

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN**

NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN

Evaluación del funcionamiento de filtros de biocarbón/arcilla en la potabilización de agua, mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

Título a obtener: Ingeniero(a) Agrónomo

AUTORES.

Nombre, Apellidos	Institución y dirección	Teléfono y Correo electrónico	Firma
Br. Juan Francisco Escobar Ponce	Egresado de la Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas. Ilobasco, departamento de Cabañas.	7637-3950 franponce94@outlook.es	
Br. Verónica Sarahí Rodríguez Meza	Egresada de la Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas. San Salvador, departamento de San Salvador.	7850-9236 sarahi95rodriguez@gmail.com	
Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia	Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural.	7318-0554 earu_1663@yahoo.com.mx	
Lic. Claudia María Arriaza Alfaro	Centro de Formación Integral de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA).	6133-8304 claudia.arriaza@anda.gob.sv	
Lic. Freddy Alexander Carranza Estrada	Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Química Agrícola.	7860-3568 facekd@yahoo.es	

Visto bueno

Coordinador General de Procesos de Graduación Del Departamento: Ing. Agr. Rafael Antonio Espino Barahona	Firma:
Director General de Procesos de Graduación de la Facultad: Ing. Agr. M. Sc. Elmer Edgardo Corea Guillen	Firma:
Jefe del departamento: Ing. Agr. Edgar Marroquín Mena	Firma:
	Sello:
Lugar y fecha: Ciudad Universitaria, septiembre de 2018.	

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DIRECCION DE INVESTIGACIÓN**

TÍTULO

Evaluación del funcionamiento de filtros de biocarbón/arcilla en la potabilización de agua mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

AUTORES

Rodríguez-Meza, VS¹; Escobar-Ponce, JF¹; Rodríguez-Urrutia, EA²; Carranza-Estrada, FA³; Arriaza-Alfaro, CM⁴.

RESUMEN

Esta investigación se realizó en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador y en el Centro de Formación Integral de ANDA, con el propósito de evaluar la capacidad de filtración de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos que tienen los filtros de biocarbón/arcilla. Se utilizaron dos fuentes de agua para evaluar los filtros, una ubicada en el municipio de Ilobasco, departamento de Cabañas, en El Salvador, la cual fue agua de un pozo y seleccionada por presentar contaminación, y la segunda muestra fue del municipio de San Salvador, en el departamento de San Salvador, la cual era agua potable obtenida del grifo y preparada a nivel de laboratorio con concentraciones conocidas de metales pesados de Arsénico y Plomo. Se utilizaron dos filtros en Ilobasco y dos en San Salvador, en los cuales se filtraban cuatro litros de agua diariamente por unidad filtrante durante seis meses continuos, además, de cada fuente de agua se tomaba una muestra antes de filtrar el agua y otra muestra se tomaba después de filtrar el agua, los muestreos se hacían cada 15 días durante un periodo de seis meses, haciendo un total de 12 muestreos por cada fuente de agua durante toda la investigación.

Las muestras de agua cruda y filtrada fueron transportadas al laboratorio del Centro de Investigación y Desarrollo del Centro de Formación Integral de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (CFI-ANDA), donde se realizaron determinaciones microbiológicas analizando Coliformes Totales, *Escherichia Coli* y *Pseudomona aeruginosa*, para lo cual se tomaron cuatro muestras de 100 ml de agua filtrada, dos muestras por filtro y dos muestras de 100 ml del agua cruda, obteniendo un total de 6 muestras por fuente de agua para cada muestreo. Para el análisis de los parámetros fisicoquímicos las muestras se llevaron al laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, en donde se analizaron los parámetros de turbidez a través del método nefelométrico, metales pesados como Hierro, Arsénico y Plomo, utilizando el método de Absorción Atómica, y el Manganeso por el método colorimétrico, para estas determinaciones se tomaron dos muestras de 500 ml cada una de agua filtrada, una por filtro, y una muestra de 500 ml de agua cruda, haciendo un total de tres muestras por fuente de agua en cada muestreo.

¹ Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural, Estudiante Tesista.

² Director de la Estación Experimental y de Prácticas, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503) 7318-0554. earu_1663@yahoo.com.mx

³ Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Química Agrícola, Docente Director

⁴ Coordinadora del Centro de Investigación y Desarrollo de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados CIDE-ANDA.

Los resultados de los análisis fueron comparados con la Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable NSO 13.07.01:08, para verificar si los filtros tienen la capacidad de remoción de agentes contaminantes para brindar agua de calidad apta para el consumo humano.

Se calculó la remoción en porcentaje para cada parámetro estudiado, en donde el porcentaje promedio más alto de remoción de metales se obtuvo en el plomo con un 99.91%, para el arsénico fue de 87.84%, para hierro de 83.21% y el menor fue para manganeso con un 55.78%; en cuanto al parámetro físico de turbidez, el porcentaje de remoción fue de 98.77%; el mejor resultado de remoción microbiológica se obtuvo para *Escherichia coli* con un promedio de 95.49%, para Coliformes Totales fue de 54.90% y para *Pseudomona aeruginosa* fue 72.27%.

Los filtros de biocarbón/arcilla evaluados en esta investigación son eficientes en la remoción de los metales pesados plomo, arsénico, hierro y manganeso, y en la remoción de *Escherichia coli*, Coliformes Totales y *Pseudomona aeruginosa*, por lo que se consideran una alternativa viable en la filtración de agua para consumo humano.

Palabras clave: Agua filtrada, filtros de biocarbón/arcilla, muestreo, metales pesados, remoción, Coliformes Totales, *Escherichia coli*, *Pseudomona aeruginosa*.

ABSTRACT

This research was carried out in the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador and in the Integral Training Center of ANDA, with the purpose of evaluating the filtering capacity of physicochemical and microbiological contaminants that biochar/clay filters have. Two water sources were used to evaluate the filters, one located in the municipality of Ilobasco, department of Cabañas, in El Salvador, which was water from a well and selected for contamination, and the second sample was from the municipality of San Salvador, in the department of San Salvador, which was potable water obtained from the tap and prepared at the laboratory level with known concentrations of heavy metals of arsenic and lead. Two filters were used in Ilobasco and two in San Salvador, in which four liters of water were filtered daily by filtering unit for six continuous months, in addition, from each water source a sample was taken before filtering the water and another sample was collected after filtering the water, sampling was done every 15 days for a period of six months, making a total of 12 samplings per water source during the entire investigation.

Samples of raw and filtered water were transported to the laboratory of the Research and Development Center of the Integral Training Center of the National Administration of Aqueducts and Sewers (CFI-ANDA), where microbiological determinations were made analyzing Total Coliforms, *Escherichia Coli* and *Pseudomonas aeruginosa*, for which four samples of 100 ml of filtered water, two samples per filter and two samples of 100 ml of raw water were taken, obtaining a total of 6 samples per water source for each sampling. For the analysis of the physicochemical parameters, the samples were taken to the Agricultural Chemistry Laboratory of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador, where the turbidity parameters were analyzed through the nephelometric method, heavy metals such as Iron, Arsenic and Lead, using the method of Atomic Absorption, and Manganese by the colorimetric method, for these determinations two samples of 500 ml each of filtered water were taken, one per filter, and a sample of 500 ml of raw water, making a total of three samples per water source in each sampling.

The results of the analyzes were compared with the Mandatory Salvadoran Norm of Drinking Water NSO 13.07.01: 08, to verify if the filters have the capacity to remove pollutants to provide quality water suitable for human consumption.

The percentage removal was calculated for each parameter studied, where the highest average percentage of metal removal was obtained in lead with 99.91%, for arsenic it was 87.84%, for iron 83.21% and the lowest was for manganese with 55.78%; Regarding the

physical parameter of turbidity, the removal percentage was 98.77%; the best result of microbiological removal was obtained for *Escherichia coli* with an average of 95.49%, for Total Coliforms it was 54.90% and for *Pseudomonas aeruginosa* it was 72.27%.

The biochar/clay filters evaluated in this research are efficient in the removal of heavy metals such as lead, arsenic, iron and manganese, and in the removal of *Escherichia coli*, Total Coliforms and *Pseudomonas aeruginosa*, so they are considered a viable alternative in the filtration of water for human consumption.

Key words:

Filtered water, biochar/clay filters, sampling, heavy metals, removal, Total coliforms, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*.

1. INTRODUCCIÓN

La situación del recurso hídrico en El Salvador es un tema de gran importancia por ser indispensable para la vida y el recurso natural renovable más estratégico para el desarrollo económico y el progreso social del país; sin embargo, la degradación y contaminación cada día son más evidentes y preocupantes, por lo que buscar alternativas que ayuden a las poblaciones rurales a solucionar este problema es indispensable para contribuir a mejorar la calidad de vida de las personas y al desarrollo del país (UNES 2011).

En los tratamientos de agua para consumo humano se presta especial atención a la eliminación de materiales orgánicos como bacterias y parásitos, e inorgánicos como los metales pesados: Mercurio, Cromo, Cobalto, Níquel, Cobre, Cadmio, Plomo, Arsénico, Hierro, entre otros, que son peligrosos y ocasionan daños al organismo (Acosta 2015).

Una alternativa en el tratamiento de agua para consumo humano es el uso del carbón activado, el cual, frente a numerosos adsorbentes orgánicos e inorgánicos, puede utilizarse en filtros para agua potable, donde la unidad de filtración se produce de tres materiales naturales que son la arcilla, el aserrín y la plata coloidal (Marsh y Rodríguez 2006).

La arcilla crea canales microscópicos donde atrapa todos los contaminantes que existan en el agua incluyendo sólidos, bacterias y parásitos. El aserrín se convierte en carbón activado durante el proceso de horneado y éste elimina el mal olor, sabor, turbiedad y retiene los metales pesados. La plata coloidal se impregna en la superficie de la unidad filtrante y funciona como un bactericida, generando así agua de buena calidad (Ibarra 2016).

La Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08, aplica en el territorio nacional y considera todos los servicios públicos, municipales y privados, sea cual fuere el sistema o red de distribución, en lo relativo a la prevención y control de la contaminación de las aguas. El agua para consumo humano no debe ser un vehículo de transmisión de enfermedades, por lo que es importante establecer parámetros y sus límites máximos. (CONACYT 2009).

En El Salvador los filtros de biocarbón/arcilla son elaborados de forma artesanal y se desconocía de información científica que asegurara que los filtros son efectivos en la remoción de agentes contaminantes, lo que motivo a realizar esta investigación, a través de la cual se evaluó la capacidad de remoción durante seis meses continuos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador y en el Centro de Formación Integral de ANDA.

Los filtros fueron donados por la cooperativa Juventud Rural de R. L., los cuales son elaborados por jóvenes artesanos de la zona del Bajo Lempa, en el municipio de Tecoluca, departamento de San Vicente, a base de arcilla, biocarbón de cascarilla de arroz y un baño de plata coloidal, los cuales tienen la capacidad de filtrar hasta 24 litros de agua por día, lo que permite cubrir la necesidad de agua de al menos siete personas adultas a un costo de \$ 0.003 dólares/litro. Los filtros se comercializan en El Salvador con el nombre de Biofiltros.

El método de investigación fue de tipo experimental, para el cual se utilizaron dos fuentes de agua para evaluar los filtros (figura 1), una proveniente de un pozo del caserío Guadalupe, cantón San José, municipio de Ilobasco, departamento de Cabañas, la cual fue seleccionada por presentar contaminación, y la otra fuente fue agua potable del municipio de San Salvador en el departamento de San Salvador, proveniente de grifo, a la cual se le adicionó concentraciones conocidas de plomo y arsénico a nivel de laboratorio. En los dos casos se le dio un uso continuo a los filtros de biocarbón/arcilla, ya que todos los días y durante seis meses se vertían cuatro litros de agua a cada uno de los filtros, recolectando cada 15 días dos muestras de agua por cada filtro, antes y después de filtrar, con el propósito de ser analizadas en el laboratorio para comprobar si cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable NSO 13.07.01:08.

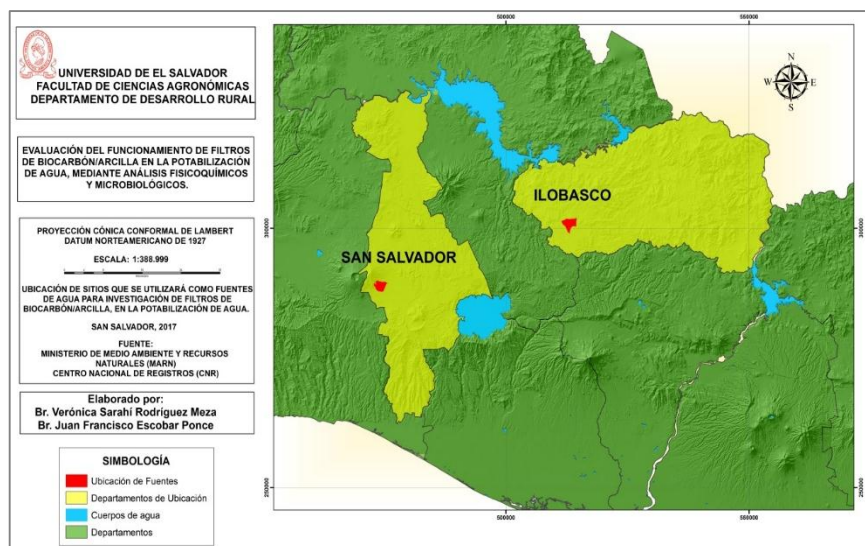


Figura 1. Ubicación de fuentes de agua para evaluación de los filtros de biocarbón/arcilla.

2.2 Metodología de campo

Inicialmente se procedió a preparar los filtros, para esto se realizó un lavado con agua de grifo, luego se enjuagaron las unidades filtrantes con agua hervida, los bidones se lavaron con 5 ml de lejía (Hipoclorito de Sodio) para evitar posibles contaminantes que se hayan contraído durante el transporte de los filtros, posteriormente fueron utilizados continuamente durante seis meses para evaluar su funcionamiento.

2.2.1. Investigación en Ilobasco

Previo a la selección del lugar en donde se tomaría el agua a filtrar, se envió al laboratorio una muestra del agua de un pozo ubicado en el cantón San José en Ilobasco, para conocer el contenido de parámetros físico-químicos y microbiológicos, y evaluar si podía ser utilizada en la investigación, donde se determinó que estaba contaminada con niveles de manganeso arriba de 8 mg/l y de hierro arriba de 3 mg/l, por lo que era un excelente punto de muestreo para la investigación.

2.2.2. Investigación en San Salvador

En los dos filtros se usó agua potable preparada a nivel de laboratorio, ya que se les agregaron concentraciones conocidas de plomo y arsénico. El agua se preparó con una concentración de 1 mg/l de arsénico, agregando un mililitro de Arsenito de Sodio de una concentración de 1,000 mg/l de Arsénico en un litro de agua, además, se adicionó un mililitro de Nitrato de Plomo a una concentración de 1,000 mg/l de plomo en el litro de agua para llegar a una concentración de 1 mg/l de plomo, obteniendo agua con plomo y arsénico a un nivel de concentración de 1 mg/l (Carranza 2015).

2.2.3. Muestreo

Las muestras de agua filtrada y de agua cruda fueron tomadas una vez cada 15 días para análisis microbiológicos y fisicoquímicos, para lo cual se utilizó papel toalla con alcohol para limpiar el grifo y se realizó un flameo del área de muestreo para evitar la entrada de agentes contaminantes a la muestra, usando guantes y mascarilla para prevenir cualquier contaminación por manejo del muestreador.

Las muestras que se utilizaron para análisis microbiológicos se colocaron en frascos de polietileno de 100 ml, estériles, herméticos, transportadas en hieleras con bloques refrigerantes (4 ° C) y entregados al laboratorio antes de 6 horas desde que se tomaron las muestras. Para el muestreo de parámetros físico-químicos se utilizaron frascos de polietileno de 250 ml y el método de preservación antes mencionado. Al momento de la toma de la muestra se midió la temperatura del agua (Carranza 2015).

Las muestras fueron identificadas con una etiqueta que tenía la siguiente información: nombre del muestreador, fecha y hora del muestreo, punto de muestreo (grifos de filtros y fuentes de agua cruda), tipo de muestra, temperatura del agua y parámetros a determinar para realizar el análisis.

2.3. Metodología de laboratorio

En la parte microbiológica se realizaron determinaciones de Coliformes Totales, *Escherichia coli* y *Pseudomona aeruginosa*, a través del método enzimático, el cual consiste en adicionar un sustrato en la muestra y sembrar en una charola Quanti-Tray, luego sellar la charola con calor, para posteriormente introducir en incubadoras VWR por 24 horas, los resultados se expresan en Número Más Probable/100 ml (NMP/100 ml). Para las determinaciones físicas de turbidez se utilizó un Turbidímetro LaMotte, el cual realiza la determinación a través del método Nefelométrico, obteniendo resultados en NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez). Para el análisis de los elementos químicos se usó el método de Absorción Atómica para Hierro, Arsénico y Plomo, a través de un Espectrofotómetro Shimadzu; en el caso del Manganeso se utilizó el método colorimétrico, introduciendo la muestra en un fotómetro NOVA 60, marca MERCK, para su posterior lectura. Los resultados obtenidos fueron expresados en mg/l.

Los parámetros que se determinaron en Ilobasco y en San Salvador se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Determinaciones por lugar de muestreo.

Determinaciones para Ilobasco			Determinaciones para San Salvador		
Microbiológicas	Físicas	Químicas	Microbiológicas	Físicas	Químicas
Coliformes Totales	Turbidez	Hierro	Coliformes totales	Turbidez	Plomo
<i>Escherichia coli</i>		Manganeso	<i>Escherichia coli</i>		Arsénico
<i>Pseudomona aeruginosa</i>			<i>Pseudomona aeruginosa</i>		

Fuente: Elaboración propia (2018).

2.4 Metodología estadística

Para evaluar los resultados de las muestras de agua cruda y del agua filtrada de la fuente de agua de Ilobasco y de San Salvador se utilizó la prueba “t” de Student, para comparar las medias y las desviaciones estándar de grupos de datos y determinar si las diferencias entre esos parámetros son estadísticamente significativas o si sólo son diferencias aleatorias, se utilizó un nivel de confianza del 95% (Balzarini et al 2008).

En Ilobasco se utilizaron dos filtros y en San Salvador se utilizaron otros dos filtros, haciendo un total de cuatro unidades. Para las determinaciones fisicoquímicas (turbidez, manganeso, hierro, arsénico y plomo) se realizaron dos repeticiones por muestra, es decir, que por cada muestreo se realizaban cuatro determinaciones por cada parámetro para el agua filtrada y dos para el agua cruda. Para los parámetros microbiológicos (Coliformes Totales, *Escherichia coli* y *Pseudomona aeruginosa*) se analizaba una muestra de cada filtro, es decir, que se realizaban dos determinaciones de cada parámetro del agua filtrada y una determinación para el agua cruda por muestreo (cuadro 2). Para hacer el análisis de datos se usó el programa estadístico InfoStat, teniendo un criterio de aceptación o rechazo de la hipótesis.

Cuadro 2. Repeticiones por parámetro para cada muestreo.

Zona	Puntos de muestreos		Parámetros fisicoquímicos (Repeticiones)	Parámetros microbiológicos (Repeticiones)
Muestreo en Ilobasco	Grifos de filtros	Filtro 1 (ILO 01)	2	1
		Filtro 2 (ILO 02)	2	1
	Agua cruda (pozo)		2	1
Determinaciones por parámetro en cada muestreo			6	3
Muestreo en San Salvador	Grifos de filtros	Filtro 1 (UES 01)	2	1
		Filtro 2 (UES 02)	2	1
	Agua preparada		2	1
Determinaciones por parámetro en cada muestreo			6	3

Fuente: Elaboración propia (2018)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados de parámetros microbiológicos

3.1.1 Coliformes Totales

Los Coliformes Totales fueron detectados porque poseen la enzima β -galactosidasa, la cual reacciona con el sustrato Ortonitrofenil β -D galactopiranosida (ONPG), formando un complejo, produciendo un viraje de incoloro a amarillo (Sierra 2011), lo que permitió cuantificar las bacterias. Los resultados ideales deben ser menor a 1.1 NMP/100 ml, según la Norma Salvadoreña para Agua Potable NSO 13.07.01:08 (CONACYT 2009).

Los resultados de remoción de Coliformes Totales en los filtros de biocarbón/arcilla utilizados en Ilobasco fue hasta del 98.51% (muestreo 5), a pesar de las altas concentraciones de Coliformes Totales a los que fueron sometidos (cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados de Coliformes Totales en Ilobasco.

Muestreo	Fecha	Agua cruda (ILO) (NMP/100 ml)	Agua filtrada (ILO 01) (NMP/100 ml)	Agua filtrada (ILO 02) (NMP/100 ml)	Norma (NMP/100 ml)	Remoción (%)
1	11/05/2017	2,419.60	193.50	224.70	<1.1	91.36
2	12/06/2017	2,419.60	1,203.30	13.10	<1.1	74.86
3	04/07/2017	2,419.60	517.20	1,986.30	<1.1	48.27
4	11/07/2017	2,419.60	2,419.60	2,419.60	<1.1	0.00
5	26/07/2017	2,419.60	59.10	13.10	<1.1	98.51
6	15/08/2017	2,419.60	1,732.90	224.70	<1.1	59.55
7	30/08/2017	2,419.60	387.30	135.40	<1.1	89.20
8	13/09/2017	2,419.60	307.60	20.10	<1.1	93.23
9	27/09/2017	2,419.60	2,419.60	2,419.60	<1.1	0.00
10	11/10/2017	2,419.60	2,419.60	2,419.60	<1.1	0.00
11	25/10/2017	2,419.60	2,419.60	1,415.60	<1.1	20.75
12	08/11/2017	2,419.60	770.10	48.00	<1.1	83.09
Promedio		2,419.60	1,237.45	944.98	-	54.90

Fuente: Elaboración propia (2018).

El agua potable de San Salvador preparada con plomo y arsénico en el laboratorio, tenía bajas poblaciones de Coliformes Totales antes de filtrar, siendo la mayor de 16 NMP/100 ml (cuadro 4); sin embargo, en el agua filtrada (filtro UES 01 y filtro UES 02) se encontró altas poblaciones de Coliformes Totales en los muestreos 1, 5 y 8, probablemente por acumulación de bacterias de tratamientos anteriores, siendo el quinto muestreo el que mayor porcentaje obtuvo (816.40 NMP/100 ml), lo que indica que el filtro es susceptible a crecimiento microbiano al ser contaminado.

A pesar de las bajas concentraciones a las que fueron sometidos los filtros de biocarbón/arcilla utilizados en San Salvador, se obtuvo un porcentaje de remoción de 5.125%, debido a que el contenido de Coliformes Totales en el agua potable es casi nula en la mayoría de muestreos.

Cuadro 4. Resultados de Coliformes Totales en San Salvador.

Coliformes Totales						
Muestreo	Fecha	Agua preparada (NMP/100 ml)	Agua filtrada. Filtro 1 (UES 01) (NMP/100 ml)	Agua filtrada. Filtro 2 (UES 02) (NMP/100 ml)	Norma (NMP/100 ml)	Remoción (%)
1	04/07/2017	14.80	35.50	93.30	<1.1	0.00
2	11/07/2017	16.00	1.00	14.60	<1.1	51.25
3	26/07/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
4	15/08/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
5	30/08/2017	6.30	179.30	816.40	<1.1	0.00
6	13/09/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
7	27/09/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
8	11/10/2017	4.10	21.80	5.20	<1.1	0.00
9	25/10/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
10	08/11/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
Promedio		4.72	24.36	93.55	-	5.125

Fuente: Elaboración propia (2018).

En el agua cruda de Ilobasco no se pudo utilizar la prueba “t” de Student para comparar Coliformes Totales con la Norma Salvadoreña para Agua Potable NSO 13.07.01:08, por ser ambos valores constantes durante todos los muestreos. Para el agua preparada de San Salvador se realizó la prueba “t” de Student para comparar Coliformes Totales con la Norma, obteniendo un valor de t de Student calculada de 0.0630, que es mayor del dato a comparar de 0.0001, es decir, que no tienen diferencias significativas las medias comparadas, por tanto, los valores de agua preparada eran adecuados debido a que estos no debían ser muy lejanos a la Norma al ser agua de la red de distribución.

Al comparar el agua preparada de San Salvador con el agua filtrada no se obtuvo significancia en ninguno de los filtros respecto a Coliformes Totales, es decir, que los niveles de bacterias tanto antes como después de la filtración son promedios de valores similares. Para la zona de Ilobasco la “t” de Student no obtuvo diferencia entre los promedios del agua filtrada y el agua cruda, esto a pesar de tener un promedio final de remoción de 54.90%.

Lerma (2007) realizó investigaciones sobre la capacidad de potabilización de los filtros cerámicos, los objetivos de su estudio fueron la evaluación de la efectividad microbiológica de los filtros fabricados localmente contra agentes patógenos y virales bajo condiciones de campo y laboratorio, los resultados en todos los casos fueron que los filtros reducen más del 50% de Coliformes Totales.

3.1.2 *Escherichia coli*

En el pozo de Ilobasco todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de *Escherichia coli* por arriba de la Norma Salvadoreña para Agua Potable NSO 13.07.01:08; en el caso del agua filtrada la mayoría de análisis resultaron con valores de *Escherichia coli* por arriba de la Norma, a excepción de los análisis realizados en los muestreos 4, 6, 8 y 12, los cuales cumplieron con la Norma Salvadoreña para Agua Potable NSO 13.07.01:08, ya que los valores de *Escherichia coli* resultaron por debajo 1.1 NMP/100 ml para ambos filtros, con un porcentaje de remoción de hasta el 99.96%.

Cuadro 5. Resultados de *Escherichia coli* en Ilobasco.

Muestreo	Fecha	Agua cruda (ILO) (NMP/100 ml)	Agua filtrada (ILO 01) (NMP/100 ml)	Agua filtrada (ILO 02) (NMP/100 ml)	Norma (NMP/100 ml)	Remoción (%)
1	11/05/2017	2,419.60	82.00	35.00	<1.1	97.58
2	12/06/2017	2,419.60	648.80	43.70	<1.1	85.69
3	04/07/2017	2,419.60	86.20	10.90	<1.1	97.99
4	11/07/2017	2,419.60	1.00	1.00	<1.1	99.96
5	26/07/2017	2,419.60	3.10	1.00	<1.1	99.92
6	15/08/2017	117.20	1.00	1.00	<1.1	99.15
7	30/08/2017	365.40	3.10	6.30	<1.1	98.71
8	13/09/2017	307.60	1.00	1.00	<1.1	99.67
9	27/09/2017	1,119.90	36.90	13.10	<1.1	97.77
10	11/10/2017	30.40	10.80	1.00	<1.1	80.59
11	25/10/2017	21.30	2.00	2.00	<1.1	90.61
12	08/11/2017	57.80	1.00	1.00	<1.1	98.27
Promedio		1,176.47	73.08	9.75	-	95.49

Fuente: Elaboración propia (2018).

En el agua de San Salvador, todos los resultados de los análisis de agua cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08 para *Escherichia coli* (cuadro 6), a excepción del primer muestreo que reportó 2 NMP/100 ml en el filtro UES 01, lo que indica que el agua potable posee una excelente calidad para el consumo humano.

Cuadro 6. Resultados de *Escherichia coli* en San Salvador.

<i>Escherichia coli</i>						
Muestreo	Fecha	Agua preparada (UES) (NMP/100 ml)	Agua filtrada (UES 01) (NMP/100 ml)	Agua filtrada (UES 02) (NMP/100 ml)	Norma (NMP/100 ml)	Remoción (%)
1	04/07/2017	1.00	2.00	1.00	<1.1	0.00
2	11/07/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
3	26/07/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
4	15/08/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
5	30/08/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
6	13/09/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
7	27/09/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
8	11/10/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
9	25/10/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
10	08/11/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
Promedio		1.00	1.10	1.00	-	0.00

Fuente: Elaboración propia (2018).

Se realizó la prueba "t" de Student para conocer si existe diferencia significativa entre los promedios de agua filtrada y los parámetros analizados de la Norma, para la zona de

Llobasco se encontro significancia en ambos filtros, es decir, que se obtuvieron valores menores de 0.0001, por lo tanto, el filtrado del agua genera un cambio importante en la concentración de dicha bacteria en el agua. Las comparaciones en San Salvador no se realizaron debido a que no existía diferencia entre promedios, lo que indica que las características del agua se mantienen antes y después de filtrarla.

Ibarra (2016) en un estudio sobre filtros caseros obtuvo promedios de remoción de *Escherichia coli* mayores de 90%, lo que permitió recomendar dichos filtros para tratamiento de agua destinada al consumo humano.

Según Ludeña y Tinoco (2010), los filtros de arcilla con baño de plata coloidal remueven agentes microbianos, porque en todas las muestras de agua filtrada, se obtuvo una gran diferencia en relación con el agua de referencia (agua antes de filtrar), logrando remociones de 99.99%.

Rayner (2009) menciona en una investigación que de 15 hogares que tenían *Escherichia coli* en su fuente de agua potable, ocho (53%) resultaron negativos para *E. coli* después de la filtración en filtros cerámicos. Además, realizaron pruebas de calidad del agua después de que distribuyeron 1,000 filtros cerámicos y los resultados demostraron que después de un año de uso, el 99% de los filtros producían agua que caía en un rango de "bajo riesgo" de menos de 10 NMP.

3.1.3 *Pseudomona aeruginosa*

En el agua filtrada del pozo de Llobasco la mayoría de análisis resultaron con valores de *Pseudomona aeruginosa* por arriba de la Norma, a excepción de los análisis de los muestreos 2, 7, 9 y 11, los cuales cumplieron con la Norma Salvadoreña obligatoria para Agua Envasada NSO 13.07.02:08, para ambos filtros, con un porcentaje de remoción de hasta el 99.96% (cuadro 7).

Cuadro 7. Resultados de *Pseudomona aeruginosa* en Llobasco.

<i>Pseudomona aeruginosa</i>						
Muestreo	Fecha	Agua cruda (ILO) (NMP/100 ml)	Agua filtrada (ILO 01) (NMP/100 ml)	Agua filtrada (ILO 02) (NMP/100 ml)	Norma (NMP/100 ml)	Remoción (%)
1	12/06/2017	2,419.60	3.10	37.30	<1.1	99.17
2	04/07/2017	2,419.60	1.00	1.00	<1.1	99.96
3	11/07/2017	2,419.60	4.10	24.60	<1.1	99.41
4	26/07/2017	2,419.60	14.80	1.00	<1.1	99.67
5	15/08/2017	2,419.60	12.10	1.00	<1.1	99.73
6	30/08/2017	47.30	4.10	1.00	<1.1	94.61
7	13/09/2017	2,419.60	1.00	1.00	<1.1	99.96
8	27/09/2017	2,419.60	19.70	2,419.60	<1.1	49.59
9	11/10/2017	100.60	1.00	1.00	<1.1	99.01
10	25/10/2017	4.10	5.20	14.60	<1.1	0
11	08/11/2017	21.30	1.00	1.00	<1.1	95.31
Promedio		1,555.50	6.10	227.55	-	85.58

Fuente: Elaboración propia (2018).

En San Salvador todos los resultados de los análisis de agua cumplen con la Norma Salvadoreña obligatoria para Agua Envasada NSO 13.07.02:08 para *Pseudomona aeruginosa* (cuadro 8), lo que indica que el agua potable posee una excelente calidad para el consumo humano, los filtros de biocarbón/arcilla no tuvieron nada que remover y no hubo contaminación por manejo.

Cuadro 8. Resultados de *Pseudomona aeruginosa* en San Salvador.

<i>Pseudomona aeruginosa</i>						
Muestreo	Fecha	Agua preparada (UES) (NMP/100 ml)	Agua filtrada (UES 01) (NMP/100 ml)	Agua filtrada (UES 02) (NMP/100 ml)	Norma (NMP/100 ml)	Remoción (%)
1	04/07/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
2	11/07/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
3	26/07/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
4	15/08/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
5	30/08/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
6	13/09/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
7	27/09/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
8	11/10/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
9	25/10/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
10	08/11/2017	1.00	1.00	1.00	<1.1	0.00
Promedio		1.00	1.00	1.00	-	0.00

Fuente: Elaboración propia (2018)

La prueba de “t” Student se aplicó a los datos de Ilobasco, en los cuales no se obtuvo significancia, sin embargo, los valores calculados estuvieron muy cerca del valor condicionante para ser aceptados (<0.0001), siendo estos de 0.0007 y 0.0001, lo que significa que los niveles de *P. aeruginosa* en el agua antes y después de filtrar se encontraban lejanos, sin embargo, no se logró que se comprobara una distancia de promedios estadísticamente significativa.

La prueba “t” de Student no se realizó para la zona de San Salvador debido a que los promedios del agua antes y después de filtrar fueron iguales al de la Norma, por lo que no es aplicable la prueba.

Klarman (2009) menciona en una investigación que la máxima velocidad del flujo inicial para que un filtro de biocarbón/arcilla funcione correctamente es de 1.7 L/h; y que ninguno de los diseños alternativos que tenían tasas de flujo más rápidas tenían una mejor reducción de agentes contaminantes, además, se obtuvieron remociones arriba del 99% con dicho caudal.

3.2. Resultados fisicoquímicos

3.2.1 Resultados de Manganeseo

En el pozo de Ilobasco todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de Manganeseo por arriba de la Norma. En el caso del agua filtrada todos los análisis resultaron

con valores de Manganeseo por arriba de la Norma, pero menores que el agua cruda, obteniendo un porcentaje de remoción de hasta el 96.15%.

Cuadro 9. Resultados de Manganeseo en Ilobasco.

Datos promedio de Manganeseo					
Muestreo	Fecha	Norma (mg/l)	Agua cruda (mg/l)	Agua filtrada (mg/l)	Remoción (%)
1	11/5/2017	0.1	8.110	0.312	96.153
2	12/6/2017	0.1	8.121	1.100	86.455
3	4/7/2017	0.1	2.530	0.638	74.783
4	11/7/2017	0.1	4.720	0.988	79.068
5	26/7/2017	0.1	4.435	1.310	70.462
6	15/8/2017	0.1	4.590	1.335	70.915
7	30/8/2017	0.1	1.515	1.558	0.000
8	13/9/2017	0.1	0.815	0.663	18.650
9	27/9/2017	0.1	0.870	0.723	16.897
10	11/10/2017	0.1	1.915	0.870	54.569
11	25/10/2017	0.1	2.256	0.696	69.149
12	8/11/2017	0.1	0.498	0.323	35.141
Promedio		0.1	3.365	0.876	55.784

Fuente: Elaboración propia (2018).

Los filtros tuvieron una remoción promedio del 55.78%, lo que puede deberse al alto contenido inicial de manganeseo en el agua del pozo.

Al realizar la prueba “t” de Student para los datos del agua filtrada y el límite permisible de la Norma, se obtuvo significancia, debido a que la concentración promedio de manganeseo en el agua filtrada fue de 0.876 mg/l, el cual está lejos de cumplir con lo establecido en la Norma de 0.1 mg/l.

Marín (2011) menciona que los resultados de un estudio demostraron que con el uso de filtros de zeolita se lograron remociones promedio del 31% de manganeseo, sin embargo, se observó que a menores velocidades de filtración se aumenta la capacidad de remoción de los filtros para el elemento.

3.2.2 Resultados de Hierro

En el pozo de Ilobasco todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de Hierro por arriba de la Norma. En el caso del agua filtrada el 50% de todos los análisis de Hierro cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08, obteniendo porcentajes de remoción de hasta el 98.93% y un promedio de remoción de Hierro de 83.20%.

Al comparar con la “t” de Student el agua filtrada de Ilobasco con la Norma se encontró que para Hierro no existe significancia, esto debido a que en promedio el elemento obtuvo 0.347 mg/l y la Norma establece un límite de 0.3 mg/l, siendo estos valores muy cercanos, superando ligeramente los resultados del agua filtrada al límite establecido en la Norma.

Cuadro 10. Resultados de análisis de laboratorio de Hierro.

Datos promedio de Hierro (Fe)					
Muestreo	Fecha	Norma (mg/l)	Agua cruda (mg/l)	Agua filtrada (mg/l)	Remoción (%)
1	11/5/2017	0.3	2.58	0.049	98.101
2	12/6/2017	0.3	2.475	0.118	95.232
3	4/7/2017	0.3	1.696	0.564	66.745
4	11/7/2017	0.3	4.046	0.043	98.937
5	26/7/2017	0.3	4.046	0.403	90.040
6	15/8/2017	0.3	4.217	0.142	96.633
7	30/8/2017	0.3	0.477	0.018	96.226
8	13/9/2017	0.3	0.943	0.409	56.628
9	27/9/2017	0.3	0.682	0.134	80.352
10	11/10/2017	0.3	2.277	0.401	82.389
11	25/10/2017	0.3	3.966	0.333	91.604
12	8/11/2017	0.3	2.846	1.549	45.573
Promedio		0.3	2.521	0.347	83.205

Fuente: Elaboración propia (2018).

Según Ludeña y Tinoco (2010), los filtros de arcilla logran remover arriba de un 50% de hierro en muestras de diferentes filtros sometidos a concentraciones arriba de 0.49 mg/l, logrando cumplir con los límites permisibles de la Norma.

Marín (2011) evaluó filtros de zeolita en remoción de hierro y obtuvo un promedio de remoción de 64%, lo cual no es suficiente para cumplir la Norma, por lo que se necesita hacer triple filtrado para llegar a una remoción de 91%, logrando cumplir la Norma.

3.2.3 Resultados de Arsénico

En el agua preparada en San Salvador todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de Arsénico por arriba de la Norma. En el caso del agua filtrada, solo el primer análisis realizado al agua cumple con la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08, en todos los demás análisis del agua filtrada el contenido de arsénico es mayor que lo permitido en la Norma, pero son menores que los valores encontrados en el agua cruda, obteniendo porcentajes de remoción de hasta el 98.76% y un porcentaje promedio de remoción de 87.99%.

La prueba “t” de Student permitió verificar que existe una diferencia estadísticamente significativa para arsénico al comparar el agua preparada de San Salvador antes y después de ser filtrada, es decir, que se obtuvieron valores < 0.0001.

Carranza (2015) evaluó dos tecnologías para la remoción de arsénico, la primera por el método de oxidación solar (RAOS), obteniendo un 81.5% de remoción y la segunda por el método de dos cubetas, con un 83.5% de remoción, en ambos casos las cantidades de arsénico remanente en las muestras no cumplieron con la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08, esto a pesar de tener altos porcentajes de remoción.

Cuadro 11. Resultados para Arsénico.

Datos promedio de Arsénico					
Muestreo	Fecha	Norma (mg/l)	Agua preparada (mg/l)	Agua filtrada (mg/l)	Remoción (%)
1	11/5/2017	0.01	0.73	0.009	98.767
2	12/6/2017	0.01	0.73	0.108	85.205
3	4/7/2017	0.01	0.504	0.106	78.968
4	11/7/2017	0.01	0.647	0.107	83.462
5	26/7/2017	0.01	0.775	0.106	86.323
6	15/8/2017	0.01	0.835	0.105	87.425
7	30/8/2017	0.01	0.74	0.105	85.811
8	13/9/2017	0.01	0.853	0.099	88.394
9	27/9/2017	0.01	0.955	0.088	90.785
10	11/10/2017	0.01	1.013	0.096	90.523
11	25/10/2017	0.01	0.881	0.093	89.444
12	8/11/2017	0.01	1.045	0.096	90.813
Promedio		0.01	0.809	0.093	87.993

Fuente: Elaboración propia (2018).

Ludeña y Tinoco (2010) evaluaron cinco filtros de biocarbón/arcilla y solo en dos de ellos se logró remover cerca del 50% del arsénico contenido en el agua.

3.2.4 Resultados de Plomo

En el agua preparada en San Salvador todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de Plomo por arriba de la Norma, y todos los análisis del agua filtrada cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08, obteniendo porcentajes de remoción de hasta el 99.91% y el promedio de remoción fue de 99.86%.

Cuadro12. Resultados para Plomo.

Datos promedio de Plomo (Pb)					
Muestreo	Fecha	Norma (mg/l)	Agua Preparada (mg/l)	Agua Filtrada (mg/l)	Remoción (%)
1	11/5/2017	0.01	0.66	0.001	99.848
2	12/6/2017	0.01	0.65	0.001	99.846
3	4/7/2017	0.01	0.327	0.001	99.694
4	11/7/2017	0.01	0.762	0.001	99.869
5	26/7/2017	0.01	0.86	0.001	99.884
6	15/8/2017	0.01	0.86	0.001	99.884
7	30/8/2017	0.01	0.86	0.002	99.767
8	13/9/2017	0.01	0.832	0.001	99.880
9	27/9/2017	0.01	0.906	0.001	99.890
10	11/10/2017	0.01	1.099	0.001	99.909
11	25/10/2017	0.01	1.003	0.001	99.900
12	8/11/2017	0.01	1.129	0.001	99.911
Promedio		0.01	0.829	0.001	99.86

Fuente: Elaboración propia (2018).

Al realizar la prueba “t” de Student resulto que existe diferencia estadísticamente significativa para plomo al comparar el agua preparada de San Salvador antes y después de ser filtrada, porque se obtuvieron valores < 0.0001 , esto porque disminuyo de un nivel inicial de 0.829 mg/l a un nivel final de 0.001 mg/l.

Según Carranza (2015), el porcentaje promedio de remoción de Plomo obtenido por el método asistido por luz solar (RAOS) fue del 99.98% (0.0002 mg/l de plomo remanente) y por la Unidad de tratamiento con dos cubetas fue del 99.92% (0.0008 mg/l de plomo remanente), en ambos casos la cantidad de plomo remanente en las muestras cumple con la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08, que establece un límite máximo para plomo de 0.01 ppm en agua para consumo humano, lo cual concuerda con los datos obtenidos en esta investigación.

Ludeña y Tinoco (2010) demostraron que los filtros de biocarbón/arcilla son capaces de remover grandes porcentajes de plomo en cinco filtros evaluados, lo que indica que estos filtros son eficaces en la disminución de este metal.

3.2.5 Turbidez

En el pozo de Ilobasco todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de Turbidez por arriba de 5 NTU de la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08, y en el agua filtrada de Ilobasco solo los análisis de los muestreos 1, 4 y 9 cumplieron con la Norma (figura 2), obteniendo porcentajes de remoción de hasta el 98.77% y un promedio de remoción de 89.37%.

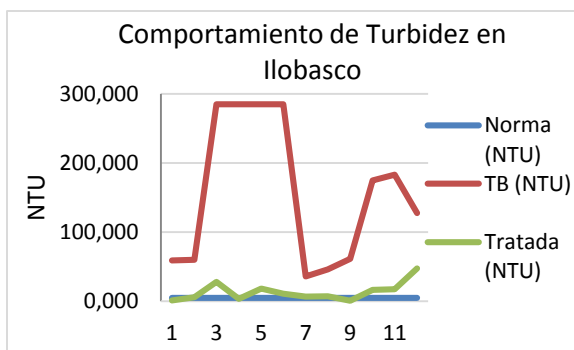


Figura 2. Turbidez en Ilobasco.

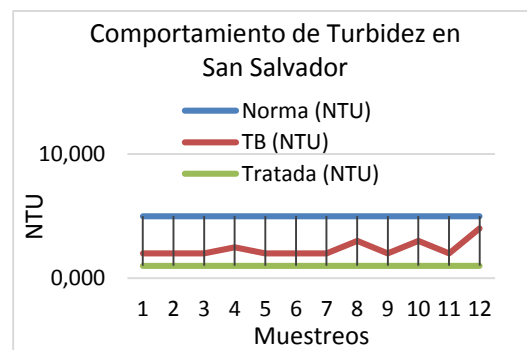


Figura 3. Turbidez en San Salvador.

En el agua preparada en San Salvador todos los análisis de Turbidez del agua cruda y del agua filtrada cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08 (figura 3), obteniendo porcentajes de remoción de hasta el 75%. El porcentaje promedio de remoción de turbidez fue de 55.69%, lo cual es muy bueno debido a que los niveles de turbidez a los que fueron sometidos los filtros de San Salvador oscilaban entre 2 a 4 NTU, y aunque estas concentraciones eran bajas, los filtros lograron disminuir hasta llegar a niveles casi indetectables de 1 NTU.

Según Ludeña y Tinoco (2010), diferentes filtros de biocarbón/arcilla que fueron evaluados lograron reducir significativamente la turbidez, disminuyendo de una concentración inicial de 44.7 NTU, hasta llegar a 12.4 NTU, lo anterior concuerda con los datos obtenidos en esta investigación, porque en ambas zonas se obtuvieron porcentajes de remoción arriba de 50%.

4. CONCLUSIONES

Los filtros de biocarbón/arcilla evaluados en esta investigación son efectivos en la remoción de *Escherichia coli*, *Pseudomona aeruginosa*, Plomo y Arsénico.

Los filtros de biocarbón/arcilla disminuyen significativamente la cantidad de agentes microbianos a pesar de ser sometidos a altas concentraciones.

La mejor remoción de los filtros de biocarbón/arcilla fue con el plomo, haciéndola apta para consumo humano.

A pesar de la alta carga de manganeso en el agua cruda, los filtros lograron disminuir considerablemente los niveles en el agua después de haber sido filtrada.

Los filtros de biocarbón/arcilla son una alternativa viable para que las familias que no poseen servicio de agua potable puedan consumir agua filtrada libre de contaminantes microbiológicos y fisicoquímicos.

La eficiencia de los filtros de biocarbón/arcilla en la remoción de contaminantes depende mucho de la calidad del agua que se utiliza para filtrar.

5. RECOMENDACIONES

Fomentar el uso de los filtros artesanales de biocarbón/arcilla principalmente en aquellas comunidades que carecen de suministro de agua potable y de alternativas para el tratamiento de agua para consumo humano.

Si el agua a filtrar contiene agentes contaminantes de gran tamaño es necesario filtrar previamente el agua con una manta o colador que retenga las partículas de mayor tamaño, para evitar la suciedad excesiva en los filtros artesanales.

En los filtros de biocarbón/arcilla es necesario mantener siempre el nivel del agua en la unidad filtrante por encima de la mitad de la altura de la misma.

Hacer otras investigaciones para seguir evaluando los filtros artesanales de biocarbón/arcilla en otros lugares y con diferentes fuentes de agua.

6. BIBLIOGRAFIA

Acosta Orellana, DC. 2015. Determinación de la calidad del agua del río San Sebastián y su impacto en la salud y calidad de vida de los habitantes del caserío San Sebastián, municipio de Santa Rosa de Lima, departamento de La Unión. San Salvador, El Salvador. Tesis Maestría. Universidad de El Salvador. 142 p.

Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Casanoves, F; Di Rienzo, JA; Robledo, CW. 2008. Manual del Usuario. Editorial Brujas, Córdoba, Argentina. 336 p.

Skinner, B; Lantagne, PE. 2009. Current Practices in Manufacturing of Ceramic Pot Filters for Water Treatment, Reino Unido. 119 p.

Carranza Estrada, FA. 2015. Evaluación de dos tecnologías artesanales para la remoción de plomo y arsénico en agua para consumo humano. Tesis Maestría. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador. 111 p.

- CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, El Salvador). 2009. Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08: Agua, Agua Potable. Diario Oficial, San Salvador, El Salvador. 20 p.
- Ibarra Peñaranda, NE. 2016. Análisis de Filtros Caseros como Técnica de Potabilización del Agua en el Sector Rural. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. 75 p.
- Lerma Arias, D.A. 2007. Filtros cerámicos, una alternativa de agua segura. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. 75 p.
- Ludeña Guaicha, JC; Eliazar Tinoco, F. 2010. Formulación de pasta roja para la elaboración de un filtro cerámico purificador de agua y verificación de su efectividad filtrante. Universidad Católica de Loja. Ecuador. 111 p.
- Marsh, H; Rodríguez Reinoso, F. 2006. Activated Carbon. Elsevier Science & Technology Books. San Vicente, España. University of Alicante. 542 p.
- Molly Klarman, BA; Colledge, C. 2009. Investigation of Ceramic Pot Filter Design Variables. Emory University, Estados Unidos. 89 p.
- Marín Burbano, LM. 2011. Remoción de hierro y manganeso por oxidación con cloro y filtración por grava. Santiago de Cali, Colombia. 92 p.
- Sierra, CA. 2011. Calidad del agua, evaluación y diagnóstico. Ed. LD López. Bogotá, Colombia. Digiprint. 457 p.
- UNES (Unidad Ecológica Salvadoreña). 2011. El Salvador crisis hídrica (en línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 5 julio de 2017. Disponible en www.unes.org.sv/