

Proyecto “EVALUACIÓN DE BIOFILTROS DE ARENA COMO SISTEMAS DE DESINFECCIÓN UNIFAMILIARES EN COMUNIDADES RURALES” HC1105.1 Informe final

COORDINACIÓN DE HIDRÁULICA
SUBCOORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA APROPIADA E INDUSTRIAL

Maricarmen Espinosa Bouchot
Sandra Vázquez Villanueva

México, 2011

F.CO.2.03.00

Contenido

1. Introducción	3
1.1 Descripción del biofiltro de arena y sus componentes	4
1.2 Funcionamiento del filtro de arena	6
2. Objetivos	9
3. Metodología	9
4. Resultados y discusión	10
4.1 Revisión del estado del arte	10
4.2 Instalación de prototipos de filtración	10
4.3 Preparación de materiales de filtración	26
4.4 Instalación del filtro	30
4.5 Evaluación de la eficiencia del filtro	34
5. Conclusiones	70
6. Referencias bibliográficas	70

Resumen Ejecutivo

Las áreas rurales de México generalmente no cuentan con sistemas de potabilización de agua y carecen de condiciones sanitarias adecuadas siendo, en el mejor de los casos, la perforación de pozos profundos el método común para extraer agua. La falta de potabilización de agua está asociada con enfermedades y muerte en población infantil por enfermedades de origen hídrico. La no disponibilidad de agua apta para consumo humano plantea la necesidad de buscar alternativas de solución ante esta problemática.

La filtración biológica representa una opción diferente a los procesos fisicoquímicos tradicionalmente empleados en la potabilización del agua. La biofiltración puede llevarse a cabo en medios porosos o en medios granulares como la arena o la antracita, entre otros. Más recientemente este proceso ha sido mejorado empleando medios fibrosos.

Este sistema tiene la particularidad de que purifica el agua en una sola operación mediante la sinergia de procesos físico-químicos y biológicos que en el lecho filtrante se desarrollan.

Entre las ventajas de este sistema se enumeran la reducción de microorganismos patógenos hasta en un 100%, ocupa poco espacio y es de fácil operación y mantenimiento además de que puede aplicarse a cualquier núcleo de población, independientemente del tamaño y por si fuera poco el sistema es mucho más económico que los sistemas convencionales de potabilización de agua.

Este estudio se enfoca a la evaluación de la biofiltración como alternativa de desinfección de agua en comunidades rurales. Para ello, se construyen biofiltros en dos configuraciones: rectangular y cilíndrica y de dos materiales: concreto y polietileno de alta densidad. Cabe mencionar que el biofiltro rectangular de concreto ya ha sido reportado su empleo por la literatura no así el de polietileno. El objetivo es buscar las mejores condiciones de operación con el fin posterior de poder ser transferidos a comunidades rurales.

En este trabajo se reportan a detalle, como parte de los resultados, las etapas de construcción de los biofiltros de concreto y de polietileno, ya que el diseño del prototipo es una parte importante para el éxito del proceso de filtración. Otra parte esencial del proceso es la puesta en marcha de los prototipos, en donde es necesario conceder al sistema el tiempo necesario para la formación de la capa biológica. Finalmente, se reportan los resultados referentes a las pruebas de laboratorio que se llevaron a cabo para monitorear la eficiencia de remoción de los contaminantes en especial de los microorganismos patógenos.

1. Introducción

La filtración es uno de los procesos de purificación del agua más antiguos usados por la humanidad. Los primeros filtros tuvieron carácter doméstico, y consistían en piedras porosas colocadas sobre tinajas donde se recogía el agua filtrada. En los siglos XVIII y XIX, en Francia, se difundieron los filtros de esponja, paño, lana y otros materiales. A partir de 1856, aparecen los filtros a presión: “Fonvielle” y “Souchon”. Los primeros contaban con lecho de esponjas marinas y piedra caliza, y los segundos estaban constituidos de lechos de paños [1, 2, 3, 4].

El principio básico de la filtración es la remoción de microorganismos y materia particulada (ver Figura 1). La ventaja de este proceso ante otras alternativas de desinfección se debe a que la filtración en ciertos casos no requiere el uso de algún tipo de químico para lograr la desinfección del agua, energía, ni mano de obra calificada que controle el proceso, lo que lo convierte en una alternativa muy económica para la desinfección del agua [4,5].

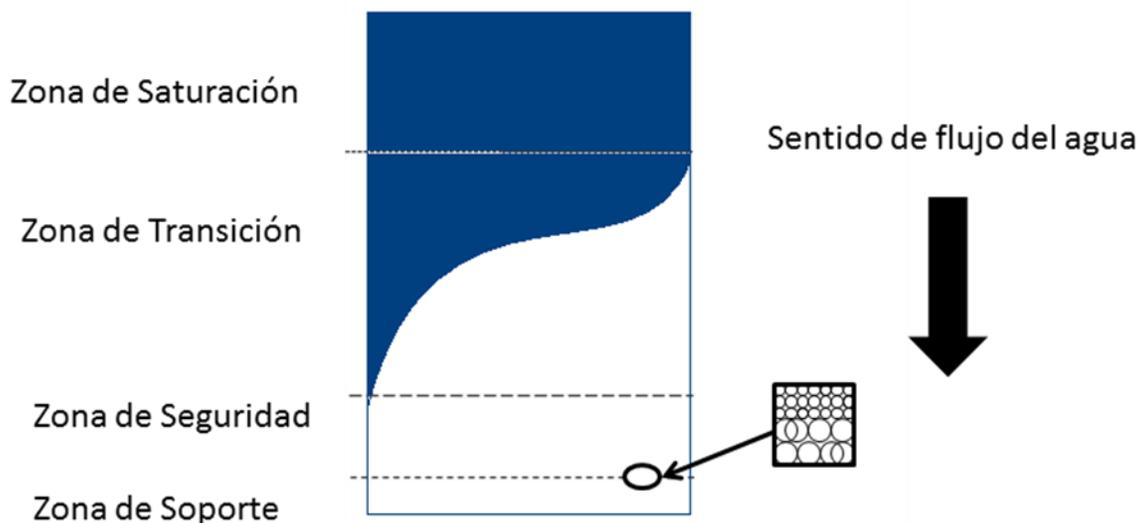


Figura 1. Representación gráfica simplificada del proceso de filtración

La filtración lenta con arena es un proceso de desinfección muy simple y efectivo, puesto que purifica el agua del mismo modo en que lo hace la naturaleza cuando filtra el agua de la lluvia o escorrentías superficiales para recargar pozos subterráneos o acuíferos. En los filtros lentos, el agua pasa a través de una capa de arena que la purifica debido a una capa microbiológica que se forma de modo natural sobre la superficie [1, 2, 3, 4, 5].

Los filtros lentos de arena, si no cuentan con un pre-tratamiento del agua cruda (sedimentación y coagulación) suelen colmatarse rápidamente ante valores muy elevados de turbiedad, y con esto es necesaria una limpieza más frecuente. En México, la turbiedad del agua cruda puede verse incrementada por las épocas lluviosas que arrastran sedimentos y los depositan en las fuentes de abastecimientos.

El componente principal de este filtro es la formación de una biocapa o "schmutzdecke", la cual mediante la combinación de procesos como atrapamiento mecánico, depredación, adsorción y muerte natural presentes en la biocapa y arena se extraen los patógenos y sólidos suspendidos [3, 4]. La biocapa ideal aumentará la eficiencia del tratamiento eliminando hasta un 99% de los patógenos. La selección y preparación de la arena de filtración es un paso importante para la eficiencia de remoción del filtro, debe venir de roca tritura preferentemente, ya que reduce la posibilidad que el material se encuentre contaminado.

El filtro de arena que se propone en el presente proyecto es una adaptación del filtro de arena lento tradicional. Es más pequeño y está adaptado para darle un uso continuo, lo cual lo hace muy apropiado para tenerlo en las casas. El contenedor del filtro puede estar hecho de concreto o plástico, el cual se llena con capas de arena y grava especialmente seleccionada y preparada para este fin [5].

En este contexto, el presente trabajo se ha desarrollado con la finalidad de evaluar sistemas de filtración de agua como alternativas para la desinfección de agua a nivel domiciliario, construidos en dos distintos materiales: concreto y polietileno de alta densidad (PEHD).

1.1 Descripción del biofiltro de arena y sus componentes

Cada prototipo de filtración se compone de tres capas de material granular; la capa ubicada en el fondo corresponde al material de soporte, se trata de grava con un tamaño de $\frac{1}{2}$ " (12 mm), inmediatamente y hacia arriba sigue la capa de separación, se trata también de grava la cual debe tener un tamaño de $\frac{1}{4}$ " (6 mm). Ambos tipos de grava deben provenir de roca triturada. Finalmente la capa superior o capa de filtración se trata de arena de 0.03" (0.7 mm) de tamaño (ver Figura 2).

La función de la capa de soporte es permitir el drenaje del agua proveniente de la capa superior de arena hacia la tubería de infiltración para la posterior salida del filtro. Esta capa debe tener la altura suficiente para cubrir y proteger a la tubería de infiltración, de manera que esta se encuentre en contacto con el fondo del filtro. La altura debe ser de al menos 5 cm, puede ser de un material igual o diferente al de la capa de filtración.

La capa de separación sostiene la arena de filtración funciona como barrera entre las capas de filtración (materiales finos) y la capa de drenaje, previniendo de esta forma que los finos lleguen hasta la tubería de infiltración y puedan salir del filtro. El espesor de esta capa es de aproximadamente 3 cm y el tamaño de los granos debe estar entre 6 mm y 3 mm y puede ser de un material diferente al de la capa de filtración.

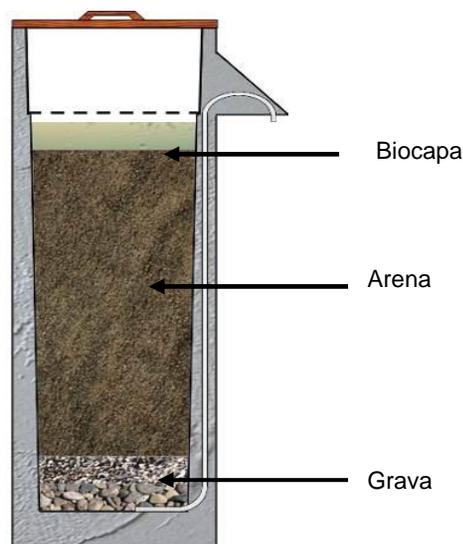


Figura 2. Capas del filtro de arena

La capa de filtración es la responsable de remover la mayor cantidad de carga contaminante debido a la estrechez entre los granos que la componen ya que contiene las partículas más finas de material granular. La capa de filtración también controla el caudal a la salida del filtro (ver Figura 3).

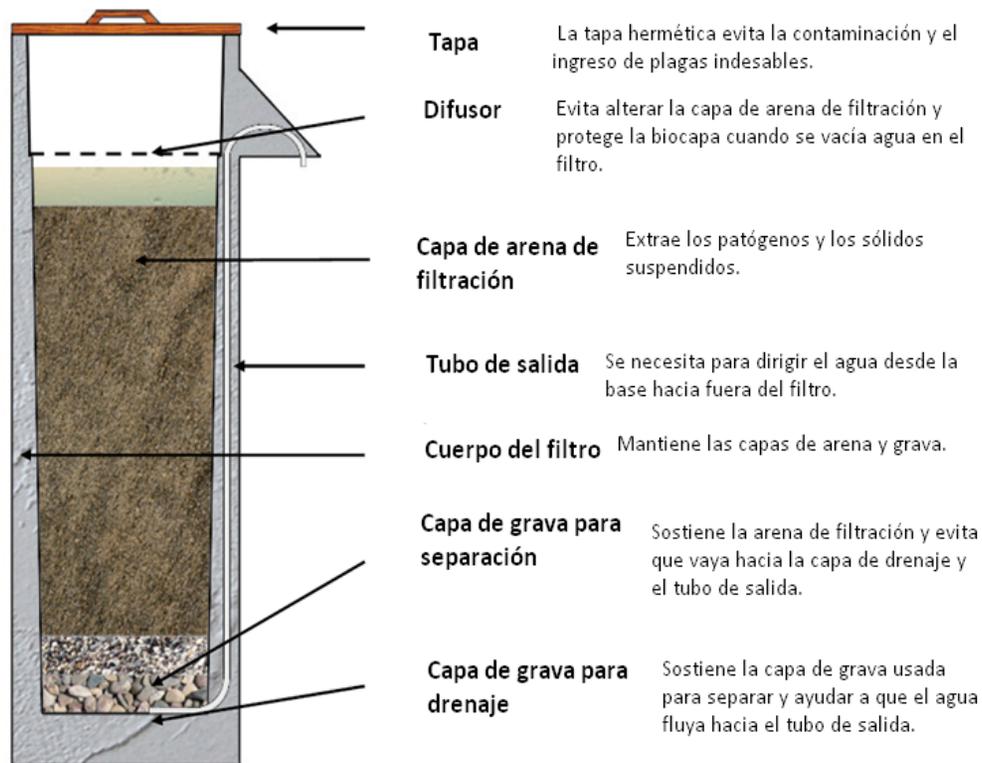


Figura 3. Componentes del filtro de arena

Los componentes que constituyen el filtro de arena son:

- 1) Una tapa hermética que evita la contaminación y el ingreso de plagas indeseables.
- 2) Un difusor que permite la entrada homogénea del agua en la capa superficial de arena, evitando la deformación de la capa de filtración así como el lavado o desintegración de la biocapa a la hora de vaciar el agua al filtro.
- 3) Un tubo de salida para recoger el agua filtrada

1.2 Funcionamiento del filtro de arena

El filtro de arena cuenta con cinco zonas bien definidas (ver Figura 4):

- 1. Zona de reservorio para el agua de entrada**
Es en donde se vierte el agua en el filtro.
- 2. Zona de agua estancada**

Esta agua mantiene la arena mojada a la vez que deja que el oxígeno pase a la biocapa.

3. Zona biológica

Se desarrolla en los 5-10 cm (2-4") superiores de la superficie de arena. La arena de filtración extrae los patógenos, las partículas suspendidas y otros contaminantes.

Al igual que en los filtros de arena lentos, se forma una capa biológica de microorganismos (también conocida como biocapa o *schmutzedecke*) en los 1-2 cm (0.4-0.8") superiores de la superficie de arena.

4. Zona no-biológica

Virtualmente no contiene microorganismos vivos, debido a la falta de nutrientes y oxígeno.

5. Zona de grava.

Mantiene la arena en su lugar y evita que el tubo de salida se tapone.

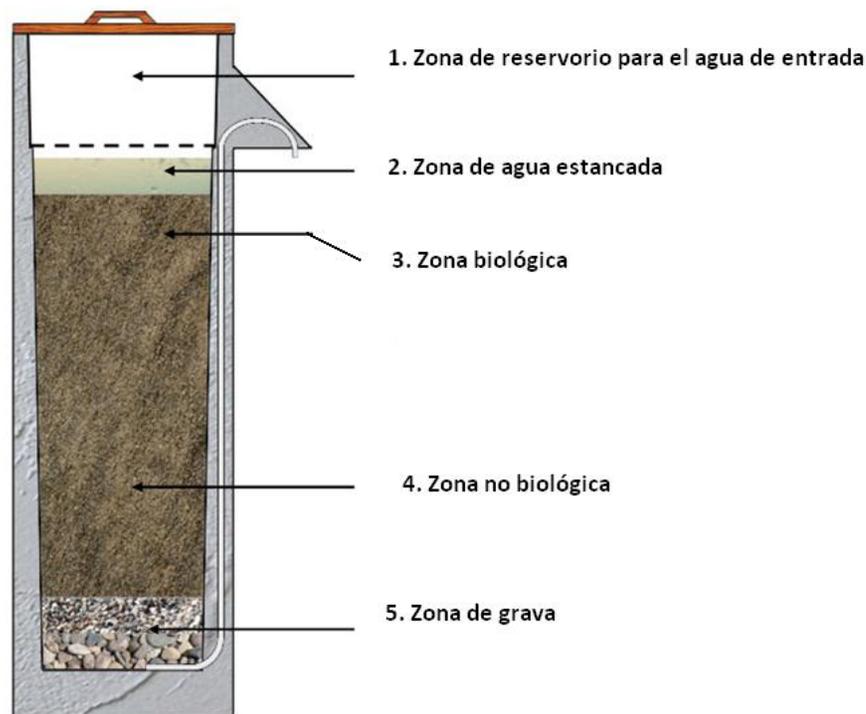
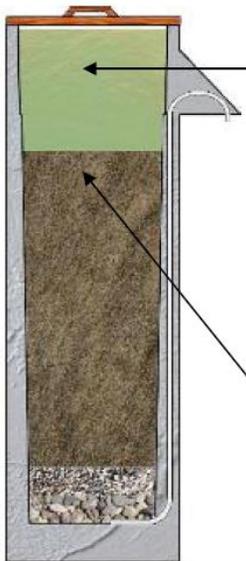


Figura 4. Zonas del filtro de arena

Los patógenos y los sólidos suspendidos se extraen a través de la combinación de procesos biológicos y químicos que se dan lugar en la biocapa y dentro de la capa de arena. Estos procesos incluyen: atrapamiento mecánico, depredación, adsorción y muerte natural.

- a. **Atrapamiento mecánico.** Los sólidos suspendidos y los patógenos quedan físicamente atrapados en los espacios existentes entre los granos de arena.
- b. **Depredación.** Los patógenos son consumidos por otros microorganismos que se encuentran en la biocapa.
- c. **Adsorción.** Los patógenos se adhieren entre ellos, a los sólidos suspendidos que se encuentran en el agua y a los granos de arena.
- d. **Muerte natural.** Los patógenos terminan su ciclo de vida o mueren porque no tienen suficiente alimento u oxígeno para su supervivencia.

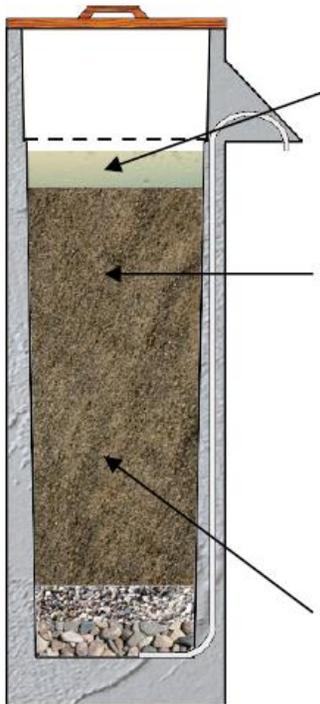
El agua contaminada se coloca en el reservorio de manera constante. El agua pasa lentamente a través del difusor y se filtra hacia abajo a través de la biocapa, la arena y la grava. Luego, el agua tratada fluye naturalmente hacia el tubo de salida.



Durante el proceso

El agua que se encuentra en la parte de arriba del filtro empuja el agua a través del difusor y el filtro (también se le denomina carga hidráulica). El nivel de agua en el reservorio va bajando a medida que el agua va fluyendo uniformemente a través de la arena. El caudal irá disminuyendo con el tiempo, ya que habrá menos presión que fuerce al agua a que vaya a través del filtro.

El agua que ingresa tiene oxígeno disuelto, nutrientes y contaminantes, proporcionando así el oxígeno que necesitan los microorganismos existentes en la biocapa para sobrevivir. Las partículas más grandes y los patógenos quedan atrapados en la parte de arriba de la arena, bloqueando parcialmente los espacios porosos que existen entre los granos de arena. Esto también hace que el caudal disminuya.



Periodo de pausa

Finalmente el agua deja de fluir. La capa de agua estancada estará a la misma altura que el extremo del tubo de salida. Un poco de oxígeno del aire se difunde a través del agua estancada hacia la biocapa.

El periodo de pausa da tiempo para que los microorganismos de la biocapa consuman los patógenos y los nutrientes existentes en el agua. El caudal a través del filtro va restituyéndose a medida que los patógenos y nutrientes se van consumiendo. Si el periodo de pausa es muy prologado, la biocapa consumirá todos los patógenos y nutrientes, para finalmente desaparecer, reduciendo la eficiencia de eliminación del filtro cuando se vuelva a utilizar. El periodo de pausa debe ser de mínimo 1 hora después de que el agua ha dejado de fluir hasta un máximo de 48 horas.

Los patógenos que pasan a la zona no biológica se extinguen debido a la falta de nutrientes y oxígeno.

2. Objetivos

Evaluar la eficiencia de dos sistemas de filtración para depuración de agua, un filtro de arena construido en cemento, y un filtro de arena construido en polietileno de alta densidad (PHDE). La finalidad es determinar las condiciones ideales como sistema de desinfección a través de la evaluación de diferentes condiciones de operación

3. Metodología

La metodología que se empleó para llevar a buen término el presente proyecto es la siguiente:

- 1) Revisión del estado del arte de la aplicación de filtros biológicos de arena para la desinfección de agua para consumo humano
- 2) Instalación de los prototipos

- 3) Evaluación de la eficiencia de remoción de microorganismos patógenos bajo distintas condiciones de operación
- 4) Redacción e impresión de informe final

4. Resultados y discusión

4.1 Revisión del estado del arte

La revisión del estado del arte incluyó bibliografía especializada y formal respecto a la construcción, instalación, operación, desempeño y mantenimiento de filtros de arena empleados alrededor del mundo para consumo humano.

4.2 Instalación de prototipos de filtración

La etapa de instalación de los prototipos empleados en este estudio incluye una etapa de construcción y posteriormente la instalación. Cabe recordar que los prototipos fueron construidos en dos materiales diferentes: concreto y polietileno de alta densidad.

Durante la etapa de construcción del prototipo de concreto se fabricó el cuerpo del con la ayuda de un molde metálico (ver Anexo I). La preparación de la mezcla con cemento, arena, granzón y agua buscando una consistencia adecuada (sin exceso o falta de agua) se vertió en el molde de fierro. Posteriormente se esperó 24 horas para su desmolde y siete días más para el fraguado (ver Foto 1).



Foto 1. Fase de construcción

Igualmente se fabricaron prototipos de polietileno de alta densidad (PEHD) en dos formas geométricas; cuadrados en placa de 3/8" de espesor, con un tubo de salida de 1/2" de diámetro en polietileno de alta densidad; cilíndricos de 10" de diámetro con tubo de salida en polietileno de alta densidad (ver Foto 2). Para la elaboración de los prototipos de PEHD se cortaron las placas para después ser termofusionadas, en el caso de los de placa. Para el caso de los prototipos tubulares, simplemente se corta el tubo del tamaño requerido.



Foto 2. Prototipo en placa de PEAD (izquierda) y tubo de PEAD (derecha)

A continuación se describe a detalle el proceso de construcción de los prototipos de concreto.

4.2.1 Construcción del prototipo de concreto

4.2.1.1 Construcción caja del filtro

4.2.1.1.1 Tubo de salida de plástico

Herramientas

- Cutter uso rudo

Materiales

- Manguera transparente 1/4" (6-7 mm aproximadamente) de diámetro interno y 3/8" (9mm) de diámetro externo.

Procedimiento

1. Si la manguera viene enrollada, póngala en una superficie plana donde pueda extenderla.

2. Mida y corte aproximadamente una longitud de 105 cm de manguera transparente (ver Foto 3).



Foto 3. Con frecuencia el vinilo es más suave y no necesita calentarse

Recomendaciones: No utilice manguera con un diámetro interno menor a $\frac{1}{4}$ " ya que no será lo suficientemente ancha para ofrecer un buen caudal.

No utilice manguera con un diámetro exterior mayor a $\frac{3}{8}$ " porque podría sobresalir de las paredes del cuerpo del filtro.

4.2.1.1.2 Preparación del molde

Herramientas

- Espátula
- Lija para metal
- Nivel
- 2 brochas para aplicar manteca
- Pinzas
- 2 Llaves combinada española-matraca de 13mm (depende tamaño de los tornillos)
- Cinta para ductos (cinta adhesiva gris impermeable)
- 2 recipientes pequeños
- Estopa

Materiales

- $\frac{1}{2}$ Kg manteca vegetal
- Pedazos de madera de varios tamaños
- 1 m de malla para gallinero de 1"

Procedimiento

1. Limpie el molde de acero con la lija y espátula para retirar cualquier residuo de concreto que haya quedado adherido a la superficie, dejando todo exceso de concreto que se haya formado en las juntas ya que funcionará como un sello (ver Foto 4).



Foto 4. Limpieza del molde

2. Con la manteca vegetal y con ayuda de una brocha cubra ligeramente todas las superficies que estarán en contacto con el concreto (ver Foto 5). NO coloque manteca en la parte superior del molde interior, ya que aquí se va a pegar la manguera transparente.



Foto 5. Engrasado del molde

3. Ensamble el molde boca abajo, colocando una de las partes exteriores del molde en la parte interior del mismo. Debe haber una marca en el molde interior que indique en qué lado va el panel situado en el orificio (ver Foto 6).



Foto 6. Ensamblado del molde

4. Mida y corte aproximadamente una longitud de 1 m de malla, dóblela en forma de cuadrado colocándola alrededor del molde interior. Coloque un pequeño tapón de estopa en la punta de la manguera transparente y péguela con la cinta gris hasta la mitad del molde interior (ver Foto 7).



Foto 7. Puesta de la malla de soporte

5. Engrase con la manteca la parte superior del molde interior, teniendo cuidado en asegurarse de que la cinta adhesiva gris aún está pegajosa. Después en la parte superior del molde interior coloque un trozo de malla que lo cubra (ver Foto 8).



Foto 8. Engrasado de parte superior

6. Coloque el panel que contiene el orificio de salida de manguera, coloque la placa que cubre el orificio de salida sobre el orificio de salida del molde, con la manguera saliendo por el hueco (ver Foto 9).



Foto 9. Puesta de placa y tornillo de salida

7. Ajuste el tornillo para mantener dicha placa en su lugar (ver Foto 9).

8. Inserte los tornillos y enrósquelos sin ajustarlos, lo suficiente como para asegurarse que el borde superior del molde está lo más cuadrado posible (ver Figura 10).
9. Ajuste todos los tornillos con la llave combinada (ver Figura 10).
10. Asegure la manguera a través de la placa que cubre el orificio de salida pegándola con la cinta en su lugar. Tenga cuidado de no tirar mucho de la manguera, pues podría doblarla, restringiendo el flujo del agua. Coloque la cinta adhesiva sobre la abertura del tubo para evitar que se bloquee con el concreto (ver Figura 10).
11. Use un nivel para verificar el nivel del molde.



Foto 10. Ajuste de tornillos

4.2.1.1.3 Vertido del filtro

Herramientas

- Contenedores para la arena, grava y cemento
- Vara de metal de 1.5 m
- 2 Mazos de hule
- Cuchara de albañil
- Pala

Materiales

- 9.5 L Granzón
- 47.5 L Arena
- 14 L Cemento tipo portland
- 9.5 L Agua

Recomendaciones: NO vaya a utilizar cemento pre-mezclado con arena y grava. El cemento debe ser fresco y no debe estar expuesto a la humedad. Si hubiera grumos en el

cemento, probablemente es porque ha estado mojado y por lo tanto no debe utilizarlo. NO se puede romper los grumos para luego usar el cemento. Las cantidades de arena, grava, cemento y agua pueden variar un poco dependiendo del clima de la región.

Procedimiento

1. Transfiera el molde de acero al lugar donde se quedará el filtro. Recuerde que el filtro se quedará en este lugar entre 6 a 24 horas (puede ser más tiempo dependiendo las condiciones climáticas del lugar) para que el concreto se seque y endurezca.
2. Mida el cemento, arena y grava. Si mide con cuidado, se asegurará de tener las proporciones correctas.
3. Coloque los materiales uno sobre otro a manera de capas sobre una superficie limpia y plana, comenzando por la arena, cemento y grava.
4. Mezcle los ingredientes con una pala. Haga un pequeño orificio en el medio de la mezcla seca con la pala. Vierta la mitad del agua en el hueco y mezcle muy bien con todos los ingredientes secos. Para hacerlo, traiga el material seco de los bordes hacia el agua.
5. Cuando haya terminado de mezclar, repita el paso 4 y siga añadiendo agua hasta que la mezcla alcance una consistencia adecuada, es decir, que no sea seca y muy aguada.
6. Pruebe la mezcla. Usted podrá determinar si el concreto tiene muy poca o mucha agua utilizando la parte de abajo de la pala para hacer surcos en el concreto. Si está muy seca no podrá hacer surcos muy marcados, si tiene mucha agua los surcos no mantendrán su forma. Si la mezcla tiene la cantidad apropiada de agua, los surcos mantendrán su forma después de trazados (ver Foto 11).



Foto 11. Preparación de la mezcla

7. Para preparar la lechada mezcle un kilo de cemento con 0.100 L de agua.
8. Coloque la lechada en el molde procurando que se deslice en el interior del filtro.
9. Enseguida coloque el concreto en el molde utilizando un contenedor (ver Foto 12).



Foto 12. Vertido de la lechada (izquierda) y la mezcla

10. Mientras va añadiendo las capas de concreto en el molde, golpee el molde con el mazo desde afuera, utilice la varilla de metal para asegurar que el concreto llene toda el área sin formar ningún vacío. La vibración ayuda a eliminar las burbujas de aire que haya en el concreto (ver Foto 13).



Foto 13. Llenado del molde

Recomendaciones: Para determinar si la superficie de salida está llena de concreto, al momento de golpear con el mazo observará que saldrá agua. Asegúrese de golpear suficiente la superficie del molde para evitar que se formen burbujas de aire que pueden causar fracturas o roturas al prototipo final.

11. Mientras va llenando el molde revise que la manguera no se haya movido.
12. Al verter la última capa de concreto que corresponde a la base del filtro no olvide golpear la superficie para eliminar las burbujas y evitar fracturas en la base del filtro. Retire el exceso de concreto y utilice la cuchara para hacer una superficie plana. Este será el fondo el filtro.
13. Después de 1 a 2 horas el nivel de concreto en el molde ha bajado aproximadamente de 5 a 6 mm para lo cual se agrega una capa más de concreto y se usa la cuchara para lograr una superficie plana (ver Foto 14).



Foto 14. Llenado del molde

4.2.1.1.4 Desmoldado del prototipo

Herramientas

- 2 Llaves combinadas española-matraca de 13 mm (el tamaño depende de los tornillos a usar)
- Martillo
- Tubo metálico 1m de longitud con diámetro de $\frac{3}{4}$ ".

Materiales

- 2 Bloques de madera 40 cm
- 2 Bloques pequeños de madera

Procedimiento

1. Espere a que el concreto haya endurecido. La espera puede tomar de 6 a 24 horas dependiendo de la consistencia de la mezcla del concreto y de las condiciones climáticas de la zona.
2. Retire la placa de la superficie de salida.
3. De vuelta al molde completamente utilizando dos bloques de madera para apoyar el peso del mismo mientras se va dando vuelta (ver Foto 15).



Foto 15. Volteado del prototipo

4. Afloje los tornillos y retire los que quedan arriba del molde. Todavía no desatornille ninguno de los tornillos de los lados (ver Foto 16).



Foto 16. Aflojado de tornillos

5. Golpee la parte superior del molde con un mazo para soltar el molde de concreto.
6. Coloque el extractor en la parte superior del molde. Cada pierna del extractor debe encajar en cada ranura que le corresponde en el molde interno.
7. Ajuste el tornillo del centro hasta que esté bien enroscado en la tuerca del molde.
8. Con ayuda de un tubo gire la varilla, tirando del molde interior hacia arriba hasta que se suelte.
9. Siga girando la varilla hasta sacar el molde interior completamente (ver Foto 17).



Foto 17. Desmoldado del prototipo

Recomendaciones: Si el molde comienza a doblarse, deténgase inmediatamente. Revise que las tuercas y los tornillos del molde interno se hayan sacado bien. Si el molde interno todavía está encajado, deshaga todas las tuercas y los tornillos, saque los paneles exteriores y rompa el concreto del molde interior. No dañe el molde solamente por un filtro.

10. Retire el molde interior cuidadosamente y colóquelo en un lugar seguro.
11. Retire el extractor.
12. Retire los tornillos que faltan y el panel frontal con cuidado para no dañar la nariz.
13. Retire el panel de tres lados.
14. Limpie el molde y aplique la manteca (ver Foto 18).
15. Retire la cinta adherida al molde interior.
16. Revise el interior del tubo para asegurarse que no haya desperdicio de concreto.



Foto 18. Limpieza del molde

17. Llene el filtro con agua. El caudal debe ser aproximadamente de 1 L/minuto. Determine cuál es el nivel de agua dentro del filtro una vez que el agua haya dejado de salir del tubo (ver Foto 19).

18. Mida la manguera de salida. Debe tener un largo de entre 1.5 y 2.5 cm. Si estuviera muy larga córtela hasta obtener la longitud deseada.



Foto 19. Llenado del molde

Recomendaciones: El nivel del agua del filtro se determina por el extremo del tubo de salida. Debido al efecto de sifonamiento, el agua dejará de fluir una vez que el agua estancada esté al mismo nivel que el extremo de la manguera de salida.

19. Revise que el filtro no tenga fracturas o defectos.

20. Tape la manguera de salida y llene el filtro con agua completamente. Manténgalo lleno de cinco a siete días, mientras el concreto termina de endurecer. No mueva el filtro de ninguna manera durante ese tiempo.

21. Una vez que el concreto haya fraguado, lave el filtro con desengrasante para trastos y cepillo. Enjuague con agua limpia.

22. Guarde el filtro hasta que esté listo para ser utilizado. Cúbralo para evitar que se ensucie.

4.2.1.2 Construcción del difusor en placa galvanizada

Herramientas

- Flexómetro
- Cortador de metal
- Guantes
- Martillo
- Marcador o lápiz
- Clavos de $\frac{1}{8}$ " de diámetro

Materiales

- Hoja de acero galvanizado de calibre 30 o similar

Procedimiento

1. Mida el ancho de la parte interna del reservorio en ambas direcciones por si el filtro no es un cuadrado perfecto.
2. Corte un pedazo de una hoja de metal, asegurándose que sea 10 cm más ancho que el reservorio en ambas direcciones.
3. Mida y trace una línea a 5 cm del borde de cada lado.
4. Mida y trace líneas formando una cuadrícula, a intervalos de 2.5 x 2.5 cm dentro del cuadrado que se formó en el paso anterior.
5. En cada intersección de la hoja cuadrículada, haga un agujero de $\frac{1}{8}$ " de diámetro a través de la hoja de metal utilizando un clavo de $\frac{1}{8}$ " de diámetro y un martillo. Un buen difusor solo tiene 100 perforaciones (ver Foto 20).



Foto 20. Construcción de difusor

4.2.1.3 Construcción de la tapa metálica

Herramientas

- Flexómetro
- Cortador de metal
- Guantes

Materiales

- Válvula de polietileno
- Hoja de acero galvanizado

Especificaciones

- La trapa debe cubrir completamente el reservorio.
- Debe ser fácil de sacar y poner en el filtro.

Procedimiento

1. Mida el ancho o el diámetro externo de la parte superior del filtro.
2. Corte el metal o la placa de polietileno con las dimensiones obtenidas de tal manera que cubra completamente el filtro.
3. En un extremo de la placa coloque la válvula de entrada para suministro del agua, haciendo una perforación considerando el diámetro externo del tubo de salida de la válvula.
4. En el centro coloque una manija para la manipulación rápida y fácil de la tapa.

4.3 Preparación de materiales de filtración

4.3.1 Tamizado de arena y grava

Herramientas

- Tamiz de 12 mm (1/2 ”)
- Tamiz de 6 mm (1/4 ”)
- Tamiz de 1 mm (tela mosquitera)
- Tamiz malla 24
- Pala
- Cucharón
- Carretilla
- Máscara de protección facial
- Lentes
- Guantes
- Lonas
- Sacos
- Techo o edificación para proteger la arena

Materiales

- Arena sílica malla 20
- Grava sílica de 1/4” (6 mm)
- Grava sílica de 1/2” (12 mm)

Procedimiento

1. Tamizar la grava de 1/2” a través del tamiz de 12 mm. Desechar el material que no pasa por este tamiz ya que es demasiado grande para utilizarse.
2. Tamizar el material que pasa a través del tamiz de 12 mm usando un tamiz de 6 mm. Almacenar el material que no pasa por el tamiz de 6 mm se utilizará como grava de drenaje.
3. Tamizar el material que pasa a través del tamiz de 6 mm usando el tamiz de 1mm, se almacena la grava que no pasa por el tamiz de 1 mm para utilizarse como grava de separación. La arena que pasa por el tamiz puede utilizarse como arena de filtración previamente tamizada con la malla 24 (ver Foto 21).



Foto 21. Tamizado de grava

4. Repita el mismo procedimiento para la grava de $\frac{1}{4}$ ".
5. Antes de tamizar la arena asegúrese que el material este completamente seco, la arena húmeda obstruye la malla haciendo que el tamizado sea más difícil.
6. Tamizar la arena malla 20 con un tamiz malla 24, la arena que pase a través del tamiz deberá almacenarse y el material que no pase no debe utilizarse ya que es demasiado grande para usarse como arena de filtración.
7. Quite todo tipo de madera, hierba o plástico que se encuentre en la arena o grava mientras se esté tamizando.
8. No coloque demasiado material en el tamiz pues el exceso de peso puede rasgarlo o romperlo.
9. Mientras se tamiza asegúrese de separar el material tamizado resguardándolo bajo techo.

4.3.2 Lavado de grava

Herramientas

- Cubetas de 15 a 20 L
- Cucharón
- Guantes
- Lona

Materiales

- Agua limpia
- Grava de $\frac{1}{4}$ " (6 mm)
- Grava de $\frac{1}{2}$ " (12 mm)

Procedimiento

1. Coloque aproximadamente de 2 a 3 litros de grava de $\frac{1}{2}$ " en la cubeta y ponga el doble de agua.
2. Utilizando la mano y con movimientos envolventes mueva y remueva la grava hasta que el agua salga sucia.
3. Repita el proceso hasta que el agua de la cubeta salga limpia.
4. Coloque la grava sobre una lona o superficie de concreto y déjela secar al sol. Este paso es importante ya que el sol ayudará a desinfectar la grava (ver Foto 22).
5. Guárdela en sacos en un lugar seco.
6. Repita el mismo procedimiento para la grava de $\frac{1}{4}$ ".



Foto 22. Lavado y secado de grava

4.3.3 Lavado de arena de filtración

Herramientas

- Cubetas de 15 a 20 L
- Cucharón
- Guantes
- Lona
- Contenedor transparente de 250 mL.

Materiales

- Agua limpia
- Arena de 0.7 mm

Procedimiento

1. Coloque aproximadamente de 3 a 4 L de arena en la cubeta, agregue el doble de agua.
2. Mezcle la arena y el agua con su mano con movimientos envolventes y rápidos veinte veces, asegurándose que sus dedos toquen el fondo.
3. Tire el agua sucia.
4. No lave la arena hasta que agua salga completamente limpia, para ello es necesario aplicar la prueba del frasco la cual consiste en:
 - a. Mientras va lavando cuente las veces que vacía el agua del contenedor.
 - b. Para estimar si la arena se ha lavado adecuadamente, coloque un poco de arena en un contenedor transparente con igual cantidad de agua limpia.
 - c. Coloque la tapa y agite.
 - d. Si mira por un lado del frasco unos 3 a 4 segundos después de haber dejado de agitar y puede ver la superficie de arena, significa que la arena se ha lavado lo suficiente.
 - e. Las veces que lava la arena puede variar dependiendo de la fuente de donde provenga el material o el lote del mismo (ver Foto 23).



Insuficiente



Bien



Demasiado

Foto 23. Prueba para lavado de arena

5. Coloque la arena sobre una lona o superficie de concreto y déjela secar al sol. Este paso es importante ya que el sol ayudará a desinfectar la arena.
6. Una vez seca guárdela en sacos y en un lugar seco.

4.4 Instalación del filtro

4.4.1 Llenado del filtro

Herramientas

- Flexómetro
- Un palo 100 x 2.5 x 2.5 cm

Materiales

- Aproximadamente 3 L de grava lavada de ½" (capa drenaje)
- Aproximadamente 3 ¼ L de grava lavada de ¼" (capa separación)
- Aproximadamente 30 L de arena lavada de 0.7 mm
- Agua

Procedimiento

1. Asegúrese que el tubo de salida que se encuentra en la parte de abajo del filtro este limpio y libre de obstrucciones (que no esté taponado con concreto o desperdicio).
2. Asegúrese que la parte interior del filtro esté limpia (libre de aceite, polvo, suciedad).
3. Coloque un palo dentro del filtro de tal manera que toque el fondo del filtro.
4. Dibuje una línea horizontal en el palo, a la altura del borde superior del filtro.
5. Mida y marque una línea de 5 cm debajo de la primera línea.
6. Llene el filtro con agua hasta la mitad.
7. Añada aproximadamente 5 cm de grava de ½" al filtro, para formar la capa de drenaje.
8. Nivele la grava y utilice el palo para medir cuanta grava se ha colocado. Coloque el fondo del palo en la grava. Cuando la segunda línea del palo esté a la misma altura que el tope del filtro, significa que se ha añadido suficiente grava. Asegúrese que la grava cubra el orificio de drenaje en el filtro
9. Mida y marque una tercera línea, 5 cm debajo de la segunda línea.
10. Añada aproximadamente 5 cm de grava de ¼" al filtro para formar la capa de separación.

11. Utilice nuevamente el palo para verificar que se haya colocado la cantidad suficiente de grava.
12. Vacíe rápidamente aproximadamente 30 L de arena lavada en el filtro asegurándose de que siempre haya agua sobre la superficie de la arena.

Recomendaciones: Siempre se debe poner la arena después de que se ha puesto el agua, para evitar que se formen bolsas de aire dentro de la arena. El añadir la arena rápidamente ayuda a mantener la buena distribución de las partículas de diferentes tamaños, evitará que se asienten en las capas.

13. Llene el filtro con agua y déjela correr hasta que ya no haya agua saliendo del tubo de salida. Cuando esto pasa, significa que el nivel de agua está parejo.
14. Nivele la arena y luego mida la profundidad del agua sobre la cama de arena.
15. Si la profundidad del agua es menor a 3 cm saque arena hasta que la profundidad sea de 5 cm (teniendo el nivel de la superficie de la arena y el nivel de agua parejos).
16. Si la profundidad del agua es mayor a 5 cm añada más arena y repita los pasos 13 a 17. Continúe hasta que la profundidad del agua sea de 5 cm.
17. Revuelva la capa superior de la arena y tire el agua lodosa para evitar que la arena se bloquee.
18. Nivele la superficie de la arena de tal manera que esté lo más lisa posible.

4.4.2 Enjuagado del filtro

Herramientas

- Difusor
- Contenedor de almacenamiento

Materiales

- 40- 80 L de agua

Procedimiento

1. Coloque el difusor en el filtro. El difusor no debe tocar el agua estancada durante el periodo de pausa ya que reducirá en gran medida la cantidad de oxígeno presente en la capa de agua estancada afectando la supervivencia de la biocapa.

2. Coloque el contenedor de almacenamiento debajo del tubo de salida. El agua que caiga en el contenedor puede volver a utilizarse.
3. Vacíe el agua más limpia que tenga disponible en el filtro (la turbidez de esta agua debe ser menor a 50 NTU).
4. Observe el agua que sale del tubo.
5. Continúe añadiendo agua al filtro hasta que salga limpia. Es posible que este paso pueda requerir entre 40 y 80 litros de agua. Si el agua filtrada no sale limpia después de 100L significa que la grava del filtro estaba muy sucia, si este es el caso tendrá que volver a instalar el filtro con agua limpia.
6. Vea cual es el nivel de agua después de que el flujo se ha detenido. El nivel del agua debe estar ligeramente debajo del difusor.

4.4.3 Prueba del caudal

Herramientas

- Cronómetro
- Probeta 1 L graduada
- Contenedor para almacenar

Materiales

- 12 L de agua

Procedimiento

1. Llene el reservorio del filtro con agua hasta el tope.
2. Coloque la probeta debajo del tubo de salida para recolectar el agua filtrada.
3. Mida el tiempo que toma en llenar la probeta hasta la marca de 1 L.
4. Si la velocidad de flujo es muy lenta, es decir que toma más de 3 minutos llenar un litro de la taza medidora:
 - El filtro va a funcionar, pero se puede bloquear más rápido, necesitando mantenimiento más frecuente.
 - Si toma demasiado tiempo llenar un balde de agua, el usuario puede impacientarse y decidir tomar el agua que no está filtrada.

- El caudal puede mejorarse revolviendo la capa superior de la arena y sacando el agua sucia.
- Si con unas cuantas removidas no se mejora el caudal, significa que la arena es muy fina o está muy sucia. En este caso, la arena no ha sido lavada lo suficiente y por lo tanto necesita reemplazarse con otro lote.

5. Si el caudal es mayor a 0.4 L/min, significa que es posible que el filtro no esté funcionando bien. En este caso, la arena se ha lavado mucho y necesita ser reemplazada. Una opción menos preferible es la de hacer correr una considerable cantidad de agua a través del filtro hasta que el caudal disminuya (debido a la captura de los sólidos más finos y al crecimiento más rápido de la biocapa).

4.4.4 Desinfección el tubo

Herramientas

- 1m de manguera $\frac{3}{8}$ " de diámetro
- Agarradera para manguera
- Embudo

Materiales

- 1 cucharadita de solución de cloro
- 12 L de agua

Procedimiento

1. Coloque la manguera en el tubo de salida.
2. Ajuste bien la manguera con la agarradera.
3. Coloque el embudo en el otro extremo de la manguera.
4. Mantenga el embudo a una altura más alta que la parte más alta del filtro, y vacíe 1 litro de solución de cloro en el embudo.
5. Manténgalo en la misma posición por dos minutos.
6. Retire la manguera y drene la solución de cloro.
7. Limpie la parte de afuera del tubo con un trapo limpio empapado en cloro.
8. Añada 12 litros de agua en la parte superior del filtro y espere 30 minutos. Luego enjuague para sacar el cloro. Dígale al usuario que no utilice esta agua para ingerir o cocinar.

9. Coloque la tapa del filtro.

4.5 Evaluación de la eficiencia del filtro

4.5.1 Filtros de concreto

4.5.1.1 Resultados parámetros físicos

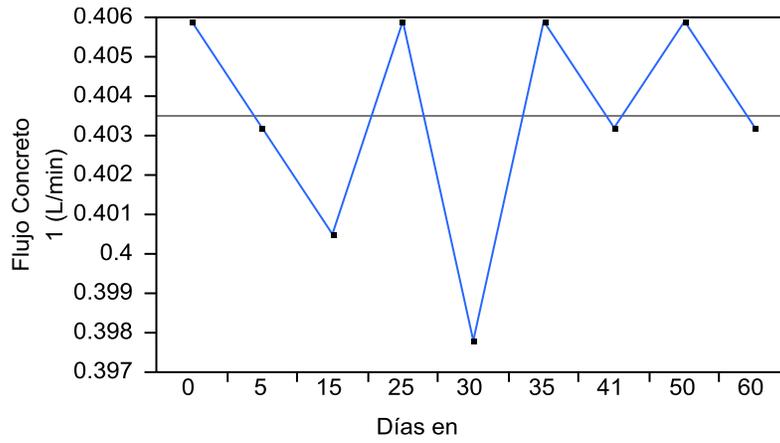
4.5.1.1.1 Flujo

Se realizó la medición mediante el uso de un cronómetro marca Traceable modelo No. 1045 24 horas y una probeta graduada en plástico con capacidad de 1 L marca Vitlab. Los resultados obtenidos se presentan resumidos en la tabla 1.

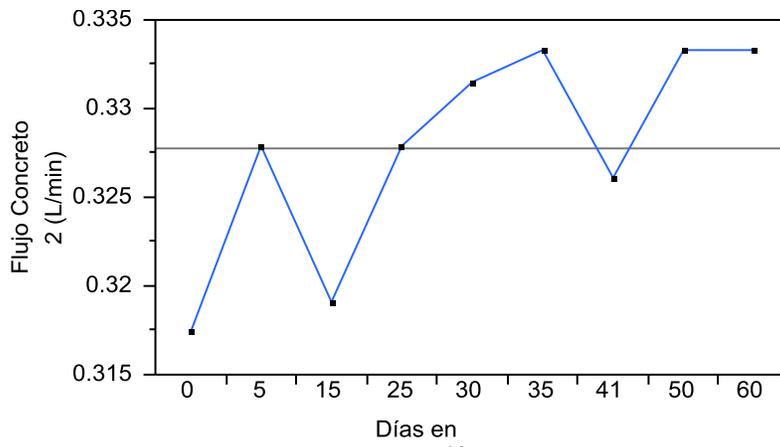
Tabla 1. Caudal filtro concreto

Fecha	Caudal (L/min)		
	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3
16/12/2011	0.4144	0.3706	0.3683
03/01/2012	0.3706	0.3174	0.2699
04/01/2012	0.3926	0.3208	0.2724
10/01/2012	0.3875	0.3243	0.2828
16/01/2012	0.4059	0.3174	0.2827
23/01/2012	0.4032	0.3279	0.2651
02/02/2012	0.4005	0.3191	0.2749
10/02/2012	0.4059	0.3279	0.2841
17/02/2012	0.3978	0.3315	0.2827
22/02/2012	0.4059	0.3333	0.2855
28/02/2012	0.4032	0.3261	0.2855
08/03/2012	0.4059	0.3333	0.2868
20/03/2012	0.4032	0.3333	0.2855

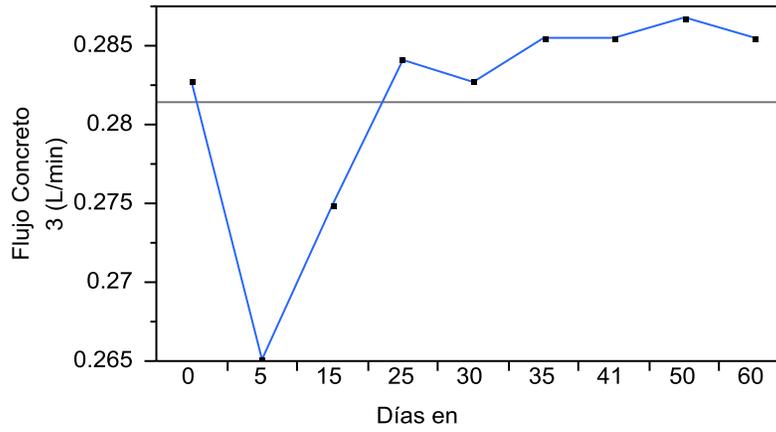
Durante los 60 días de operación no se observó una disminución del caudal, lo cual se puede apreciar más claro en las gráficas 1 a 3.



Gráfica 1. Flujo filtro concreto 1



Gráfica 2. Flujo filtro concreto 2



Gráfica 3. Flujo filtro concreto 3

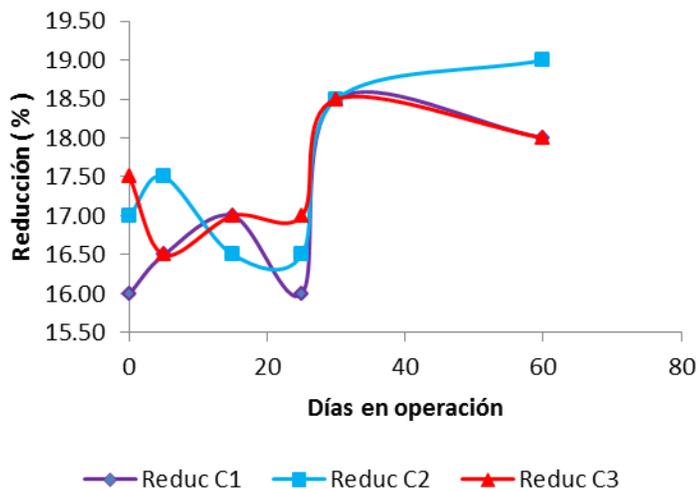
Cada uno de los flujos con las siguientes medias geométricas (Tabla 2) indicadas en las gráficas 1 a 3 con una línea horizontal:

Tabla 2. Medias geométricas de los filtros concreto

	Media geométrica
Filtro concreto 1	0.4035
Filtro concreto 2	0.3277
Filtro concreto 3	0.2814

4.5.1.1.2 Temperatura

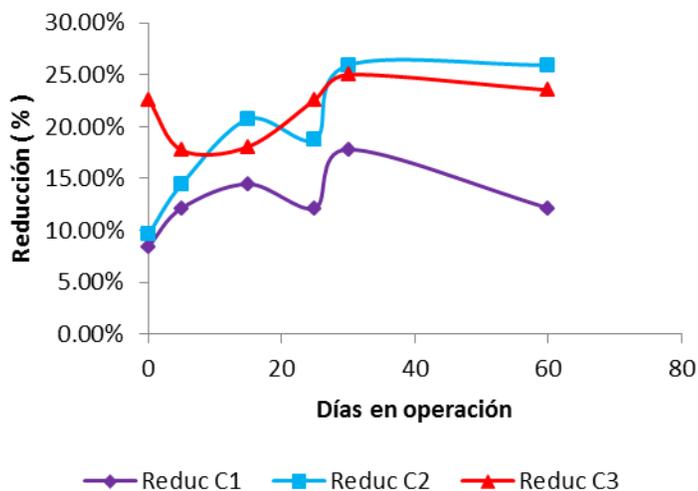
Se utilizó un termómetro marca Lauka modelo 350 con una graduación de -20 °C a 110°C. Durante los 60 días de operación se observa que hay una disminución del 12.73% de la temperatura del agua de entrada con respecto al agua de salida del filtro concreto 1, el 11.72 % para el filtro concreto 2 y el 11.02 % para el filtro concreto 3 (Gráfica 4).



Gráfica 4. Reducción de temperatura del agua de salida en los filtros de concreto

4.5.1.1.3 pH

La medición de pH se realizó con el equipo multiparamétrico con COD marca HANNA Instruments modelo HI83099. Para el filtro concreto 1 se obtuvo un porcentaje de reducción de 12.87%, filtro concreto 2 de 19.24% y el filtro concreto 3 de 21.59% (Gráfica 5).

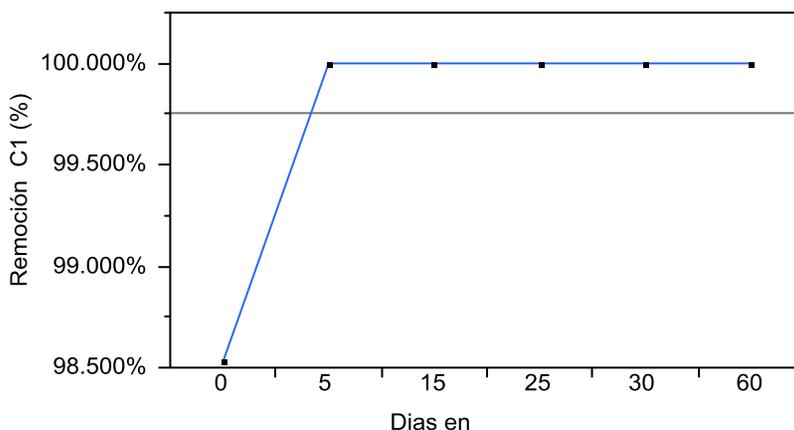


Gráfica 5. Reducción de pH del agua de salida de los filtros de concreto

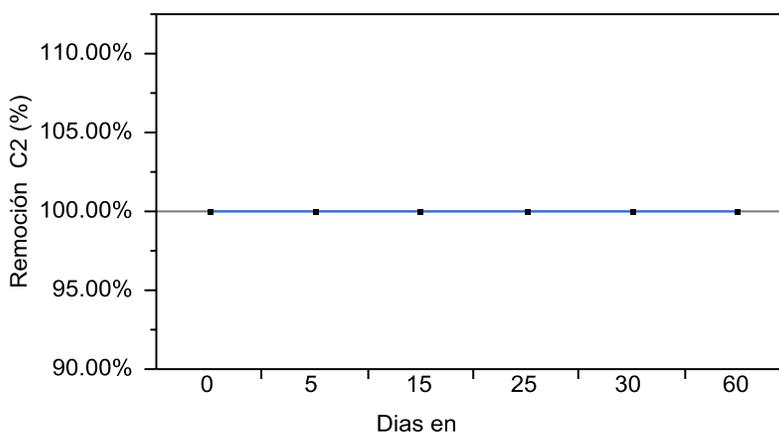
4.5.1.1.4 Turbidez

Para el trabajo en laboratorio se utilizó un turbidímetro portátil marca HANNA Instruments modelo HI93703C, reporta los valores en Unidades de Turbidez Formazin (FTU por sus siglas en inglés) haciendo la conversión a Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU por sus siglas en inglés).

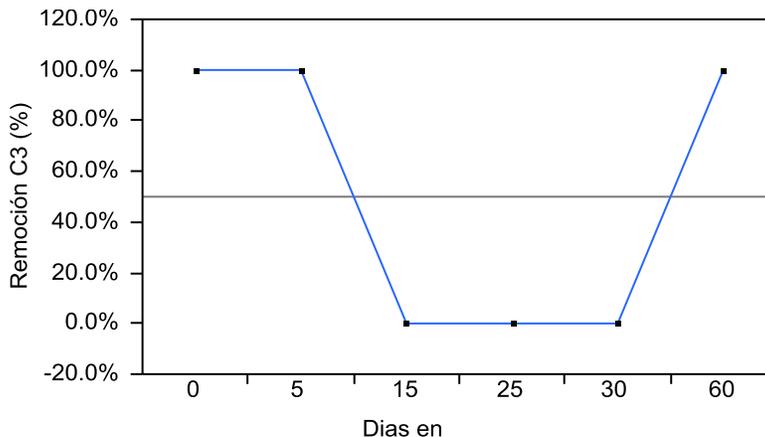
En el caso de la turbidez se observan porcentajes muy altos de remoción en el caso de los tres filtros. Para el filtro concreto 1 es del 99.75 %, filtro concreto 2 el 100% y para el filtro concreto 3 el 50%. A continuación se presentan las gráficas de remoción para cada uno de los filtros (Gráficas 6 a 8).



Gráfica 6. Remoción de turbidez en el filtro concreto 1



Gráfica 7. Remoción de turbidez en el filtro concreto 2

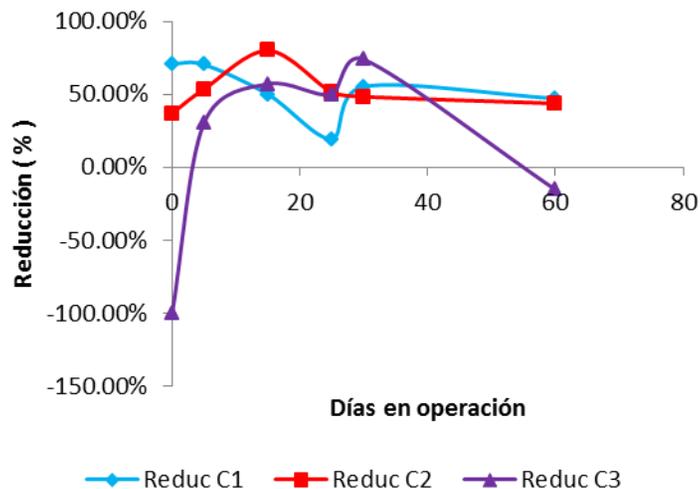


Gráfica 8. Remoción de turbidez en el filtro concreto 3

El mayor porcentaje de remoción se observa el filtro de concreto número 2.

4.5.1.1.5 Color

La medición se realizó con el equipo multiparamétrico con COD marca HANNA Instruments modelo HI83099. Las unidades se reportan en Unidades de Platico Cobalto (PCU por sus siglas en inglés). El porcentaje de reducción de color del agua a la salida se registra en el filtro concreto 1 con un porcentaje de 52.22 %, el filtro de concreto 2 con 52.36% y el filtro concreto 3 con 16.02 %. La gráfica con los 60 días de operación se muestra a continuación.

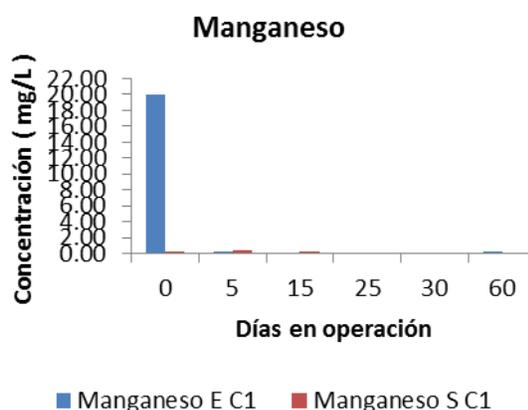
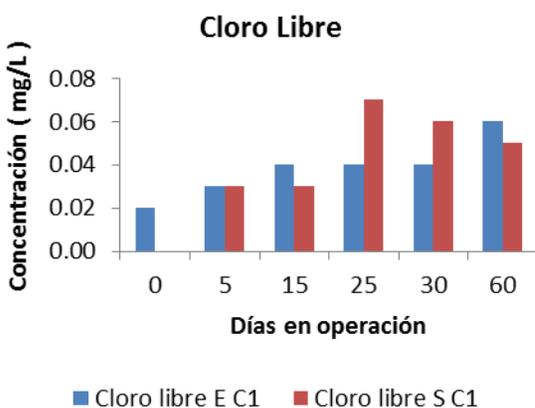
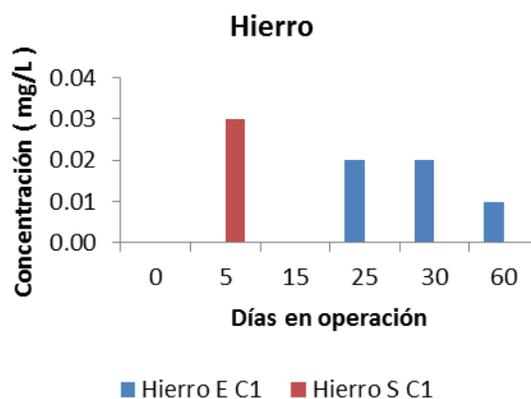
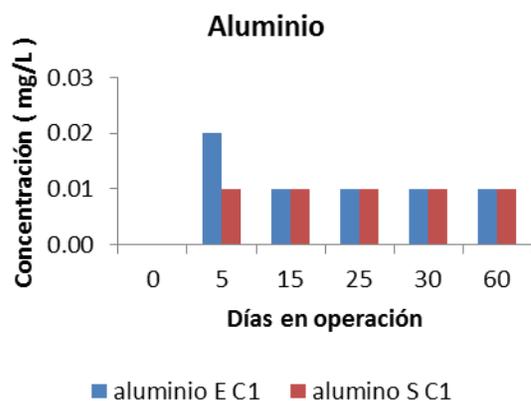


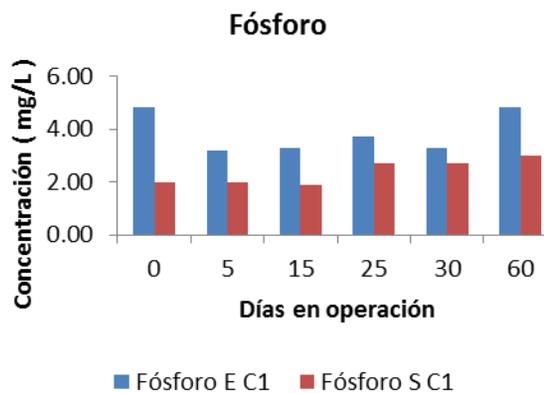
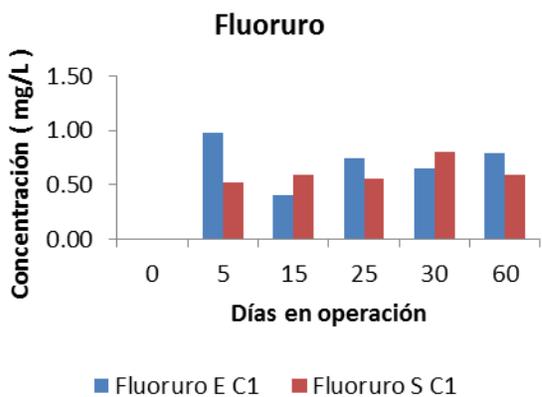
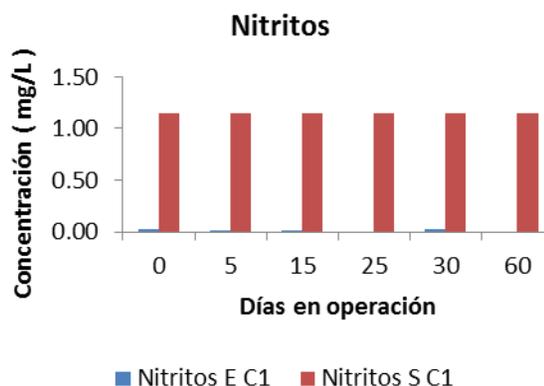
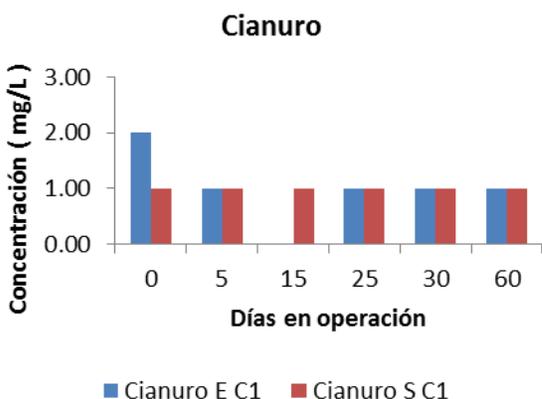
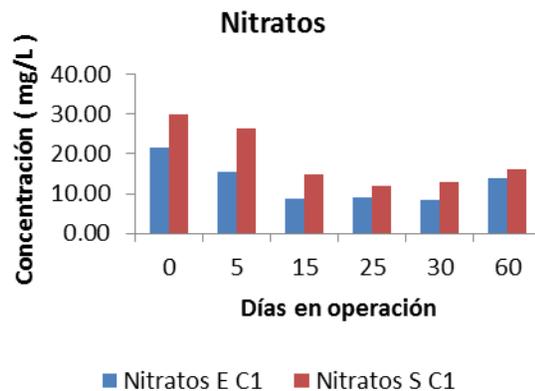
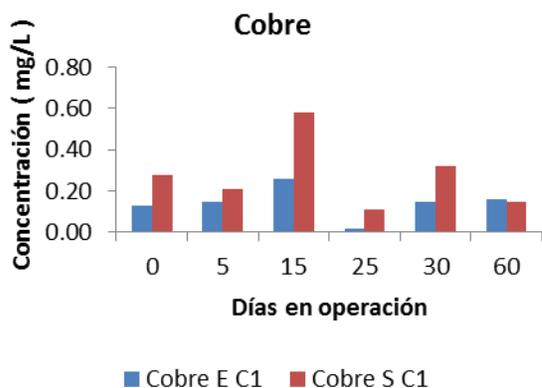
Gráfica 9. Reducción de color del agua de salida en los filtros de concreto

4.5.1.2 Resultados parámetros químicos

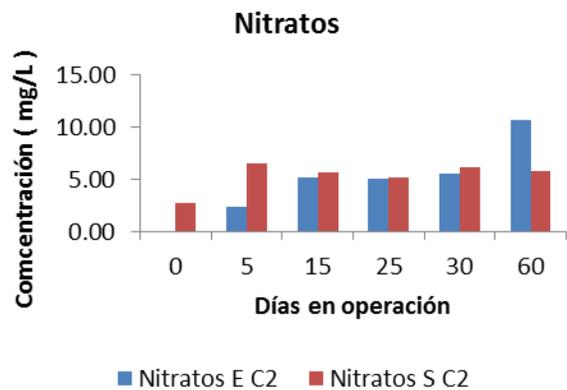
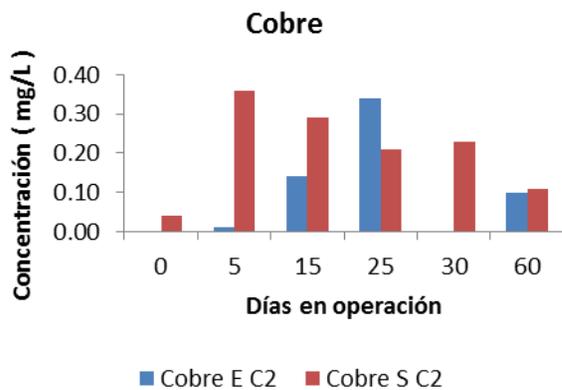
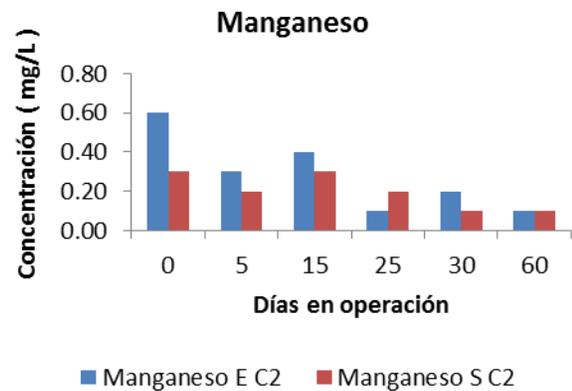
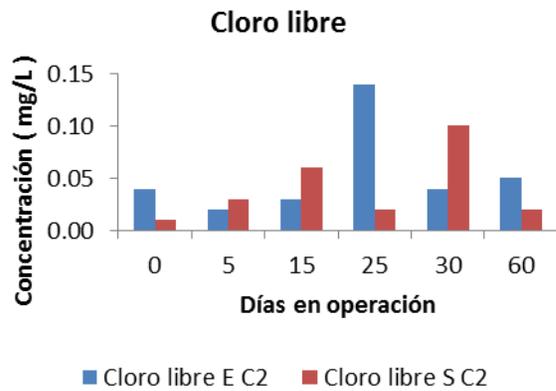
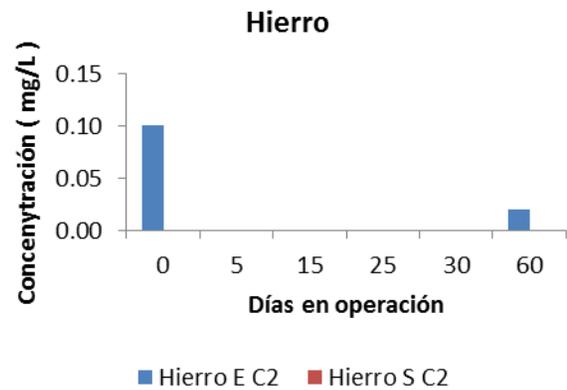
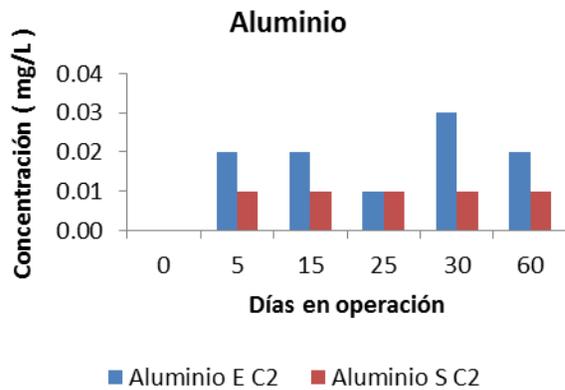
Los análisis de cada uno de los parámetros se realizó con el equipo multiparamétrico con COD marca HANNA Instruments modelo HI83099. Los reactivos en presentación de sobre individual con el contenido para 1 análisis ó en líquido con gotero para 25 análisis.

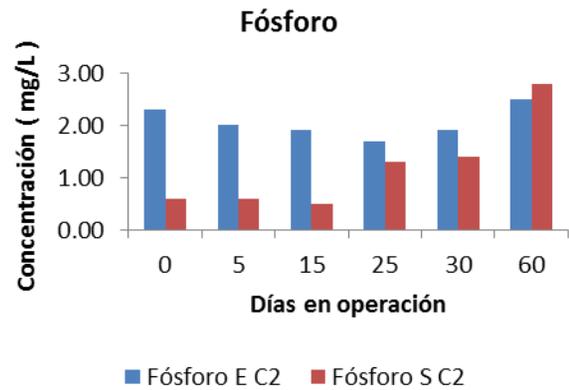
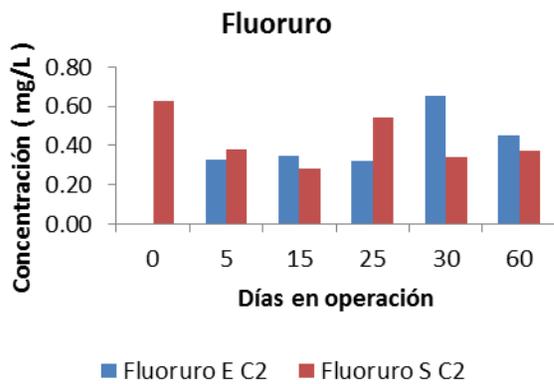
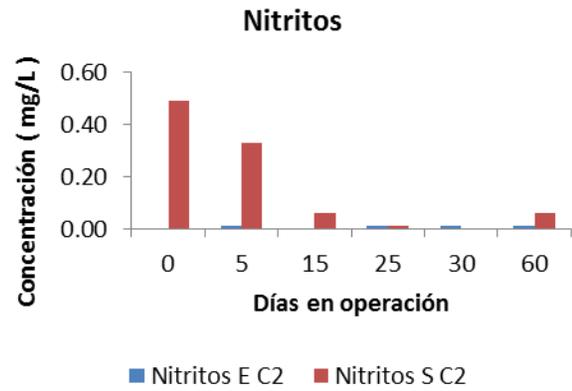
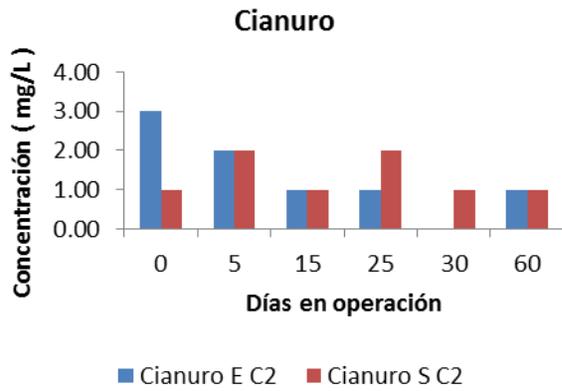
Los parámetros analizados para cada filtro fueron Aluminio, Cloro libre, Cobre, Cianuro, Fluoruro, Hierro, Manganeso, Nitratos, Nitritos y Fósforo. Los cuales no presentan un alto porcentaje de remoción debido a que son acumulados en el agua que queda entre el lecho filtrante (Gráficas 10 a 12).



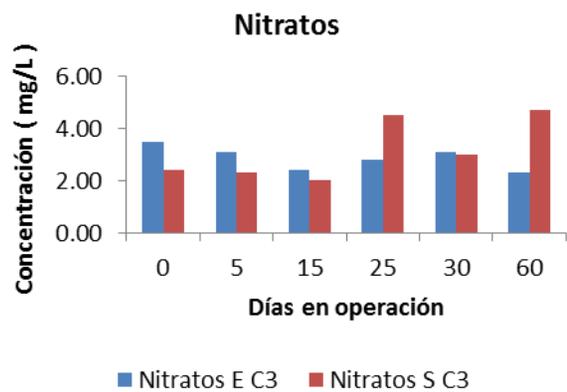
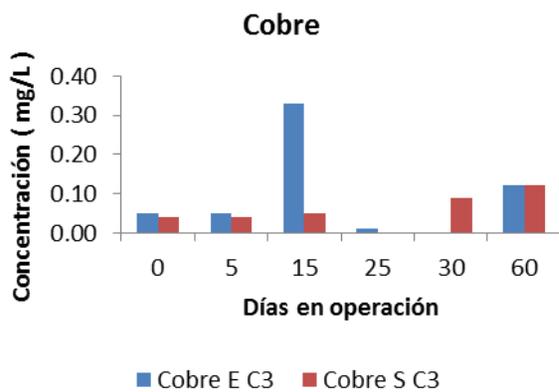
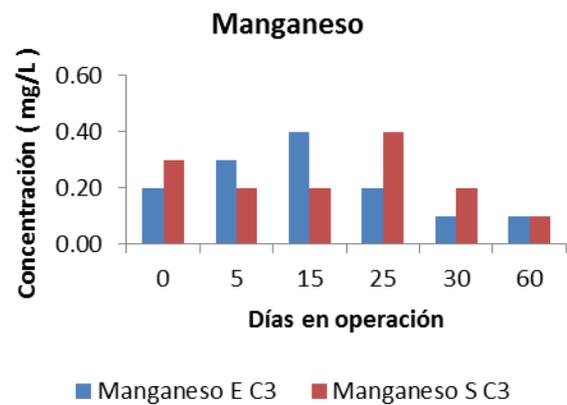
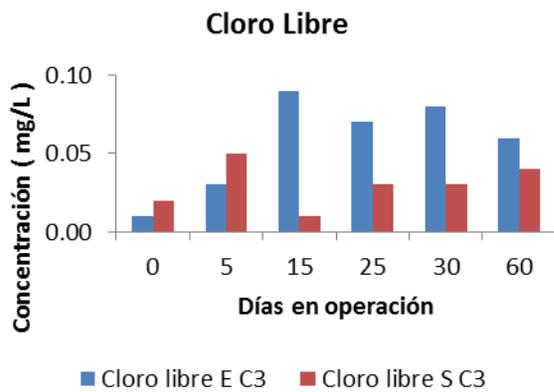
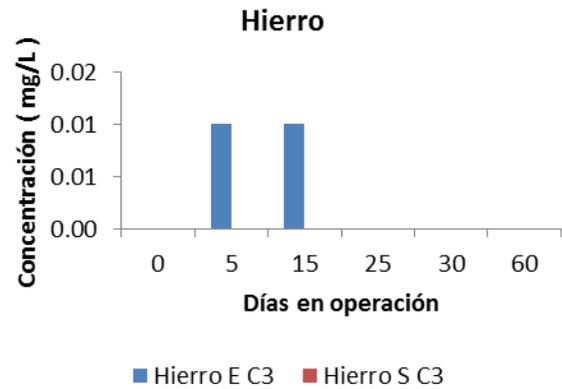
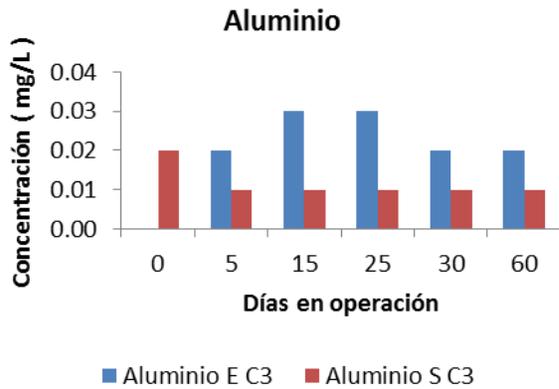


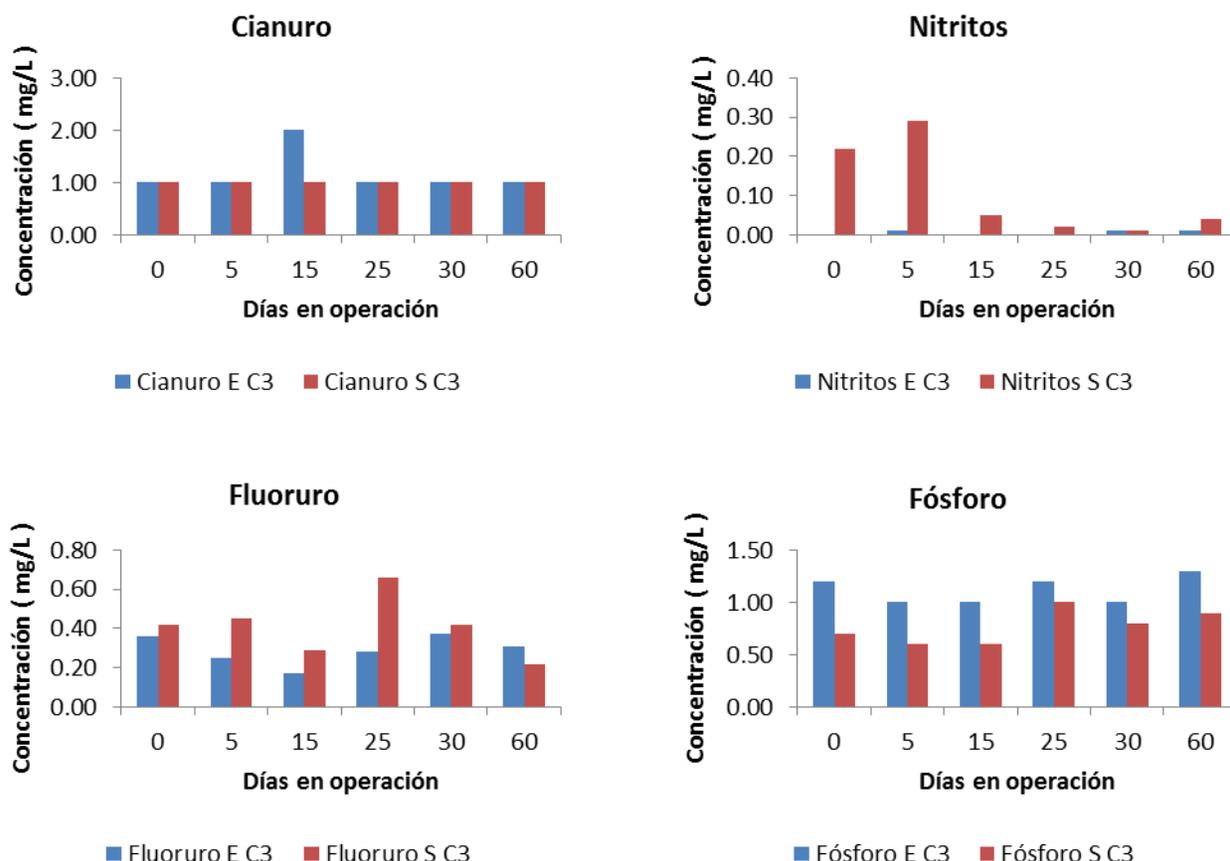
Gráfica 10. Parámetros químicos del agua de salida del filtro concreto 1





Gráfica 11. Parámetros químicos del agua de salida del filtro concreto 2



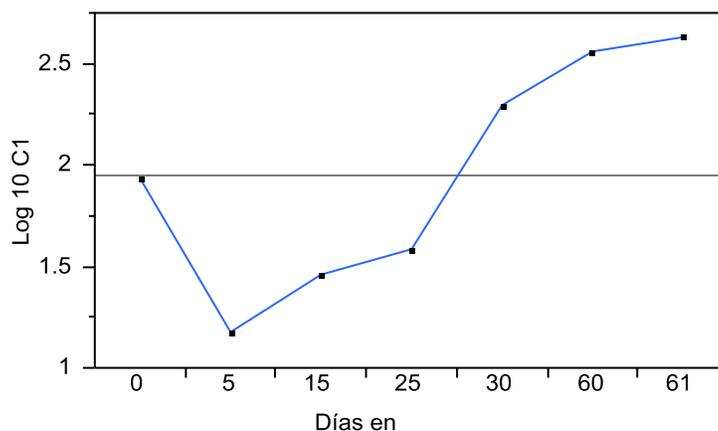


Gráfica 12. Parámetros químicos del agua de salida del filtro concreto 3

4.5.1.3 Resultados pruebas microbiológicas

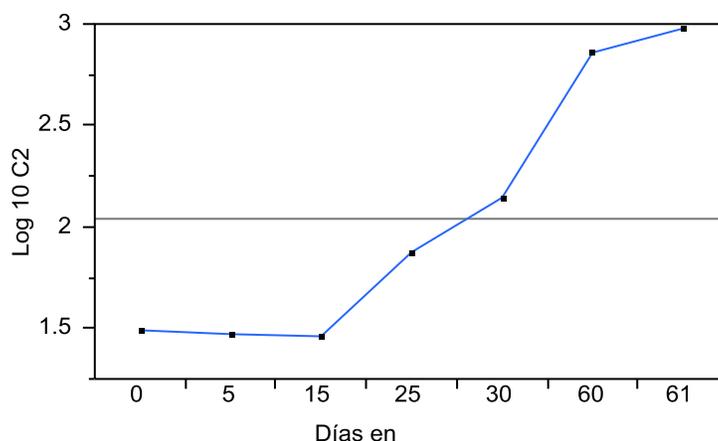
Para los análisis de coliformes totales y E. coli se utilizó Colilert de la Marca Iddex sustrato definido para coliformes totales y E. coli, presentación en ampula contenido para 1 análisis, selladora marca iddex modelo 2X de 115 V, incubadora marca Boekel Scientific, modelo 133000I.

Para el filtro concreto 1 se obtiene una reducción logarítmica de 1.8747 lo que indica un 97.85 % de remoción de coliformes totales durante los 60 días de operación. A partir del día 30 de operación, es decir una vez formada la biocapa, se obtiene una reducción logarítmica superior a 2 lo que representa el 99 % de remoción (Gráfica 13).



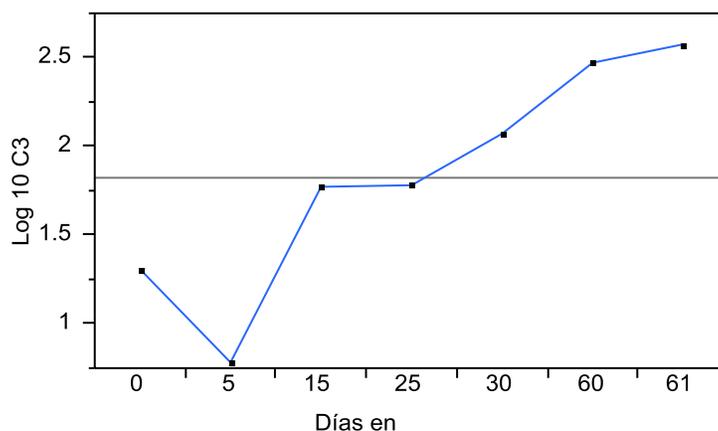
Gráfica 13. Remoción de coliformes totales en el filtro concreto 1

Para el filtro concreto 2 se obtiene una reducción logarítmica de 1.9560 lo que indica un 98.47% de remoción de coliformes totales durante los 60 días de operación. A partir del día 30 de operación, es decir una vez formada la biocapa, se obtiene una reducción logarítmica superior a 2 lo que representa el 99 % de remoción (Gráfica 14).



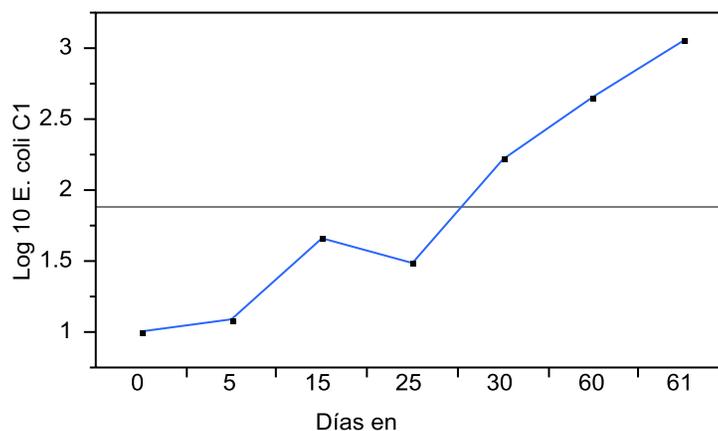
Gráfica 14. Remoción de coliformes totales en el filtro concreto 2

Para el filtro concreto 3 se obtiene una reducción logarítmica de 1.7089 lo que indica un 96.26 % de remoción de coliformes totales durante los 60 días de operación. A partir del día 30 de operación, es decir una vez formada la biocapa, se obtiene una reducción logarítmica superior a 2 lo que representa el 99 % de remoción (Gráfica 15).



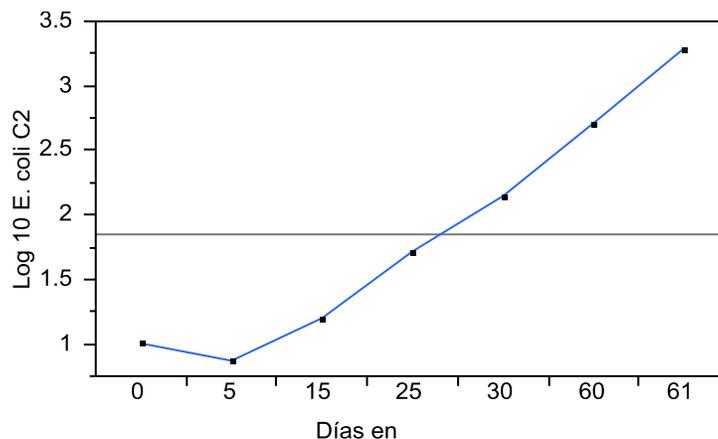
Gráfica 15. Remoción de coliformes totales en el filtro concreto 3

En el caso de E. coli el filtro concreto 1 reporta una reducción logarítmica de 1.7416 lo que indica un 97.54 % de remoción durante los 60 días de operación. A partir del día 30 de operación, es decir una vez formada la biocapa, se obtiene una reducción logarítmica superior a 2 lo que representa el 99 % de remoción (Gráfica 16).



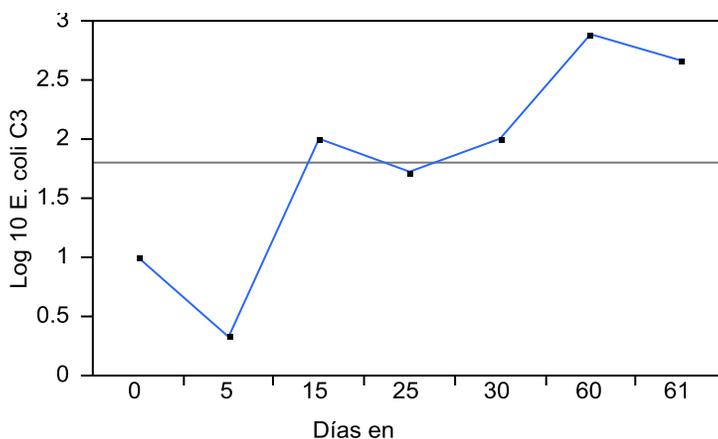
Gráfica 16. Remoción de E. coli en el filtro concreto 1

En el caso de E. coli el filtro concreto 2 reporta una reducción logarítmica de 1.6581 lo que indica un 96.09 % de remoción durante los 60 días de operación. A partir del día 30 de operación, es decir una vez formada la biocapa, se obtiene una reducción logarítmica superior a 2 lo que representa el 99 % de remoción (Gráfica 17).



Gráfica 17. Remoción de E. coli en el filtro concreto 2

En el caso de E. coli el filtro concreto 3 reporta una reducción logarítmica de 1.5040 lo que indica un 89.30 % de remoción durante los 60 días de operación. A partir del día 30 de operación, es decir una vez formada la biocapa, se obtiene una reducción logarítmica superior a 2 lo que representa el 99 % de remoción (Gráfica 18).



Gráfica 18. Remoción de E. coli en el filtro concreto 3

4.5.2 Filtros de placa de polietileno de Alta Densidad (PEAD)

Con la finalidad de reducir el peso del cuerpo del filtro logrando una mejor manipulación se construyeron prototipos en placa de PEAD, con las dimensiones interiores del cuerpo del filtro en concreto. El tubo de salida es de ½" ya que no existe en este tipo de material un diámetro menor.

Se realizó la instalación del primer prototipo en este material con la grava y arena correspondientes, se observó que no había salida del agua por lo que se procedió a vaciar el filtro, el cual se encontraba taponado por arena y grava.

Posteriormente se realizaron modificaciones en el tubo de salida colocando una manguera de $\frac{1}{4}$ " a partir del centro de la placa inferior fijándola con silicón, pasando por el interior del tubo de $\frac{1}{2}$ ". Al llenar el filtro con agua para verificar que no hubiera fugas se percató que el nivel se había modificado, por lo tanto se dejó al exterior del filtro una manguera con una longitud de 31.5 cm, con esto se logró un nivel de 2 cm por debajo de la placa difusora. Nuevamente se carga el filtro, se verifican los 5 cm de agua para formación de la biocapa. Finalmente después de 2 cargas de agua se observa que las uniones de las placas de PEAD comienzan a desprenderse lo que permite que el agua y arena comiencen a ocupar esos espacios perdiendo el nivel y deformando el cuerpo del filtro (Foto 24).

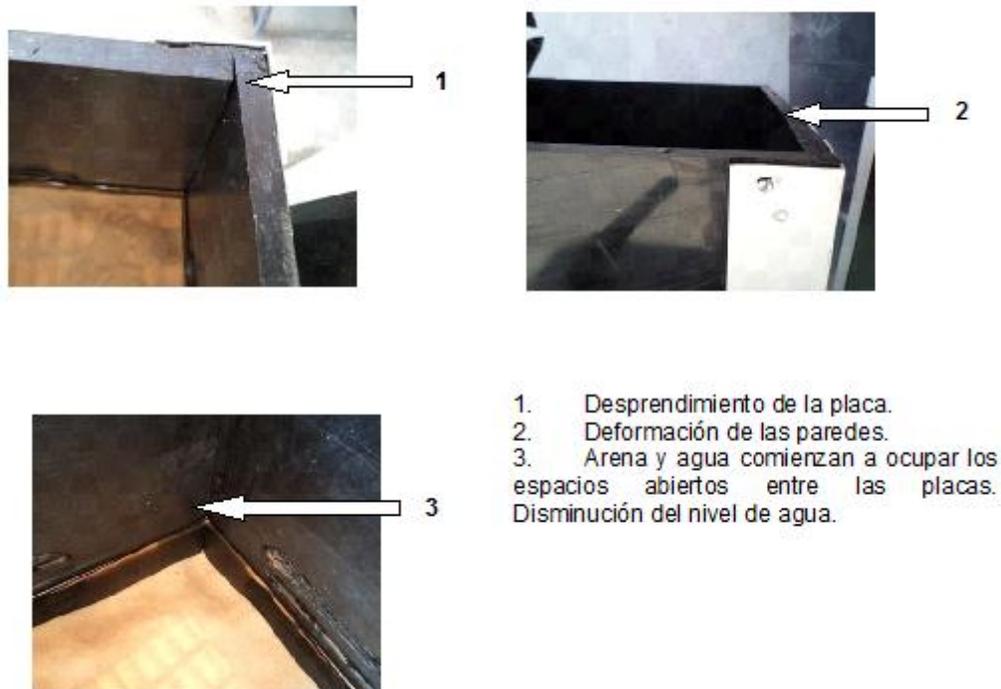


Foto 24. Desprendimiento de la placa

En base a los resultados obtenidos se decide no utilizar los prototipos en este tipo de material.

4.5.3 Filtros de tubo de polietileno de Alta Densidad (PEAD)

Este prototipo construido en tubo de polietileno y con un tubo de salida de ½”, con la finalidad de reducir el peso del filtro y lograr manipularse más fácilmente.

El filtro en tubo de PEAD tiene las siguientes dimensiones:

Tabla 3. Dimensiones filtro en tubo de PEAD.

No. de filtro	Altura (cm)	Diámetro externo (cm)	Diámetro interno (cm)
1	88.5	27	24.5
2	88.0	27	24.0
3	88.5	27	24.5

Se realizan modificaciones al tubo de salida colocando una manguera con un diámetro de ¼” desde el centro de la placa inferior pasando por el tubo de salida dejando un excedente de manguera de 5.5 cm para obtener el nivel de 5 cm de agua para la formación de la biocapa por debajo del difusor.

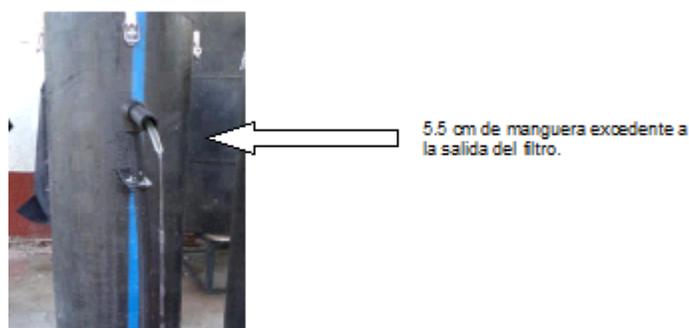


Foto 25. Modificaciones al tubo de salida

Se verificó que el filtro estuviera perfectamente sellado para evitar fugas de agua que modificaran el nivel, el difusor cumple con las especificaciones requeridas y finalmente se colocaron las capas del material de soporte y filtrante reportando las siguientes alturas (Tabla 4).

Tabla 4. Alturas y volúmenes de material filtrante y soporte en los prototipos de PEAD

No. Prototipo	Altura (cm)			Volumen (L)		
	Grava ½"	Grava ¼"	Arena malla 24	Grava ½"	Grava ¼"	Arena malla 24
1	8.5	8.0	53.8	4	4	22
2	8.5	8.2	53.5	4	4	22
3	8.5	8.3	53.7	4	4	21.5

El caudal de los filtros se midió con una probeta de un litro de capacidad y un cronómetro registrándose los siguientes valores (Tabla 5).

Tabla 5. Caudal de los prototipos de PEAD

No. Prototipo	Caudal (L/s)
1	0.3029
2	0.2651
3	0.2827

Los flujos registrados son menores que el filtro en concreto debido a que el volumen del reservorio solo tiene capacidad para 9 L, por lo que se vacía en un promedio de 90 minutos.

4.5.3.1 Cambios en los filtros

Después de 20 días en operación se observa arena en el tubo de salida de los filtros en PEAD (Foto 26).



Filtro tubo 1



Filtro tubo 2

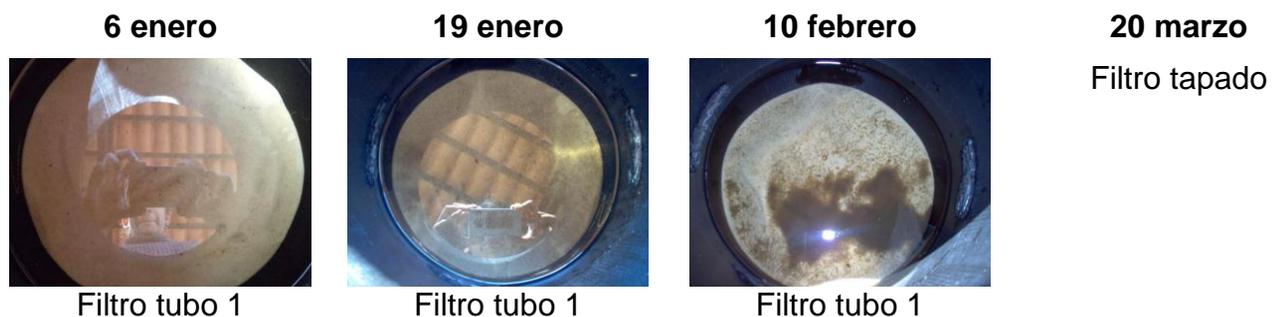
Foto 26. Arena en la manguera de salida de los filtros 1 y 2.

El difusor de los filtros en tubo flota al momento de agregar el agua, se tiene que sujetar para que esto no suceda (Foto 27).



Foto 27. Difusor en los filtros 1 y 2

Se aprecia cambio de color en la arena, los sólidos suspendidos en el agua son atrapados y acumulados en la superficie de la capa de arena, a continuación las imágenes (Foto 28).





Filtro tubo 2



Filtro tubo 2



Filtro tubo 2

Filtro tapado



Filtro tubo 3



Filtro tubo 3



Filtro tubo 3



Filtro tubo 3

Foto 28. Sólidos atrapados en los filtros de PEAD

Se observaron cambios de coloración en la manguera de salida en los filtros tubo 1 y 2 (Foto 29).



Filtro tubo 1



Filtro tubo 2

Foto 29. Cambio de coloración en las mangueras de los filtros 1 y 2

Después de 54 días de operación la manguera de salida del filtro en tubo 1 se obstruyó con arena, se vacía el contenido del filtro, y la arena se encuentra totalmente compactada a la entrada (Foto 30).



Foto 30. Obstrucción con arena de la manguera de salida

Se concluye que la arena contiene una mayor cantidad de granos con un tamaño menor a 0.7 mm lo que facilita su paso a través de las capas de seguridad y soporte, recuperándose hasta 2 L de arena en las capas de grava (Foto 31).



Foto 31. Arena recuperada en las capa soporte de grava

Se destapa la manguera por retrolavado, se llena nuevamente con las capas de arena y grava procurando que todas las capas queden niveladas. Después de pasar 60 L de agua por el filtro para compactar la arena y grava, comienza a salir nuevamente arena por la manguera de salida, por lo tanto se decide no utilizar el filtro.

4.5.3.2 Resultados parámetros físicos

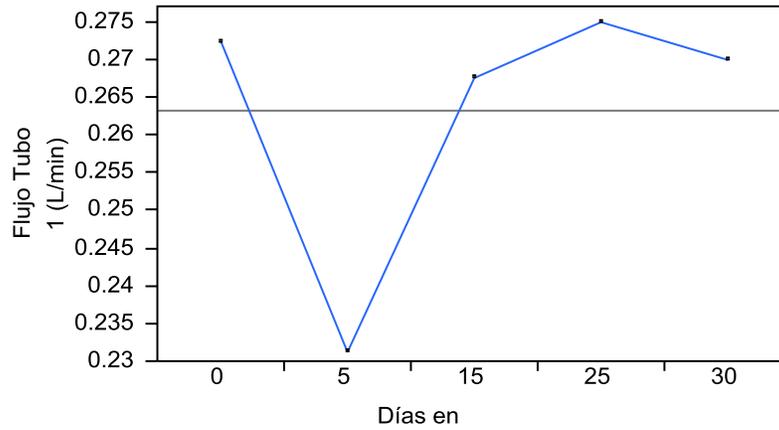
4.5.3.2.1 Flujo

Se realizó la medición mediante el uso de un cronómetro marca Traceable modelo No. 1045 24 horas y una probeta graduada en plástico con capacidad de 1 L marca Vitlab. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla (Tabla 6).

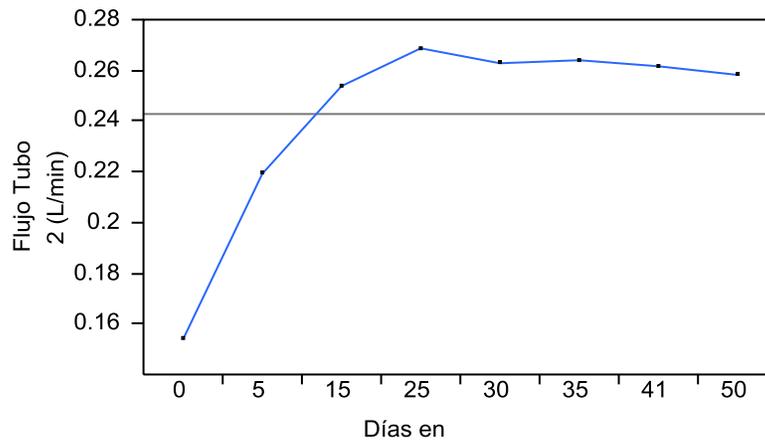
Tabla 6. Flujo filtro PEAD

Fecha	Caudal (L/min)		
	Tubo1	Tubo 2	Tubo 3
16/12/2011	0.3029	0.2651	0.2827
03/01/2012	0.2762	0.2583	0.2780
04/01/2012	0.2882	0.2628	0.2788
10/01/2012	0.2724	0.2605	0.2788
16/01/2012	0.2312	0.1539	0.2675
23/01/2012	0.2675	0.2192	0.2775
02/02/2012	0.2749	0.2538	0.2801
10/02/2012	0.2699	0.2687	0.2882
17/02/2012	tapado	0.2628	0.2737
22/02/2012	tapado	0.2640	0.2855
28/02/2012	tapado	0.2616	0.2925
08/03/2012	tapado	0.2582	0.2925
20/03/2012	tapado	tapado	0.2925

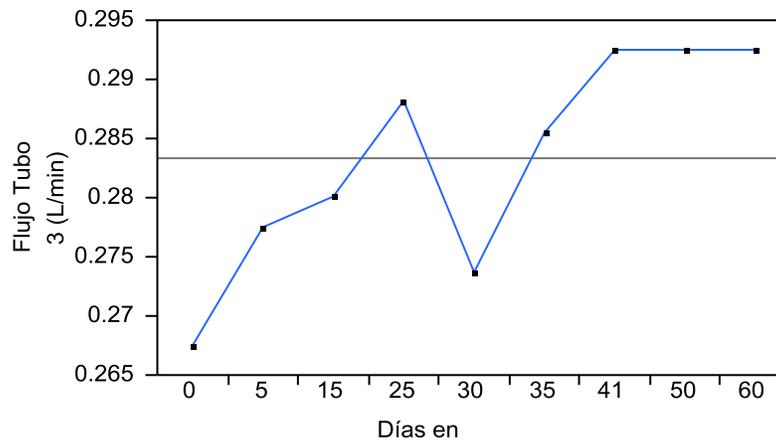
Durante los 60 días de operación no se observó una disminución del caudal (Gráficas 19 a 21). Las medias geométricas (Tabla 7) correspondientes al flujo de los tres filtros se representan con una línea horizontal en las gráficas.



Gráfica 19. Flujo filtro tubo 1



Gráfica 20. Flujo filtro tubo 2



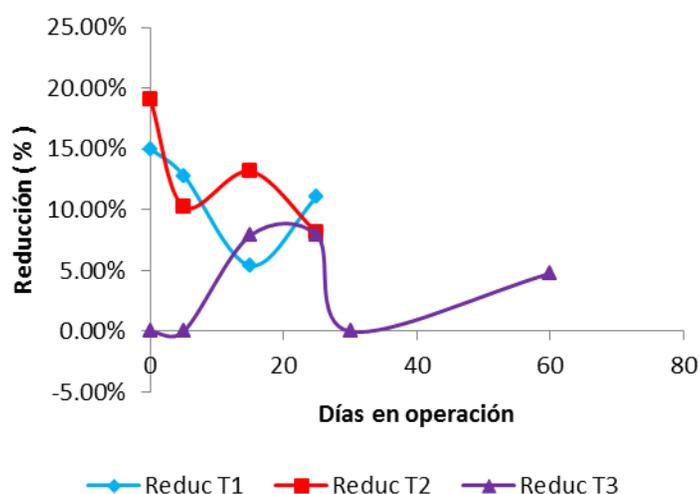
Gráfica 21. Flujo filtro tubo 3

Tabla 7. Medias geométricas de los filtros PEAD

	Media geométrica
Filtro tubo 1	0.2631
Filtro tubo 2	0.2427
Filtro tubo 3	0.2833

4.5.3.2.2 Temperatura

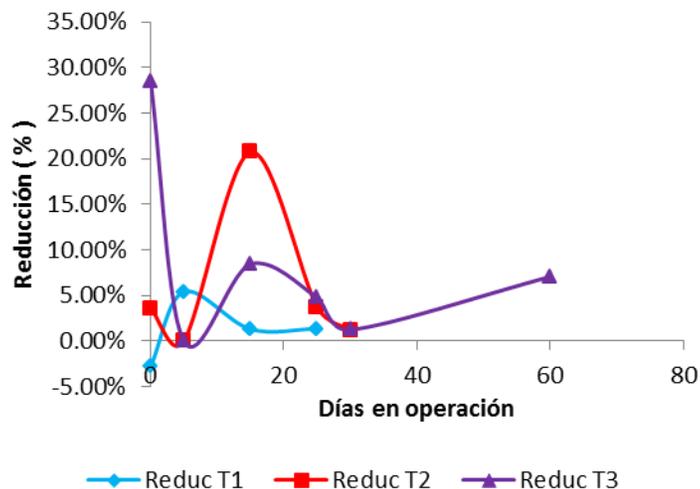
Se utilizó un termómetro marca Lauka modelo 350 con una graduación de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Durante los 60 días de operación se observa que hay una disminución del 11.08 % de la temperatura del agua de entrada con respecto al agua de salida del filtro tubo 1, el 11.11 % para el filtro tubo 2 y el 3.43 % para el filtro tubo 3 (Gráfica 22).



Gráfica 22. Reducción de temperatura del agua de salida en los filtros en tubo.

4.5.3.2.3 pH

La medición de pH se realizó con el equipo multiparamétrico con COD marca HANNA Instruments modelo HI83099. Se obtuvieron los siguientes porcentajes de reducción durante los 60 días de operación de los filtros: para el filtro tubo 1 el 1%, filtro tubo 2 el 6 % y el filtro tubo 3 el 8.35% (Gráfica 23).

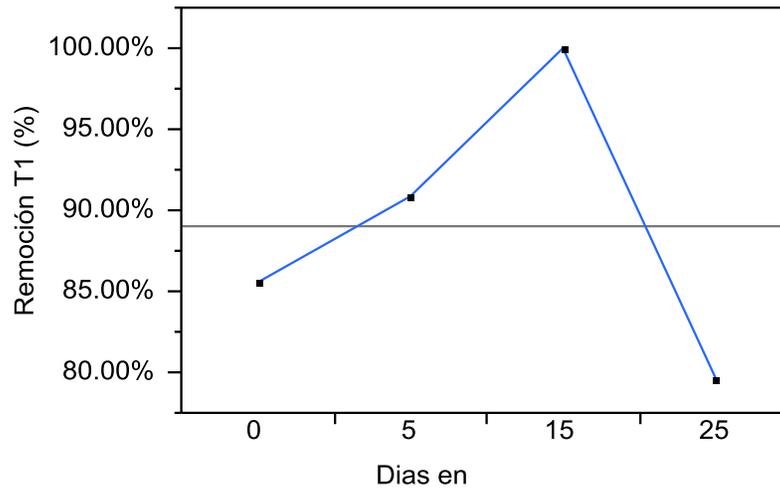


Gráfica 23. Reducción de pH del agua de salida en los filtros en tubo.

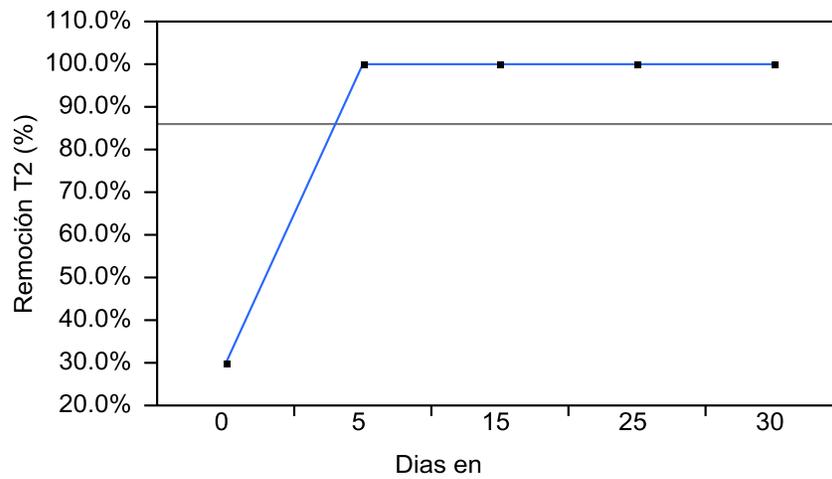
4.5.3.2.4 Turbidez

Para el trabajo en laboratorio se utilizó un turbidímetro portátil marca HANNA Instruments modelo HI93703C, reporta los valores en Unidades de Turbidez Formazin (FTU por sus siglas en inglés) haciendo la conversión a Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU por sus siglas en inglés).

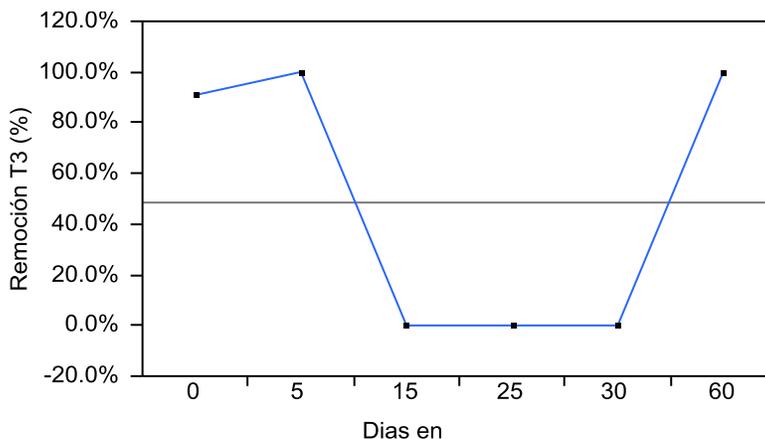
En el caso de la turbidez se observan porcentajes muy altos de remoción en el caso de los tres filtros. Para el filtro tubo 1 es del 89.01 %, filtro tubo 2 el 85.97 % y para el filtro tubo 3 el 48.50% (Gráficas 24 a 26).



Gráfica 24. Remoción de turbidez en el filtro tubo 1.



Gráfica 25. Remoción de turbidez en el filtro tubo 2.

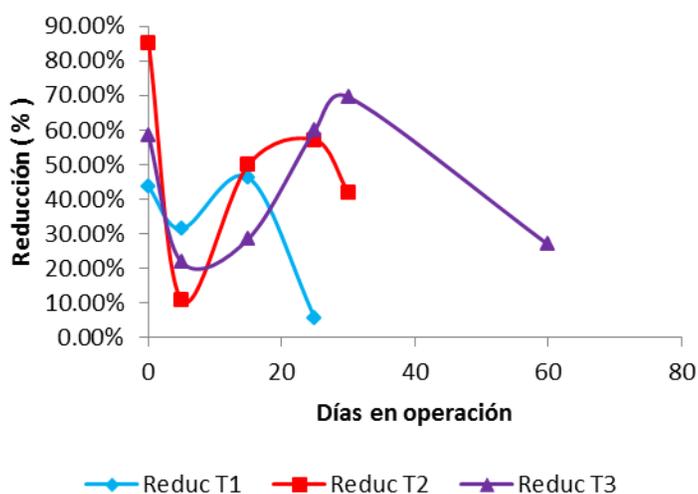


Gráfica 26. Remoción de turbidez en el filtro tubo 3.

El mayor porcentaje de remoción se obtiene en el filtro tubo 1.

4.5.3.2.5 Color

La medición se realizó con el equipo multiparamétrico con COD marca HANNA Instruments modelo HI83099. Las unidades se reportan en Unidades de Platico Cobalto (PCU por sus siglas en inglés). El porcentaje de reducción de color del agua a la salida se registra en el filtro tubo 1 con un porcentaje de 31.72 %, el filtro de tubo 2 con 49.00% y el filtro tubo 3 con 44.19 % (Gráfica 27 a 30).

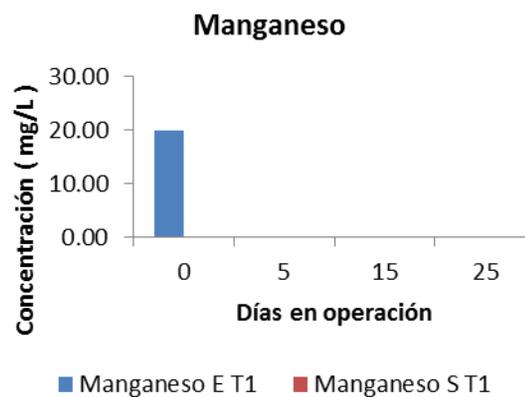
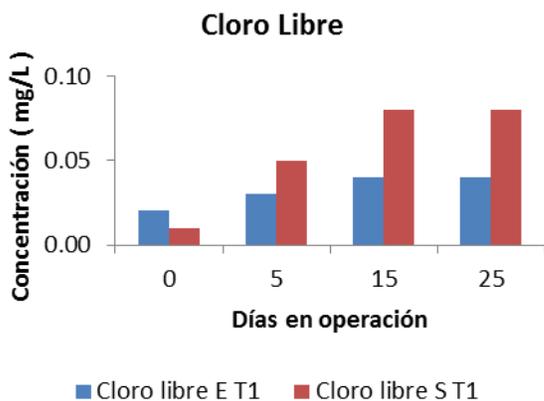
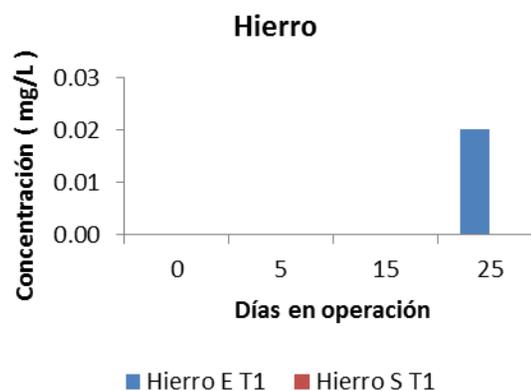
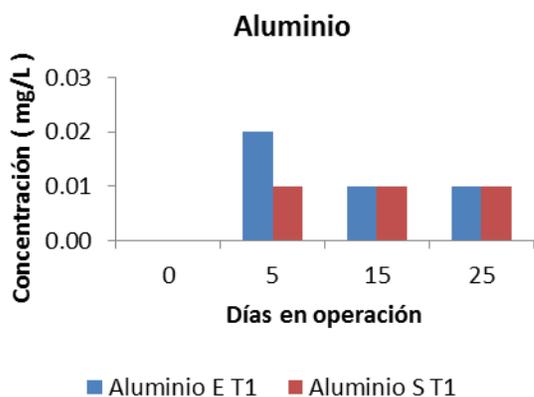


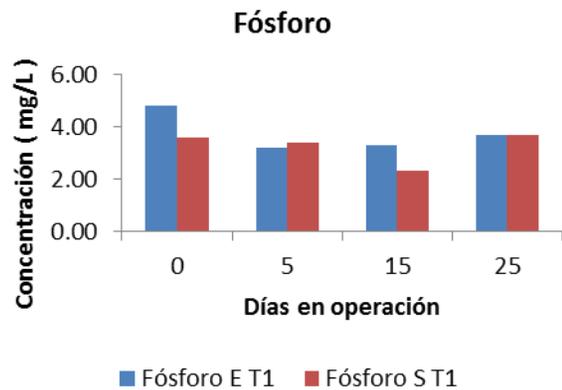
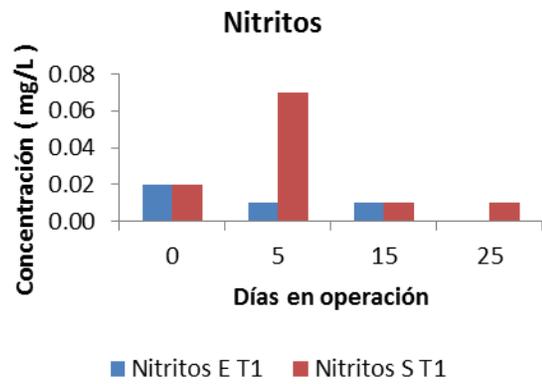
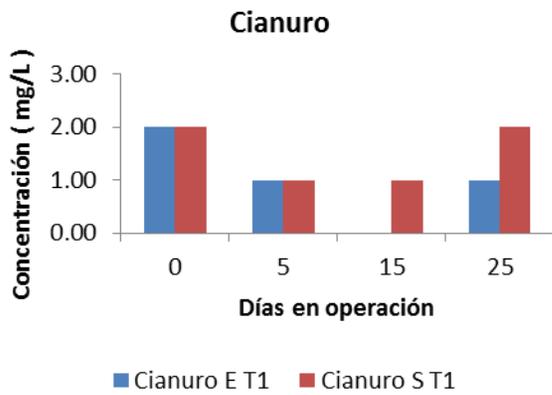
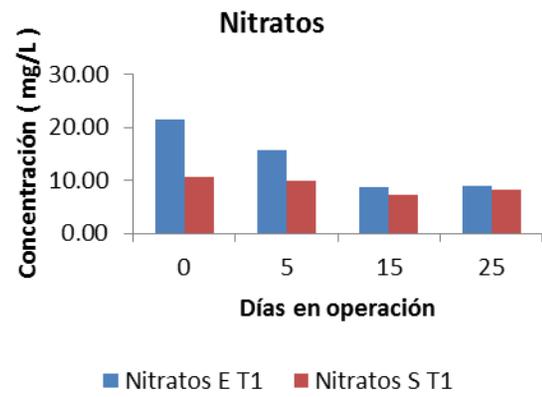
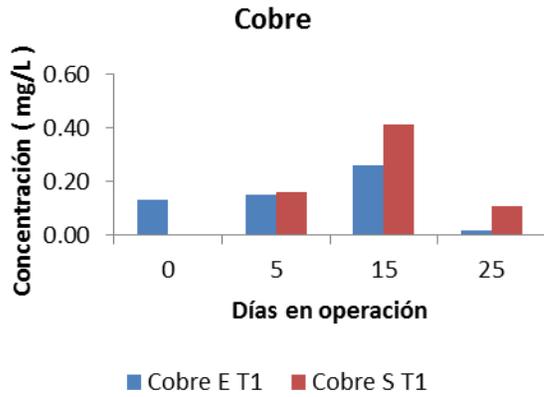
Gráfica 27. Reducción de color del agua de salida en los filtros en tubo.

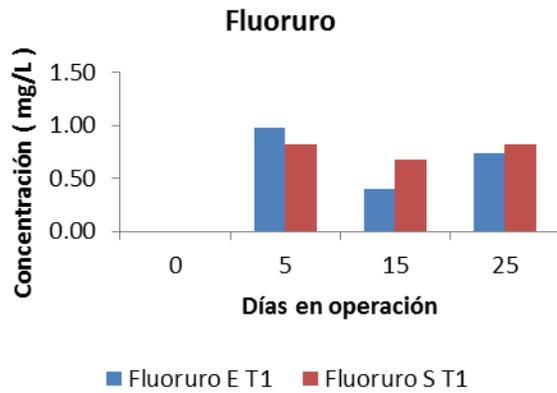
4.5.3.3 Resultados parámetros químicos

Los análisis de cada uno de los parámetros se realizó con el equipo multiparamétrico con COD marca HANNA Instruments modelo HI83099. Los reactivos en presentación de sobre individual con el contenido para 1 análisis ó en líquido con gotero para 25 análisis.

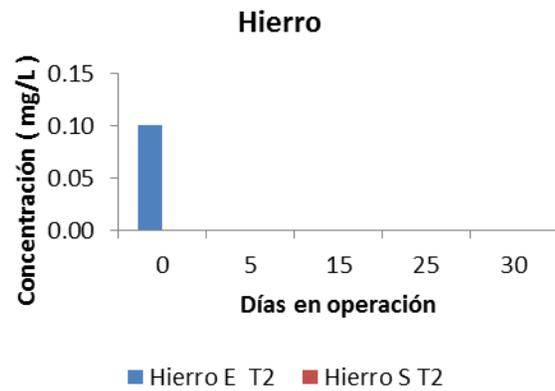
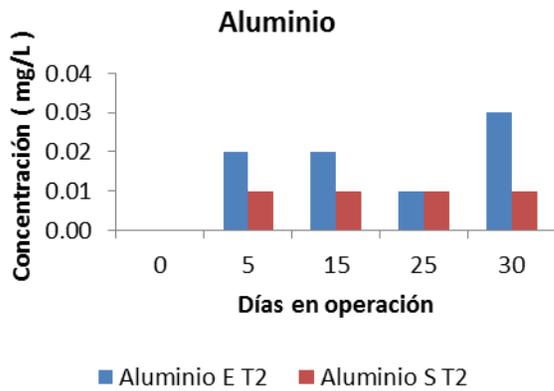
Los parámetros analizados para cada filtro fueron Aluminio, Cloro libre, Cobre, Cianuro, Fluoruro, Hierro, Manganeso, Nitratos, Nitritos y Fósforo. Los cuales no presentan un alto porcentaje de remoción debido a que son acumulados en el agua que queda entre el lecho filtrante (Gráfica 28).

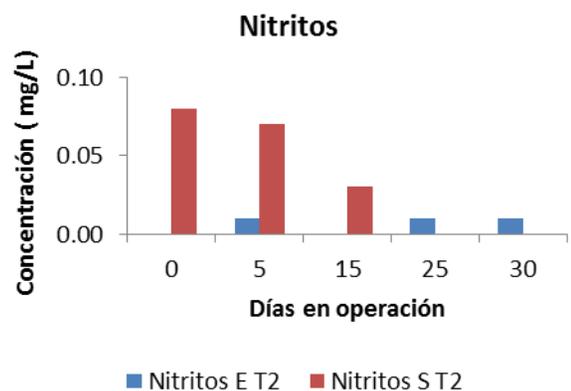
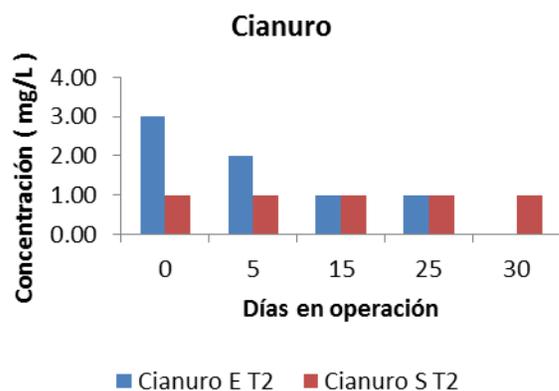
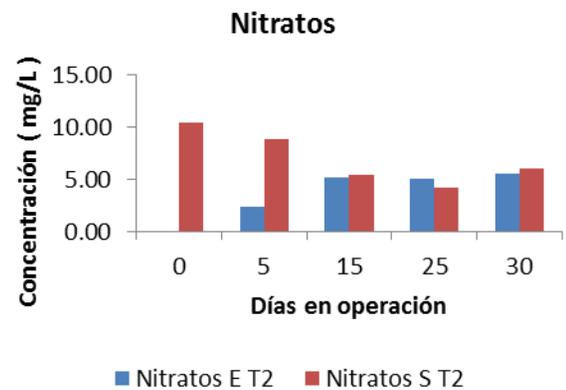
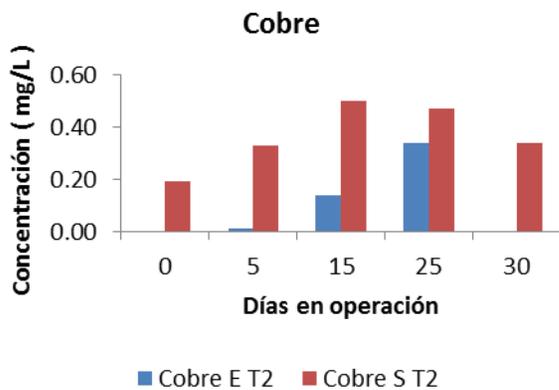
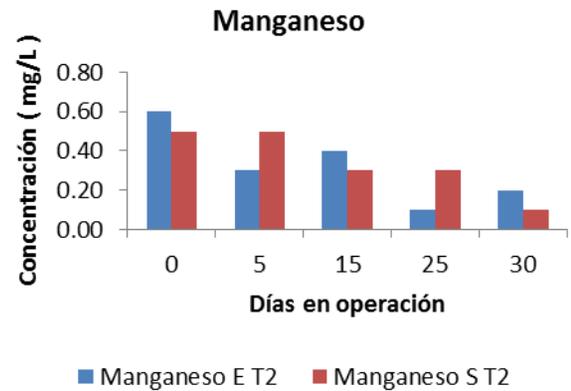
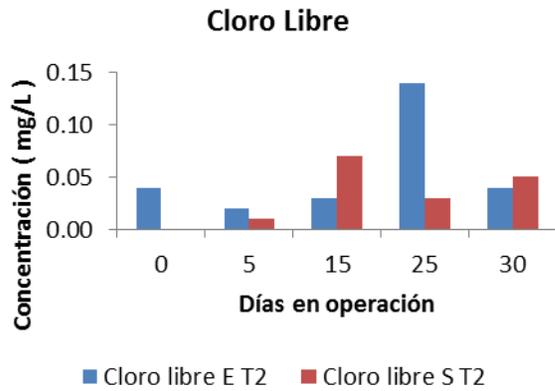


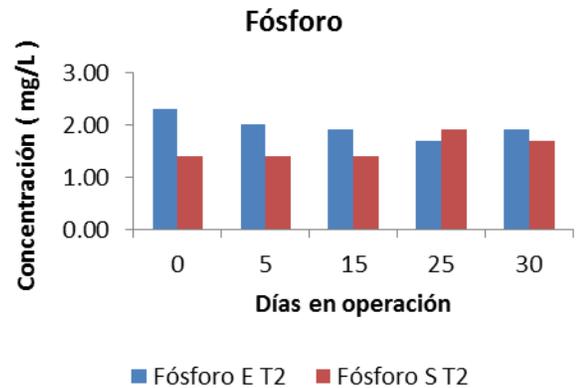
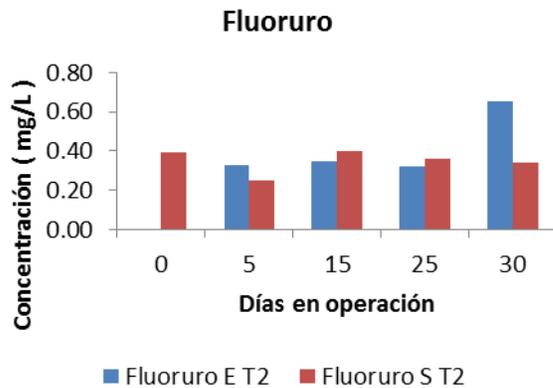




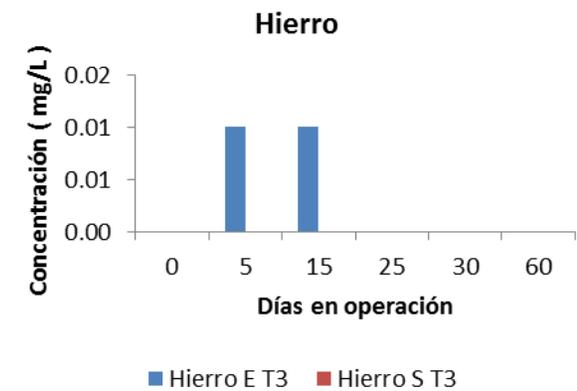
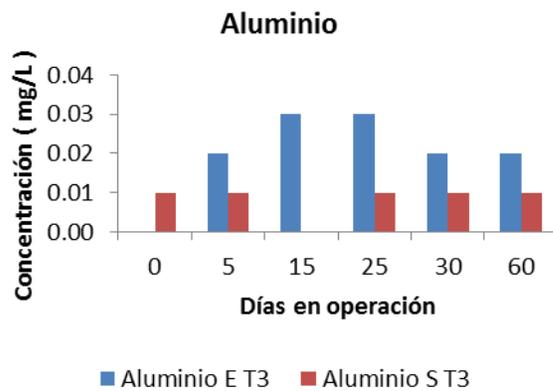
Gráfica 28. Parámetros químicos del agua de salida del filtro tubo 1

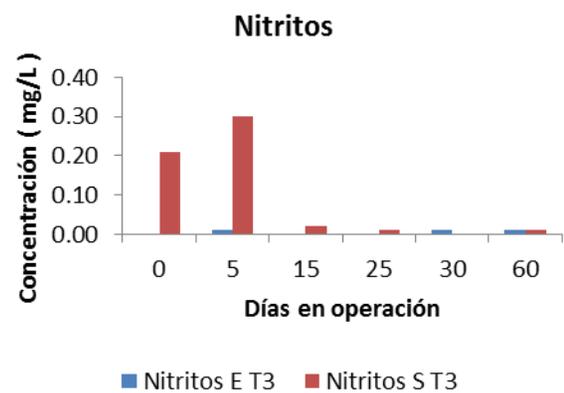
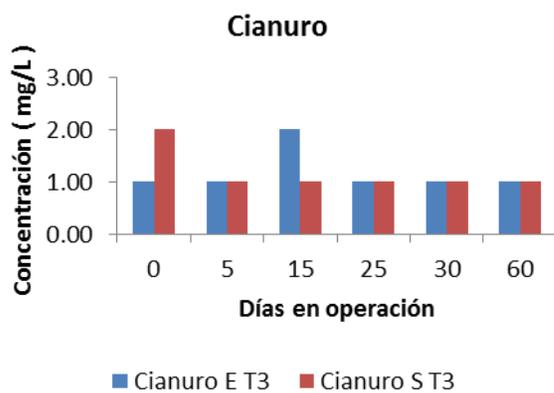
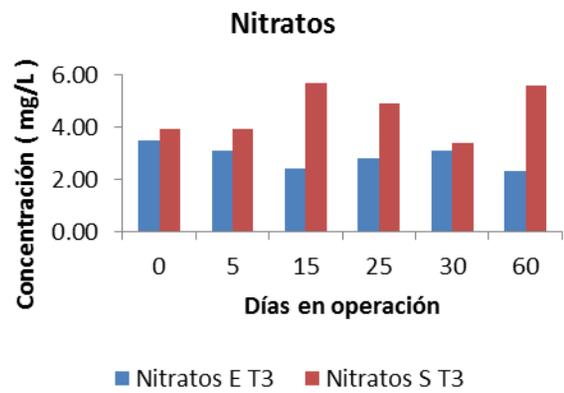
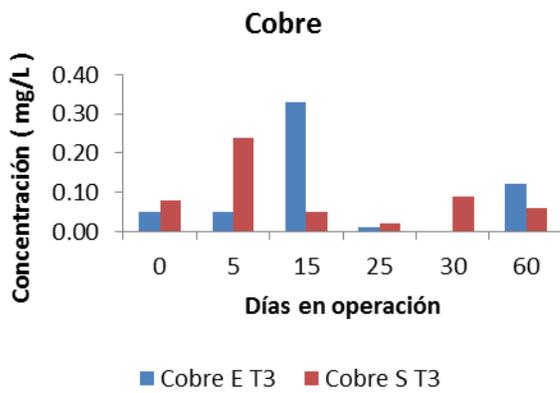
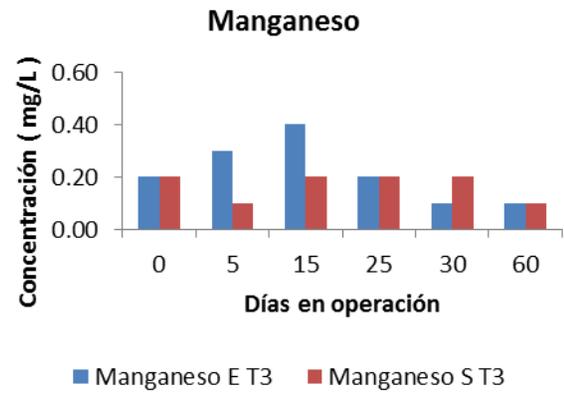
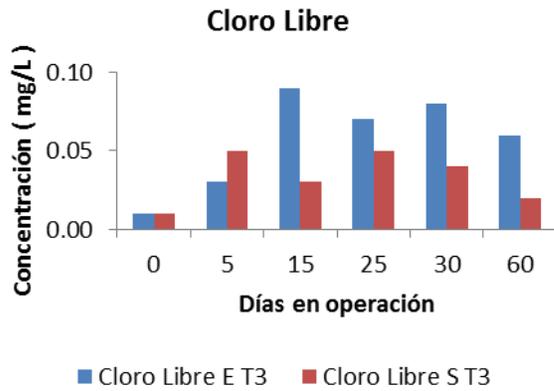


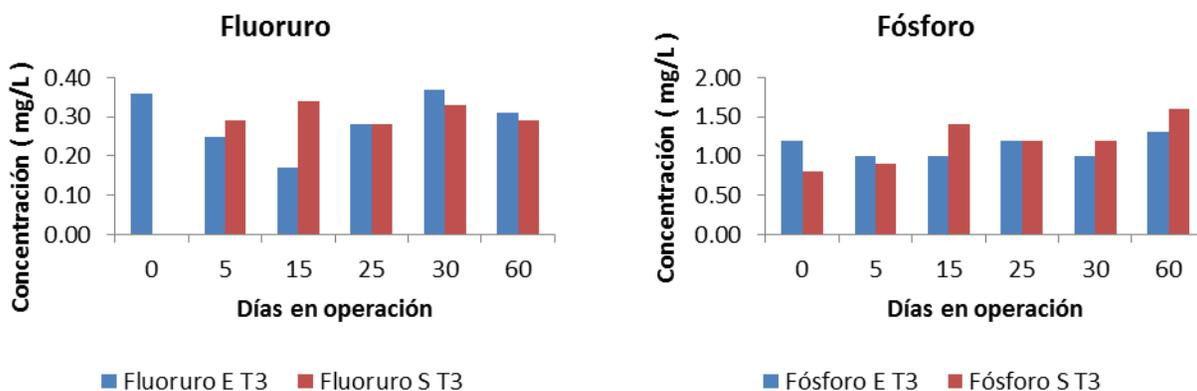




Gráfica 29. Parámetros químicos del agua de salida del filtro tubo 2





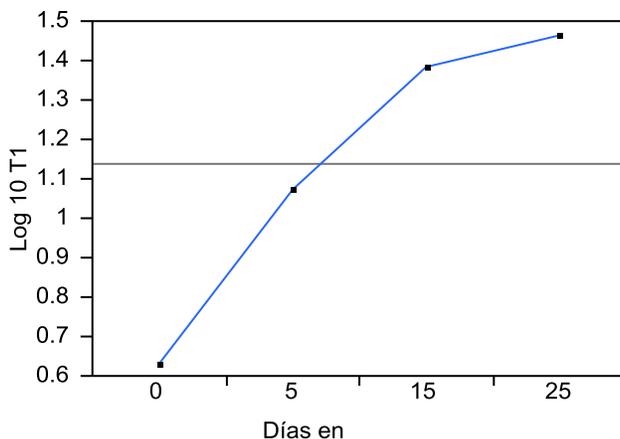


Gráfica 30. Parámetros químicos del agua de salida del filtro tubo 3

4.5.3.4 Resultados pruebas microbiológicas

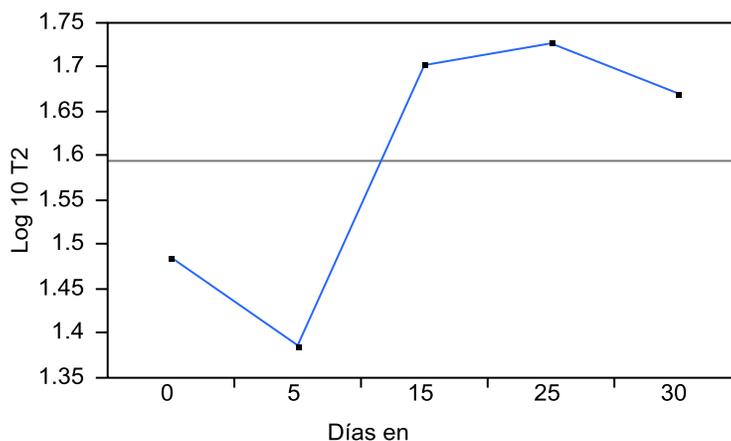
Para los análisis de coliformes totales y E. coli se utilizó Colilert de la Marca Iddex sustrato definido para coliformes totales y E. coli, presentación en ampula contenido para 1 análisis, selladora marca iddex modelo 2X de 115 V, incubadora marca Boekel Scientific, modelo 133000I.

Para el filtro tubo 1 se obtiene una reducción logarítmica de 1.0822 lo que indica un 89.76 % de remoción de coliformes totales durante los 60 días de operación (Gráfica 31). Debido a obstrucciones en la manguera de salida ya no se tienen datos de los días posteriores.



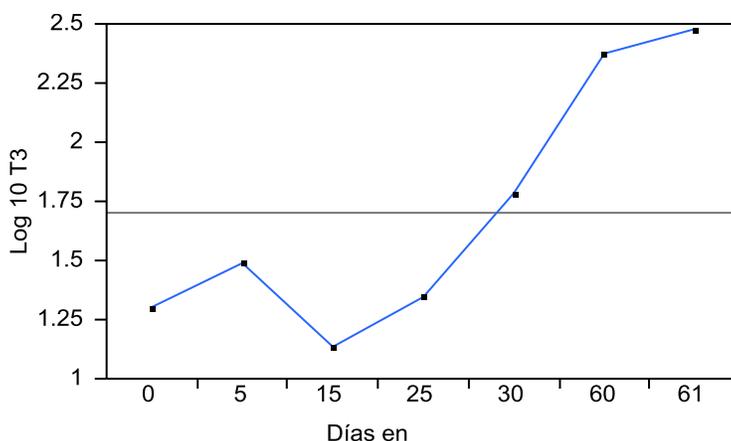
Gráfica 31. Remoción de coliformes totales en el filtro tubo 1

Para el filtro tubo 2 se obtiene una reducción logarítmica de 1.5886 lo que indica un 97.32 % de remoción de coliformes totales durante los 60 días de operación (Gráfica 32). Debido a obstrucciones en la manguera de salida ya no se tienen datos de los días posteriores.



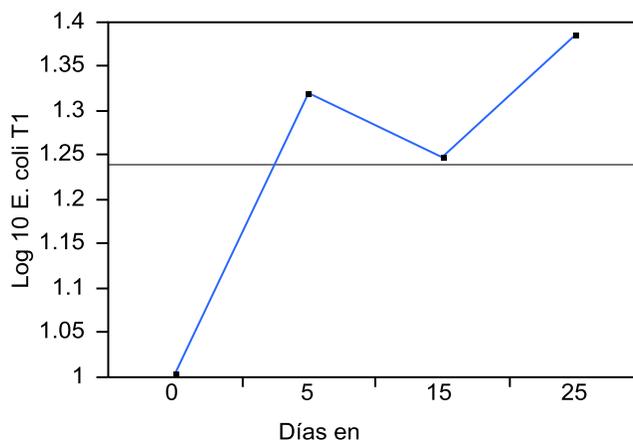
Gráfica 32. Remoción de coliformes totales en el filtro tubo 2

Para el filtro tubo 3 se obtiene una reducción logarítmica de 1.6343 lo que indica un 96.76 % de remoción de coliformes totales durante los 60 días de operación. A partir de la formación de la biocapa, es decir del día 30 de operación se observa una reducción logarítmica superior a 2 lo que representa el 99 % de remoción (Gráfica 33).



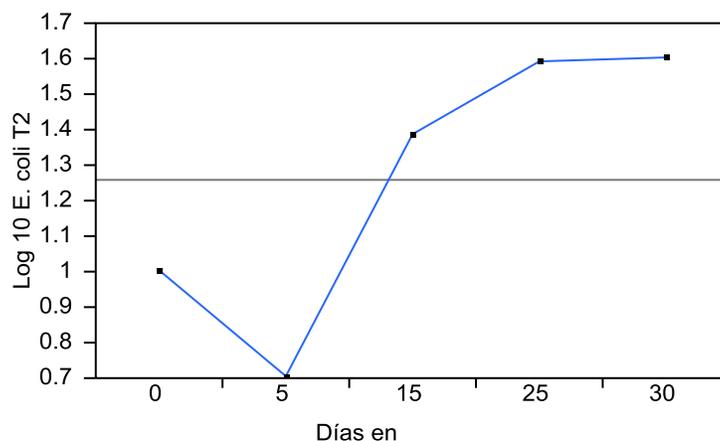
Gráfica 33. Remoción de coliformes totales en el filtro tubo 3

En el caso de E. coli el filtro tubo 1 reporta una reducción logarítmica de 1.2305 lo que indica un 95.15 % de remoción durante los 60 días de operación (Gráfica 34). No se tienen más datos debido a la obstrucción de la manguera de salida.



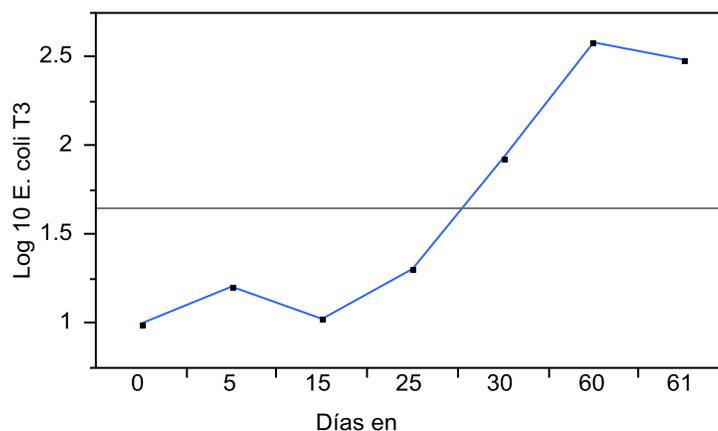
Gráfica 34. Remoción de E. coli en el filtro tubo 1

En el caso de E. coli el filtro tubo 2 reporta una reducción logarítmica de 1.2020 lo que indica un 92.49 % de remoción durante los 60 días de operación (Gráfica 35). No se tienen más datos debido a la obstrucción de la manguera de salida.



Gráfica 35. Remoción de E. coli en el filtro tubo 2

En el caso de E. coli el filtro tubo 3 reporta una reducción logarítmica de 1.5354 lo que indica un 96.22 % de remoción durante los 60 días de operación (Gráfica 36). A partir del día 30 de operación, es decir una vez formada la biocapa, se obtiene una reducción logarítmica superior a 2 lo que representa el 99 % de remoción.



Gráfica 36. Remoción de E. coli en el filtro tubo 3

Para la evaluación de los filtros se emplea agua proveniente del sedimentador secundario del proceso de lodos activados. El agua es caracterizada a la entrada y después del tiempo necesario para la formación de la biocapa se realizan análisis a la entrada y a la salida de los filtros para evaluar el porcentaje de remoción de microorganismos patógenos.

5. Conclusiones

Los prototipos evaluados (concreto y polietileno de alta densidad) evidencian un gran potencial de remoción demostrando ser una alternativa viable para ser empleada como sistemas de desinfección en comunidades rurales, marginadas o periurbanas en donde la carencia del vital líquido es parte de la cotidianidad.

6. Referencias bibliográficas

- [1] Arboleda, J. Teoría y práctica de la purificación del agua. Tomo 2. Tercera Edición. Mc Graw Hill. Bogotá, 2000.
- [2] Manz, D. Biosand Water Filter Technology Household concrete Design. 05/05/08, <http://www.manzwaterinfo.ca/documents/BioSand%20Water%20Filter%20-%20Development%20and%20Design%20April%2030,%202007.pdf>
- [3] Manz, D. Guidelines Preparation of Media for the Biosand Water Filter Four Layer Systems, 05/05/08, <http://www.manzwaterinfo.ca/documents/Four%20Layer%20System%20Simple%20Guidelines%20April%2030%202007.pdf>
- [4] UNESCO, Use of ceramic filters in Cambodia, 02/07/08 http://www.wsp.org/UserFiles/file/926200724252_eap_cambodia_filter.pdf