

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

Rodríguez Meza, VS

Estudiante Tesista, Departamento de Desarrollo Rural,
Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.
Correo electrónico: sarahi95rodriguez@gmail.com

Rodríguez Urrutia, EA

Director de la Estación Experimental y de Prácticas,
Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.
Correo electrónico: earu_1663@yahoo.com.mx

Arriaza Alfaro, CM

Coordinadora del Centro de Investigación y Desarrollo de la
Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados CIDE-ANDA.
Correo electrónico: claudia.arriaza@anda.gob.sv

Escobar Ponce, JF

Estudiante Tesista, Departamento de Desarrollo Rural,
Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.
Correo electrónico: franponce94@outlook.es

Carranza Estrada, FA

Docente Director , Departamento de Química Agrícola,
Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.
Correo electrónico: facekd@yahoo.es

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 la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, 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 seleccionada por su alto contenido de contaminantes, y la segunda muestra del municipio de San Salvador, en el departamento de San Salvador, la cual fue agua potable obtenida del grifo y preparada a nivel de laboratorio con concentraciones conocidas de metales pesados de Arsénico (As) y Plomo (Pb). Se recolectaron muestras de agua cada 15 días durante un periodo de seis meses, dándoles un uso continuo a los filtros.

Las muestras de agua cruda y filtrada fueron transportadas al 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 tratada, dos muestras por filtro, y dos muestras de 100 ml de agua cruda, obteniendo resultados en Número Más Probable de bacterias. 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 y se analizaron los siguientes parámetros: turbidez en unidades nefelométricas (NTU) a través del método nefelométrico, así mismo, se analizaron los metales pesados: Hierro (Fe), Arsénico y Plomo, utilizando el método de Absorción Atómica y el Manganeseo (Mn) por el método colorimétrico, los cuales expresaron los datos en mg/l, para estas determinaciones se tomaron dos muestras de 500 ml cada una de agua tratada, una por filtro y una muestra de 500 ml de agua cruda.

Los resultados obtenidos 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 necesaria de remoción de agentes contaminantes para brindar agua de calidad, apta para consumo humano.

La remoción promedio más alta 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%.

Palabras clave: Agua, cruda, tratada, filtros, muestreo, parámetros, fisicoquímicos, microbiológicos, remoción, Coliformes, *Escherichia coli*, *Pseudomona aeruginosa*.

Abstract

This research was carried out in the Faculty of Agronomic Sciences of the Universidad de 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 selected for its high content of contaminants, and the second sample 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 (As) and lead (Pb). Water samples were collected every 15 days for a period of six months, giving continuous use to the filters.

Samples of raw and filtered water were transported to the Centro de Investigación y Desarrollo del Centro de Formación Integral de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (CFI-ANDA), where microbiological determinations were made analyzing Total Coliforms, *Escherichia Coli* and *Pseudomona aeruginosa*, for which were taken four samples of 100 ml of treated water, two samples per filter, and two samples of 100 ml of raw water, obtaining results in Probable Number of bacteria. For the analysis of physicochemical parameters the samples were taken to the agricultural chemistry laboratory of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador and the following parameters were analyzed: turbidity in nephelometric units (NTU) through the nephelometric method, likewise, the heavy metals Iron (Fe), Arsenic (As) and Lead (Pb) were analyzed, using the method of Atomic Absorption and Manganese (Mn)

by the colorimetric method, which expressed the data in mg / L, for these determinations were taken two samples of 500 ml each of treated water, one per filter and a sample of 500 ml of raw water.

The results obtained from the analyzes were compared with the Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable NSO 13.07.01: 08, to verify if the filters have the necessary capacity to remove pollutants to provide quality water, suitable for human consumption; The highest average removal of metals was obtained in lead, with 99.91%, for arsenic it was 87.84%, for iron 83.21% and for manganese 55.78%, this being the lowest; Regarding the physical parameter of turbidity, the percentage of removal was 98.77%; the best result of microbiological removal was obtained for *Escherichia Coli*, reaching a final average of 95.49%, for Total Coliforms it was 54.90% and for *Pseudomona aeruginosa* was 72.27%.

Key words: Raw, water, treated, filters, sampling, physicochemical, microbiological parameters, removal, coliforms, *Escherichia coli*, *Pseudomona aeruginosa*.

Introducción

La situación del recurso hídrico en El Salvador es un tema de gran importancia por ser un recurso 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 de este recurso cada día son más evidentes y preocupantes, por lo que buscar alternativas que ayuden a las poblaciones rurales a solucionar estos problemas 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).

En El Salvador los filtros de biocarbón/arcilla son elaborados de forma artesanal y se desconoce de información científica que asegure que los filtros son efectivos en la remoción de contaminantes, motivo por el cual, se realizó esta investigación, donde los filtros se evaluaron para conocer la capacidad que tienen en la filtración de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos, evaluando su capacidad de filtrado durante seis meses de uso continuo.

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 (Cuadro 1). (CONACYT 2009).

Cuadro 1. Parámetros microbiológicos, físicos y sustancias químicas según la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08.

Parámetros microbiológicos	Límite máximo permisible	
	Técnicas	
	Filtración por membranas	Tubos múltiples
Bacterias coliformes totales	0 UFC/100 ml	Menos de 1.1 NMP/100 ml
Bacterias coliformes fecales o termotolerantes	0 UFC/100 ml	Menos de 1.1 NMP/100 ml
<i>Escherichia coli</i>	0 UFC/100 ml	Menos de 1.1 NMP/100 ml
Parámetros físicos	Unidad	Límite máximo permisible
Turbidez	UNT	5 ¹⁾
Parámetros de sustancias químicas	Límite máximo permisible (mg/l)	
Hierro total	0.30	
Manganeso	0.1	
Arsénico	0.01	
Plomo	0.01	

Fuente: CONACYT (2009).

1) Para el agua tratada en la salida de la planta de tratamiento de aguas superficiales, el límite máximo permisible es 1.

Esta investigación se realizó en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador y en el Centro de Formación Integral de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA. Se utilizaron dos fuentes de agua para evaluar los filtros, una ubicada en el municipio de Ilobasco, departamento de Cabañas, la cual fue seleccionada por su alto contenido de contaminantes, y la segunda muestra del municipio de San Salvador, en el departamento de San Salvador, la cual fue agua potable obtenida del grifo y preparada a nivel de laboratorio con concentraciones conocidas de arsénico y plomo. Se recolectaron muestras de agua cada 15 días durante un periodo de seis meses, dando un uso continuo a los filtros. Las muestras fueron analizadas en laboratorios donde se realizaron análisis de Turbidez y metales pesados: Hierro, Arsénico, Plomo, Manganeseo, y análisis microbiológicos como Coliformes Totales, *Escherichia Coli* y *Pseudomona aeruginosa*.

Materiales y Métodos

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.

El método de investigación fue de tipo experimental, para el cual se utilizaron dos fuentes de agua para evaluar los filtros (Fig. 1), una proveniente de un pozo del caserío Guadalupe, cantón San José, municipio de Ilobasco, departamento de Cabañas, El Salvador, 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 vertía agua a los filtros, recolectando muestras de agua cada 15 días con el propósito de ser analizadas en el laboratorio para comprobar si mantienen las características de filtrado y verificar si cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable NSO 13.07.01:08.

Metodología de campo

Se utilizaron cuatro filtros de biocarbón/arcilla, dos fueron usados con agua del pozo en Ilobasco y dos fueron usados con agua potable de San Salvador, preparada a nivel laboratorio, con concentraciones conocidas de Plomo y Arsénico.

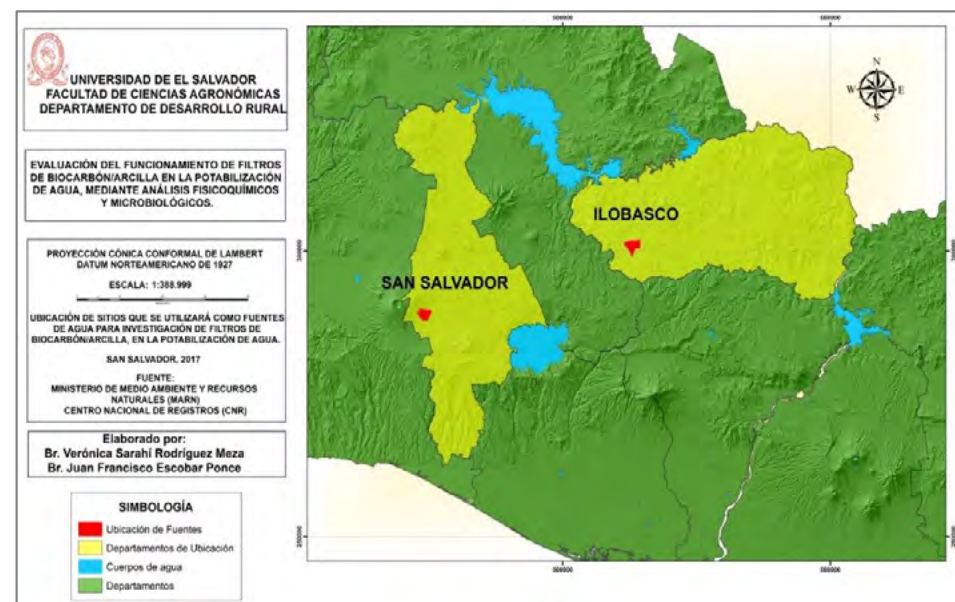


Figura 1. Ubicación de fuentes de agua para evaluación de filtros de biocarbón/arcilla.

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.

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 (cadena de frío) 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 cadena de frío. 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, tipo de muestra, temperatura del agua y parámetros a determinar para realizar el análisis.

Investigación en Ilobasco

Previo a la selección del lugar del agua a filtrar se envió al laboratorio una muestra del agua de un pozo ubicado en el cantón San José en Ilobasco, para realizar análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos, para evaluar si tenía los metales en estudio y ser utilizada en la investigación.

Todos los días y durante seis meses se tomaron 8 litros de agua del pozo, adicionando 4 litros de agua en cada una de las dos unidades filtrantes, para que se garantizara un uso continuo de los filtros. Los parámetros analizados para la zona de Ilobasco en el agua filtrada y en el agua cruda fueron: Manganeseo, Hierro, Turbidez, Coliformes Totales, *Escherichia Coli* y *Pseudomona aeruginosa*.

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 a una concentración de 1 mg/l de arsénico aproximadamente, 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 aproximada de 1 mg/l de plomo, obteniendo agua con plomo y arsénico a un nivel de concentración de 1 mg/l (Carranza 2015).

Se prepararon diariamente 8 litros de agua, introduciendo 4 litros de agua por cada una de las dos unidades filtrantes. Los parámetros analizados para la zona de San Salvador en el agua filtrada y en el agua cruda fueron: Plomo, Arsénico, Turbidez, Coliformes Totales, *Escherichia Coli* y *Pseudomona aeruginosa*.

Metodología de laboratorio

En la parte microbiológica se realizaron las determinaciones de Coliformes Totales, *Escherichia Coli* y *Pseudomona aeruginosa*, a través del método enzimático, obteniendo resultados en NMP/100 ml. Para las determinaciones físicas de turbidez se utilizó el 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; en el caso del Manganeseo se utilizó el método colorimétrico. Los resultados obtenidos eran expresados en mg/l.

Metodología estadística

Se realizó una evaluación de los resultados obtenidos del agua cruda y de las muestras de agua filtrada de las dos fuentes, para lo cual 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).

Para cada zona se utilizaron dos filtros, haciendo un total de 4 unidades. Para las determinaciones fisicoquímicas (turbidez, manganeso, hierro, arsénico y plomo) se realizaron 2 repeticiones de muestra, es decir, que por muestreo se realizaron 4 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 obtuvieron 2 determinaciones de cada parámetro para agua filtrada y una para agua cruda por cada muestreo (Cuadro 2).

Para hacer el análisis de datos se usó el programa estadístico InfoStat, el cual proporcionó un cuadro resumen donde se pudo evaluar, teniendo un criterio de aceptación o rechazo de la hipótesis.

Cuadro 2. Determinaciones por parámetro para cada muestreo.

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

Resultados y Discusión

Resultados para Ilobasco

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, lo que permitió cuantificar en Número Más Probable/100 ml a las bacterias (Cuadro 3). 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).

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

Los porcentajes de remoción de Coliformes Totales obtenidos en los filtros de biocarbón/arcilla en esta investigación son aceptables para recomendar el uso de los mismos como tratamiento para agua destinada al consumo humano, debido a que a pesar de las altas concentraciones de Coliformes Totales a los que fueron sometidos, los filtros lograron disminuirlas hasta en un 98.51% en el muestreo número 5; sin embargo, se hace necesario utilizar métodos de tratamiento complementarios para cumplir con la normativa.

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. En esta investigación se pudo establecer que en todos los casos los filtros reducen más del 50% de Coliformes Totales.

Escherichia Coli

En el pozo de Ilobasco todos los análisis del agua cruda (ILO cruda) resultaron con valores de *Escherichia Coli* por arriba de la Norma, obteniendo un remanente promedio de 73.08 y 9.75 NMP/100 ml. En el caso del agua filtrada (ILO 01 e ILO 02), la mayoría de los análisis resultaron con valores de *Escherichia Coli* por arriba de 1,1 NMP/100 ml 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 1.1NMP/100 ml, para ambos filtros, con un porcentaje de remoción de hasta el 99.96% (Cuadro 4).

Según los resultados de laboratorio que demuestran que los filtros de biocarbón/arcilla tuvieron un porcentaje de remoción promedio de la bacteria *E. coli* de 95.49% en esta investigación, los filtros artesanales de biocarbón/arcilla son una alternativa viable para el tratamiento de agua destinada al consumo humano, con la ayuda de un tratamiento complementario que disminuya arriba de 99.99% las bacterias para garantizar agua segura para la población.

En un estudio sobre análisis de filtros caseros se obtuvieron promedios de remoción de *E. coli* mayores de 90%, lo que permitió recomendar dichos filtros para tratamiento de agua destinada al consumo humano (Ibarra 2016).

Cuadro 4. 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

Pseudomona aeruginosa

En el caso del agua filtrada (ILO 01 e ILO 02), la mayoría de los análisis resultaron con valores de *Pseudomona aeruginosa* por arriba 1.1 NMP/100 ml de la Norma, a excepción de los análisis realizados en los muestreos 2, 7, 9 y 11, los cuales cumplieron con la Norma Salvadoreña para Agua Envasada NSO 13.07.02:08, debido a que los valores de *Pseudomona aeruginosa* resultaron por debajo de la Norma, para ambos filtros, con un porcentaje de remoción de hasta el 99.96% (Cuadro 5), por lo que este tipo de tratamiento es recomendable para la disminución de dicha bacteria.

Cuadro 5. Resultados de *Pseudomona aeruginosa* 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	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

Resultados de Manganeseo

El análisis de manganeseo se realizó por colorimetría, a través de un fotómetro que generó los siguientes datos: En el pozo de Ilobasco todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de Manganeseo por arriba 0.1 mg/l 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%, por lo que este tipo de tratamiento con filtros de biocarbón/arcilla es recomendable para la disminución de dicho elemento (Cuadro 6).

Cuadro 6. Resultados de Manganeseo.

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
Desviación estándar		0	2.663	0.394	31.409

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%, por lo que este tipo de tratamientos con filtros de biocarbón/arcilla es recomendable para la disminución de dicho elemento. Los filtros obtuvieron un promedio de remoción de Hierro de 83.20% (Cuadro 7).

Cuadro 7. 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
Desviación Estándar		0	1.366	0.419	17.795

Turbidez

En el pozo de Ilobasco todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de Turbidez por arriba 5 NTU de la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08. En el caso del agua filtrada de Ilobasco la mayoría de los análisis de Turbidez no cumplen con la Norma, porque solo los análisis de los muestreos 1, 4 y 9 cumplieron con la Norma, obteniendo porcentajes de remoción de hasta el 98.77%, por lo tanto, a pesar que los filtros de biocarbón/arcilla no lograron cumplir con la Norma establecida, es recomendable por la disminución de dicho elemento, debido a que obtuvieron un promedio de remoción de Turbidez de 89.37% (Fig. 2).

Resultados de San Salvador

Coliformes Totales

El agua potable proveniente de grifo en San Salvador, la cual fue 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 8); sin embargo, en el agua filtrada (UES 01 y UES 02) se determinó altas poblaciones de Coliformes Totales en los muestreos 1, 5 y 8, probablemente

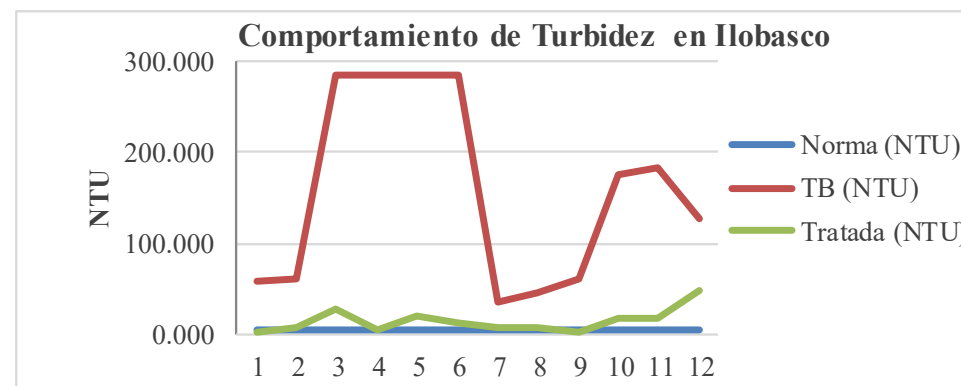


Figura 2. Turbidez en Ilobasco.

Cuadro 8. Resultados de Coliformes Totales en San Salvador.

Coliformes Totales						
Muestreo	Fecha	Agua preparada (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	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

por acumulación de bacterias de tratamientos anteriores, siendo el quinto muestreo el que mayor porcentaje obtuvo, lo que indica que el filtro es susceptible a crecimiento microbiano al ser contaminado. Para los filtros de biocarbón/arcilla utilizados en San Salvador se obtuvieron porcentajes de remoción de hasta 5.125%, esto debido a que el contenido de Coliformes Totales en el agua potable es casi nula.

Escherichia Coli

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 9), a excepción del filtro de biocarbón/arcilla UES 01 que en el primer muestreo reportó un dato de 2 NMP/100 ml, lo que indica que el agua potable posee una excelente calidad para el consumo humano.

Pseudomona aeruginosa

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 10), lo que indica que el agua potable posee una excelente calidad para el consumo humano.

Como el agua potable utilizada en San Salvador no presentó *Pseudomona aeruginosa*, los filtros de biocarbón/arcilla no tuvieron nada que remover, lo que indica también que no hubo contaminación por manejo.

Resultados de Arsénico

El análisis de arsénico realizado mediante generación de hidruros por absorción atómica, permitió obtener datos más confiables, debido a que se incrementa la sensibilidad en el análisis, logrando los siguientes resultados: 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 en 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%. El porcentaje promedio de remoción de arsénico fue de 87.99%, demostrando que el filtro de biocarbón/arcilla es una buena alternativa en la disminución de dicho elemento (Cuadro 11).

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 9. 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

Cuadro 10. 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

Cuadro11. Resultados para Arsénico.

Datos promedio de As					
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
Desviación estándar		0	0.155	0.027	4.844

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
Desviación estándar		0	0.217	0.000	0.064

Resultados de Plomo

Para la realización de los análisis de plomo se utilizó un horno de grafito, obteniendo los siguientes resultados: 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, ya que sus valores estuvieron por debajo de la Norma, obteniendo porcentajes de remoción de hasta el 99.91%. El porcentaje promedio de remoción de Plomo fue de 99.86%, demostrando que el filtro de biocarbón/arcilla es una buena alternativa en la disminución de dicho elemento.

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. Esto concuerda con los datos obtenidos en esta investigación (Cuadro12).

Turbidez

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, 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 oscilaron entre 2 a 4 NTU, y aunque estas concentraciones eran bajas los filtros lograron disminuir hasta llegar a niveles casi indetectables de 1 NTU (Fig. 3).

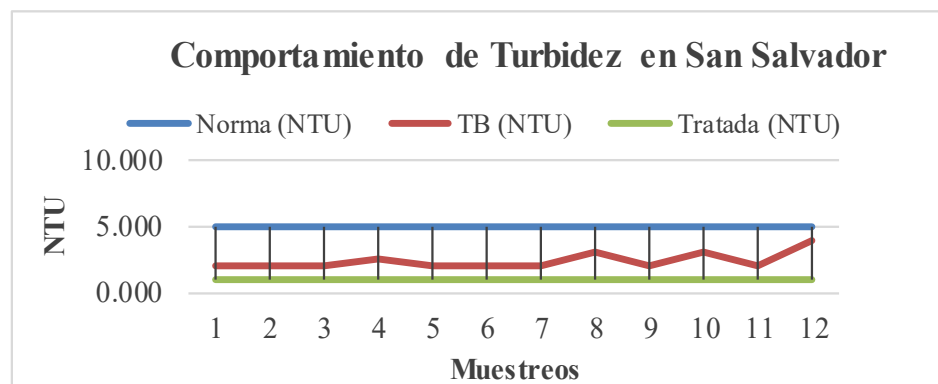


Figura 3. Turbidez en San Salvador.

Conclusiones

Con los filtros de biocarbón/arcilla en Ilobasco se obtuvo una remoción promedio de 72.27% de *Pseudomona aeruginosa* y 95.49% de *Escherichia Coli*, lo que indica que este tipo de tratamiento del agua es efectivo para disminuir las concentraciones de bacterias.

Los filtros de biocarbón/arcilla usados en San Salvador removieron en promedio el 99.9% de Plomo, el cual se encuentra por debajo del límite permisible de la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08.

Los filtros de biocarbón/arcilla removieron el Arsénico hasta en un 87.84%, y queda un remanente promedio de 0.027 mg/l, por lo que se hace necesario un tratamiento complementario para el agua filtrada, debido a que el límite permisible por la Norma para agua de consumo humano es de 0.01 mg/l.

El Hierro fue removido por los filtros de biocarbón/arcilla en 83.21%, dejando un remanente de 0.37 mg/l en el agua filtrada, lo cual está cerca del límite permisible por la Norma que es de 0.3 mg/l, aunque el agua no es apta para consumo humano.

El Manganeseo fue removido en 55.78% por los filtros, a pesar de que este se comportó de forma fluctuante durante la investigación, ya que el agua cruda variaba sus concentraciones de metales.

La eficiencia de remoción de los filtros artesanales depende mucho de la calidad del agua que se utiliza para filtrar, ya que un agua con altas concentraciones de contaminantes microbianos y de metales pesados puede sobrepasar la capacidad de remoción de los filtros.

Los años de vida útil de los filtros dependen de la calidad y de la cantidad de agua a filtrar por día.

Recomendaciones

Fomentar el uso de los filtros artesanales de biocarbón/arcilla, especialmente en aquellas comunidades donde se carece de suministro de agua potable y de alternativas para el tratamiento del agua para consumo humano, ya que estos poseen un bajo costo y son una alternativa para reducir contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos.

Si el agua a filtrar contiene altas concentraciones de contaminantes microbianos y de metales pesados, se pueden utilizar dos filtros, el primero para tratar el agua cruda y el segundo para tratar el agua que ya ha sido filtrada, para remover la mayor cantidad de agentes contaminantes.

Si el agua a tratar 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.

Los filtros de biocarbón/arcilla evaluados en esta investigación son efectivos en la remoción de *Escherichia Coli*, *Pseudomona aeruginosa*, Plomo y Arsénico, pero es necesario hacer análisis al agua filtrada para determinar si se elimina la cantidad suficiente para cumplir con la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08 y otras relacionadas.

Bibliografía

- 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.

- 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.
- Marsh, H; Rodríguez Reinoso, F. 2006. Activated Carbon. Elsevier Science & Technology Books. San Vicente, España. University of Alicante. 542 p.
- UNES (Unidad Ecológica Salvadoreña, El Salvador). 2011. El Salvador crisis hídrica (En línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 5 julio de 2017. Disponible en www.unes.org.sv/