration for Small Water Systems DOH PUB. #331-204. (2003), 118 p.
9. Ferraz, C. F.; Paterniani, J. E. S. Redução da espessura da camada suporte através da substituição por mantas não-tecidas na filtração lenta de águas de abastecimento. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro. Vol. 7, No 1, (2002), p. 8-15.
10. American Water Works Association. Calidad y Tratamiento del Agua – Manual de Suministros de Agua Comunitaria. Madrid: Mc Graw Hill. (2002), 1231p.
11. APHA. AWWA. WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20<sup>th</sup> Edition, American Public Health Association. Washington, D.C. U.S.A. (1998).

12. Brasil. Ministério da Saúde. Portaria no. 518, de 25 de março de 2004: estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Diário Oficial da União, no. 59, 26/03/2004, pp 266-270.
13. Rodrigues, V. V. L.; Di Bernardo, L. Tratamento de água de abastecimento por meio da tecnologia de filtração em múltiplas etapas – FIME. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro. Vol. 13, No 1, (2008), p. 109-116.

Recibido el 8 de Junio de 2010

En forma revisada el 21 de Noviembre de 2011