Proyecto Semilla: "Evaluación de Sistemas de Filtración Agua de Bajo de Costo para Consumo Humano"

Fernando Jarrín Pérez, Pablo Ramos Marcial, David Matamoros C.,PhD
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Gustavo Galindo, km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863, Guayaquil-Ecuador
fjarrin@espol.edu.ec; aramos@espol.edu.ec; dmata@espol.edu.ec

Resumen

En Ecuador, tenemos zonas que no cuentan con sistemas de potabilización de agua, ni sistema de tratamiento de aguas residuales, sobre todo en el área rural, siendo la perforación de pozos profundos el método común para extraer agua, así como para dar tratamiento a las aguas residuales (pozos sépticos). La construcción anti técnica de pozos sépticos puede provocar que el agua de estos se infiltre y descargue dentro de pozos de agua, así también una inundación puede rebosar los pozos mezclando el agua de los mismos e imposibilitando su consumo sin riesgo a enfermedades.

El presente proyecto evalúa dos sistemas de filtración caseros, un filtro biológico de arena y un filtro cerámico de arcilla, con precedentes de remover el 99.99% de bacterias y virus. Estos filtros son de fácil elaboración, mantenimiento y operación, y de muy bajo costo a fin de aplicarlos en comunidades de escasos recursos y como posible plan de contingencia ante inundaciones. Durante la experimentación se ha logrado remociones de hasta 99.8% de coliformes fecales y 99.7% de E. Coli en algunos de los casos.

Palabras Claves: *Filtro cerámico, filtro biológico, arenas, remoción de coliformes, pozos de agua, inundaciones.*

Abstract

In Ecuador, we have zones without drinking water systems neither waste water treatments, most of them in the rural areas, where digging deep holes is the usual way to extract water from the underground and to treat waste water (septic holes). Septic holes built without the correct techniques could discharge directly to ground water sources, contaminating them, also flooding can cover entirely all deep holes mixing the water inside them, and making impossible to drink this water without the risk of getting a disease.

The current project evaluates two household filtration systems; a biologic sand filter, and a ceramic filter, which have prove to remove 99.99% of virus and bacteria. These are easy elaboration, operation and maintenance systems, the production cost is very low, and they'd have an important application in low resources communities like contingency plans in case of flooding. During the experimentation, it has achieved 99.8% fecal coliform removal, and 99.7% E. Coli removal in some cases.

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]

El principio básico de la filtración es la remoción de microorganismos y materia particulada. 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.

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. El Dr. David H. Manz, ex profesor de ingeniería civil de la Universidad de Calgary, desarrolló en el año 1988 un filtro lento de arena, con aplicaciones caseras, con el fin de proveer de agua segura a comunidades en vías de desarrollo. Este filtro es utilizado en más de 50 países. Pruebas han mostrado que el filtro de Manz retira 100 por ciento del *Giardia lamblia*, 99,98 por ciento del *Cryptosporidium* y más de 90 por ciento del colibacilo E. (*Escherichia*). [2]

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 países como el nuestro, la turbiedad del agua cruda puede verse incrementada por las épocas lluviosas que arrastran sedimentos y los depositan en las fuentes de abastecimientos.

Ante esta limitante de los filtros lentos de arena, una posible alternativa son los filtros cerámicos de arcilla, los cuales funcionan a semejanza de las piedras de filtrar usadas antaño. Estas se hicieron populares al remover de manera eficiente el alto contenido de sales e impurezas que ocasionaba enfermedades como la fiebre amarilla, fiebre bubónica o tifoidea que fueran la principal causa de defunción.

Los filtros cerámicos de arcilla son la solución más prometedora para tratamientos de agua a nivel casero en países en vías de desarrollo, sobre todo en zonas donde no se cuenta con una red de distribución de agua potable ni agua segura. Su uso ya ha sido implementado a gran escala en Cambodia con proyectos financiados por ONGs e instituciones gubernamentales con el apoyo de UNICEF.

Ingenieros británicos han desarrollado filtros de agua destinado a los países en vías de desarrollo que podrá ser fabricado por los artesanos locales, a partir de los materiales de cada región: sólo son necesarios arcilla, residuos de los cultivos y el calor de cualquier horno de alfarería. La fabricación del nuevo filtro es sencilla y da lugar a un colador microscópico que apresa las bacterias y virus dejando pasar el agua con una fiabilidad del 99,99%. [3]

En este contexto, el presente trabajo se ha desarrollado con la finalidad de evaluar estos sistemas de filtración de agua en sus aplicaciones a nivel casero, construidos con materiales propios del país, para determinar su eficiencia, costo y aplicabilidad a la realidad nacional como posible plan de contingencia en caso de graves inundaciones que deterioren la calidad de las fuentes de agua.

2. Objetivos

Evaluar la eficiencia de dos sistemas de filtración para depuración de agua, un filtro lento de arenas, y un filtro cerámico de arcilla, para analizar su posterior implementación en zonas rurales de escasos recursos económicos carentes de servicio de agua potable.

Determinar el grado de remoción de carga contaminante presente en el agua luego de pasar a través de un filtro lento de arena.

Determinar el grado de remoción de carga contaminante presente en el agua luego de pasar a través de un filtro cerámico de arcilla.

Comparar los potenciales de remoción entre un filtro lento de arena y un filtro cerámico de arcilla.

Determinar el costo unitario de fabricación de unidades de filtración caseras, y determinar la factibilidad de implementación en base a una relación costo-tiempo de vida útil.

3. Metodología

Para evaluar el sistema de filtración biológica de arena, se procede a construir columnas de filtración, constituidas con el material seleccionado para dicho proceso (arena silícea), con una altura del lecho filtrante igual a la de un filtro real, y granulometría determinada, en un área reducida que asemejen un diferencial de un filtro real, para con esto tener una idea del funcionamiento de un filtro lento de arena a escala real.

Se elaboran dos sets de columnas de filtración, uno se elabora con tubería de desagüe de 2 pulgadas de PVC, y accesorios de grifería para la captación del agua filtrada, y otro se elabora con columnas material filtrante dentro de buretas de cristal graduadas.

En el primer set, elaborado en PVC, se da tratamiento a agua del lago de Espol, y en el siguiente set de filtración dentro de buretas graduadas, se analiza la filtración de muestras de agua proveniente de tres fuentes distintas, agua de pozo subterráneo, agua de riachuelo, y agua de manantial.

Para evaluar el filtro cerámico de arcilla, se elabora tres filtros a base de arcilla y materia orgánica (tamo de arroz molido), variando la proporción de los materiales constituyentes de cada uno.

Cada unidad de filtración descansa sobre el borde de un recipiente plástico donde se recoge el agua ya filtrada. En el filtro cerámico de arcilla se va a tratar agua proveniente del lago de Espol, y agua de pozo subterráneo.

3.1 Descripción del Filtro de Arena

Cada unidad de filtración se compone de cuatro capas de material granular filtrante; capa de drenaje, capa de separación, capa de filtración y capa superior de filtración. Todas estas capas son colocadas dentro de tubería de PVC de dos pulgadas de diámetro, o dentro de buretas graduadas de 250 ml, siempre respetando las alturas de cada capa recomendadas en la bibliografía.

La capa de drenaje está ubicada en el fondo del filtro, está compuesta de material granular de tamaños entre 12.5mm a 6.25mm, permite el drenaje del agua proveniente de las capas superiores 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 no se encuentre en contacto del fondo del filtro. La altura debe ser de al menos 8 cm, puede ser de un material diferente al de las capas de filtración.

La capa de separación 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 3 cm y el tamaño de los granos debe estar entre 6.25mm y 3.125mm y pueden ser de un material diferente al de las capas de filtración.

La capa superior de filtración es la responsable de remover la mayor cantidad de carga contaminante debido a la estrechez entre los granos que la componen. Esta capa contiene las partículas más finas de material granular, los tamaños varía entre ½ y ¼ del tamaño de grano de la capa de filtración. El espesor de esta capa varía entre 4 y 6 cm.

La capa de filtración es la responsable de la completa desactivación de virus y total remoción de contaminantes. Junto con la capa superior de filtración son las que controlan los caudales a la salida del filtro. Esta capa se encuentra debajo de la capa superior de filtración, los diámetros de partículas no deben ser mayores a 3.125mm ni menores a 1 mm. El espesor conjunto de las capas (superior y filtración), debe ser de al menos 40 cm, y ambas deber ser del mismo material granular.

En las columnas de filtración en buretas graduadas, no se ha considerado las capas de separación y drenaje, debido a que no tienen la altura suficiente, por lo tanto, sólo se ha trabajado con las capa de filtración y capa superior de filtración, colocando en el fondo de la bureta una pequeña cantidad de lana de vidrio, que haga las veces de drenaje, y no permita que el material granular tapone la salida de la bureta. [4]

3.2 Elaboración del Filtro de Arena

Para evaluar la filtración lenta en arena, se diseñaron dos tipos de unidades de filtración, en tubería PVC de dos pulgadas de diámetro y en buretas transparentes graduadas de 250 ml de capacidad. Para las unidades en tubería de PVC es necesario agregar accesorios de grifería para adecuar la recolección del efluente filtrado a la salida. Las buretas graduadas disponen de un sistema para la salida de fluidos a través de ellas, por lo tanto sólo es necesario colocar las diferentes capas de material filtrante dentro como se menciona más adelante.

Una vez construidas las unidades de filtración, se procede a colocar en material granular de filtrante de acuerdo a las indicaciones mencionadas a continuación:

1. El primer paso es definir la altura de los diferentes estratos de medio filtrante dentro de las columnas de PVC. Si las columnas son transparentes, se puede medir las alturas del material desde la parte externa de las mismas. Se decide utilizar 12.5 cm de capa de drenaje, 4 cm de capa de separación, 35 cm de capa de filtración y 5 cm de capa superior de filtración.
2. En tubería de PVC, se procedió a realizar varios cortes a las alturas determinadas para

cada capa, de modo que sirvan medida para la construcción de todas las columnas.

3. Usando las medidas hechas en PVC, se obtiene la cantidad de material necesaria para cada capa filtro, se coloca el material en fundas plásticas previamente etiquetadas con la descripción del material y la capa que constituye, de manera que el material esté listo para ser colocado dentro del filtro.

4. Previo a colocar el material dentro de las columnas, se debe llenar con agua hasta una altura igual a la de la capa de drenaje, que es la primera en ser colocada (Añadir el material granular con la columna llena de agua, evita la formación de vacíos entre los granos del material filtrante; éstos ocasionarían obstrucción y reducción del caudal de salida).
5. Añadir el material de la **capa de drenaje** lentamente dentro de la columna. Con ayuda de un flexómetro se constata de que el material dentro de la columna de filtración tenga la altura adecuada.
6. Añadir el material de la **capa de separación.** Para esta acción no es necesario colocar agua dentro de la columna de PVC, puesto que la anteriormente añadida ha subido su nivel debido al material de drenaje.
7. Verificar la altura del agua dentro de la columna de PVC, ésta no debe sobrepasar los 20 cm de sobrenadante.
8. Ir colocando rápidamente el material de la **capa de filtración**, procurando que nunca sobrepase la altura de agua. Esta acción de colocar rápido el material, evita la segregación, de lo contrario, las partículas gruesas se asentaría antes que las finas. Esto provocaría la formación de otro estrato no planeado dentro de la columna de filtración. Es primordial que la **capa de filtración** sea homogénea en toda su longitud.
9. Colocar el material de la **capa superior de filtración.** Raspar la superficie de esta capa, ya sea con la mano, o con un cepillo, remover el sobrenadante con algún recipiente de modo que se elimine gran parte del material suspendido. La presencia de material suspendido afectará al caudal de salida del filtro.
10. Para las columnas que van a trabajar con la adición de zeolita se debe colocar sobre la capa superior de filtración, una capa de 5 cm de zeolita natural de un tamaño nominal entre 1 y 3 mm.
11. Verificar el caudal, midiendo en minutos el tiempo que le toma a la columna filtrar cierta cantidad previamente establecida de agua. Luego dividimos el volumen de agua filtrado para el tiempo medido.
12. Se recomienda un caudal máximo de 600 lph/m^2 (litros por hora por metro cuadrado). El caudal no debe estar muy por debajo de este valor, en caso de tener un caudal superior o muy inferior al lo recomendado se debe ajustar el material de la **capa de filtración** y **capa superior de filtración**. Si el caudal se encuentra por sobre los 600 lph/m^2 se debe a una falta de material fin en la capa superior de filtración, si el caso fuera lo contrario, un caudal muy reducido, entonces se trata de un exceso de finos, para lo cual podemos lavar el material y de esa manera eliminar la partículas más pequeñas.

3.3 Descripción del Filtro de Arcilla

El filtro cerámico, es un filtro de arcilla cocida, semejante a una vasija de barro, pero con una adición de materia orgánica entre el 20 al 30% a la mezcla tradicional, lo que le otorga unas características especiales al resultado final.

La arcilla, por sí sola, es un material impermeable, pero, la adición de materia orgánica produce que, al momento de la cocción de la arcilla, debido a las elevadas temperaturas, la materia orgánica desprenda gas carbónico, el cual, forma diminutos poros en la masa de arcilla, que luego permiten la filtración de agua, y retiene el 99.9% de bacterias. [5]

El filtro de arcilla es una buena opción para zonas que carezcan de fuentes agua segura para el consumo, ya que entre sus cualidades está el ser de muy fácil construcción y mantenimiento, y de tamaño práctico como para ser ubicado dentro de la cocina.

Un filtro casero de arcilla, produce un volumen de entre 8 a 12 litros de agua por día. Volúmenes muy elevados, por sobre los 15 litros por día, son señal de fracturas en los filtros. De presentarse fracturas, el filtro que inservible, puesto que no asegura la eliminación de bacterias.

3.4 Elaboración del Filtro de Arcilla

Los filtros cerámicos de arcilla, son filtros artesanales, de manera que se los puede construir con la ayuda de cualquier maestro alfarero usando las técnicas tradicionales de trabajo manual.

En la página web del cantón Samborondón de la provincia del Guayas, entre sus actividades tradicionales y representativas se menciona la alfarería. En este sitio se elaboran los filtros cerámicos para el presente trabajo.

El proceso de preparación de la arcilla lo realiza enteramente el maestro alfarero, basándose en su experiencia para escoger el mejor material de depósitos cercanos en los cerros del cantón, cuya ubicación no ha sido revelado por celo profesional. En la alfarería cuentan con suficiente material almacenado y listo para la preparación de los filtros, se trata de una mezcla de arcilla con un 10% de arena, con la que se hacen pellas de alrededor de 20 libras de peso que son almacenadas a la sombra para que no resequen con el sol y no pierda plasticidad el material.

Se requieren 20 libras de material, entre arcilla y cáscara de arroz, para elaborar cada unidad de filtración. Los filtros se los fabrica en tres proporciones diferentes de agregado de cáscara de arroz, teniendo mezclas con 25%, 20%, y una última sin agregar materia orgánica.

El procedimiento se construcción se describe en los siguientes pasos:

1. Con ayuda de una balanza pesar 15 libras de arcilla y 5 para una mezcla al 25%, ó 16 libras de arcilla y 4 de cáscara de arroz para una mezcla al 20%.
2. Mezclar vigorosamente hasta conseguir una masa uniforme y homogénea.
3. Si se requiere, añadir agua a la mezcla para dar consistencia y mejorar su trabajabilidad.
4. Llevar la mezcla al torno, y formar las vasijas de 32 cm de diámetro superior, 20cm de diámetro en el fondo, y una altura de 20 cm.
5. Dejar reposar bajo sombra durante el primer día, y colocar a secar bajo el sol el día siguiente.
6. Llevar al horno a temperaturas entre 800 y 900º C
7. Retirar del horno, esperar a que se enfríe el filtro, colocar agua dentro, y verificar la tasa de filtración.

4. Análisis de resultados

En las tablas a continuación se presentan los datos obtenidos de las muestras de agua cruda y luego de los diferentes procesos de filtración (arena, arena más zeolita, arcilla), para tres diferentes tipos de fuentes de agua. Se analiza agua de pozo, agua de manantial y agua de río, las tres fuentes están ubicadas al sur de de la provincia de Manabí. Se calcula el porcentaje de remoción para cada medición.

Tabla 1. Presencia de coliformes fecales en agua de manantial a la entrada y salida del proceso de filtración con arena.

FUENTE: MANANTIAL		
FILTRO DE ARENA		
ENTRADA UFC/100ml	**SALIDA UFC/100ml**	**% REMOCIÓN UFC/100ml**
4500	**100**	**97.78**
800	**1**	**99.88**
400	**1**	**99.75**

Figura 1. Presencia de coliformes fecales en agua de manantial a la entrada y salida del proceso de filtración con arena

Tabla 2. Presencia de E. Coli en agua de manantial a la entrada y salida del proceso de filtración con arena.

FUENTE: MANANTIAL		
FILTRO DE ARENA		
ENTRADA UFC/100ml	**SALIDA UFC/100ml**	**% REMOCIÓN UFC/100ml**
100	**1**	**99,00**
200	**1**	**99,50**
300	**1**	**99,67**

Figura 2 Presencia de E. Coli en agua de manantial a la entrada y salida del proceso de filtración con arena.

Tabla 3. Presencia de coliformes fecales en agua de río a la entrada y salida del proceso de filtración con arena y zeolita.

FUENTE: RIO		
FILTRO DE ARENA + ZEOLITA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
7400	5400	27.03
5100	3700	27.05
2600	500	80.77

Figura 3. Presencia de coliformes fecales en agua de río a la entrada y salida del proceso de filtración con arena y zeolita.

Tabla 4. Presencia de E. Coli en agua de río a la entrada y salida del proceso de filtración con arena y zeolita.

FUENTE: RIO		
FILTRO DE ARENA + ZEOLITA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
2500	1300	48.00
3100	700	77.42
1000	1	99.9

Figura 4. Presencia de E. Coli en agua de río a la entrada y salida del proceso de filtración con arena y zeolita.

Tabla 5. Presencia de coliformes fecales en agua de pozo a la entrada y salida del proceso de filtración con arcilla.

FUENTE: POZO		
FILTRO DE ARCILLA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
540	920	-70.37
340	610	-79.41
3000	2900	3.33
4800	1700	64.58
4000	10000	-150.00
8200	2100	74.39

Figura 5. Presencia de coliformes fecales en agua de pozo a la entrada y salida del proceso de filtración con arcilla.

Tabla 6. Presencia de E. Coli en agua de pozo a la entrada y salida del proceso de filtración con arcilla.

FUENTE: POZO		
FILTRO DE ARCILLA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
140	1	99.29
22	1	95.45
800	200	75.00
300	100	66.67
1800	100	94.44
3000	400	86.67

Figura 6. Presencia de E. Coli en agua de pozo a la entrada y salida del proceso de filtración con arcilla.

4. Conclusiones

Ninguno de los sistemas evaluados logra remover el 99.9% de microorganismos como se esperaba, mas evidencian un gran potencial de remoción.

El filtro lento de arena tiene un buen desempeño en remoción de microorganismos, registrando un promedio de 74.6% de remoción de coliformes fecales y 80.86% de remoción de E. Coli.

La variante del filtro de arena con adición de zeolita tuvo un desempeño menor, registrando 61.64% de remoción de coliformes fecales, y 79.29% de remoción de E. Coli.

Por su parte el filtro de arcilla muestra un aumento desmesurado de coliformes fecales en el agua luego de la filtración, lo que supone crecimiento microbiológico en el cuerpo del filtro de arcilla. Se registra un aceptable porcentaje de remoción promedio del 86.25% de E Coli.

Las columnas de filtración hechas en PVC, de igual manera que el filtro cerámico, muestran un incremento en la concentración de coliformes fecales luego de la filtración. Esto evidencia la formación de colonias dentro del cuerpo del filtro, o en el mecanismo de salida del agua filtrada..

La variante de filtración biológica de arena con zeolita se desempeña mejor en la remoción de contaminantes de tipo químico en comparación con la filtración solamente con arena.

5. Agradecimientos

Agradecemos el aporte del Dr. Paul Sallis, catedrático de la universidad de New Castle en Inglaterra, quien facilitó la información concerniente a la dosificación y elaboración de los filtros cerámicos de arcilla.

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] Instituto de la Ingeniería de España, *“Tendencias de la Ingeniería”*, 05/05/08, http://www.tendencias21.net/Crean-un-filtro-de-agua-a-base-de-arcilla-y-residuos-de-cultivos_a1173.html.

[4] 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

[5] UNESCO, “Use of ceramic filters in Cambodia”, 02/07/08 http://www.wsp.org/UserFiles/file/926200724252_eap_cambodia_filter.pdf