



DOI:10.5281/zenodo.10631542

Artículo científico

Evaluación de los filtros de biocarbón-arcilla en la potabilización de agua de pozo en los municipios de Santiago Nonualco y en San Luis Talpa, departamento de la Paz, El Salvador

Evaluation of biochar-clay filters in the purification of well water in the municipalities of Santiago Nonualco and in San Luis Talpa, department of La Paz, El Salvador

Rivera-López, C.I.¹, Rodríguez-Urrutia, E.A.², Carranza-Estrada, F.A.³, Arriaza-Alfaro, C.M.⁴

Correspondencia:
cirs0.100@hotmail.com
efrain.rodriguez@ues.edu.sv

Presentado:
06 de octubre de 2021
Aceptado:
04 de noviembre de 2021

- 1 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural.
- 2 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Director de la Estación Experimental y de Prácticas.
- 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.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la efectividad de los filtros de biocarbón/arcilla en la remoción de agentes contaminantes de tipo fisicoquímico y microbiológico en agua de dos pozos en el departamento de La Paz, El Salvador. En cada sitio se utilizó un filtro, durante 6 meses se tomaron 2 galones de agua de cada uno de los pozos para ser filtrada. Las muestras de agua cruda y filtrada fueron tomadas una vez cada 15 días por lugar. En total se hicieron 24 muestreos de agua, 12 en cada uno de los sitios. Las muestras de agua fueron transportadas en hieleras a 4°C. Los parámetros fisicoquímicos hierro, arsénico y turbidez se analizaron en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador; y los parámetros microbiológicos Coliformes totales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* se analizaron en el Centro de Investigación y Desarrollo (ANDA). Los resultados se compararon con los parámetros del Reglamento Técnico Salvadoreño para Agua Potable 13.02.01:14. En San Luis Talpa se obtuvo una remoción promedio de hierro de 82.29%, 22.41% de arsénico, 85.75% de turbidez, 91.68% de Coliformes totales, 100% de *Escherichia coli* y 93.70% de *Pseudomonas aeruginosa*; y en Santiago Nonualco 100% de hierro, 14.98% de arsénico, 75.95% de turbidez, 76.98% de Coliformes totales, 100% de *Escherichia coli* y 85.71% de *Pseudomonas aeruginosa*. En conclusión, los filtros de biocarbón/arcilla son una alternativa para filtrar agua para consumo humano, disminuyen las concentraciones de contaminantes de tipo fisicoquímico y microbiológico.

Palabras claves: Agua, filtros, pozo, hierro, arsénico, turbidez, Coliformes totales, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the effectiveness of biochar / clay filters in the removal of pollutants of a physicochemical and microbiological type in water from two wells in the department of La Paz, El Salvador. At each site a filter was used, for 6 months 2 gallons of water were taken from each of the wells to be filtered. Raw and filtered water samples were taken once every 15 days at each site. In total, 24 water samples were taken, 12 in each of the sites. The water samples were transported in coolers at 4 ° C. The physicochemical parameters iron, arsenic and turbidity were analyzed in the Agricultural Chemistry laboratory of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador; and the microbiological parameters Total Coliforms, Escherichia coli and Pseudomona aeruginosa were analyzed at the Research and Development Center (ANDA). The results were compared with the parameters of the Salvadoran Technical Regulation for Drinking Water 02/13/01: 14. In San Luis Talpa an average removal of iron of 82.29%, 22.41% of arsenic, 85.75% of turbidity, 91.68% of total Coliforms, 100% of Escherichia coli and 93.70% of Pseudomona aeruginosa was obtained; and in Santiago Nonualco 100% iron, 14.98% arsenic, 75.95% turbidity, 76.98% total coliforms, 100% Escherichia coli and 85.71% Pseudomona aeruginosa. In conclusion, biochar / clay filters are an alternative to filter water for human consumption, they reduce the concentrations of physicochemical and microbiological pollutants.

Keywords: Water, filters, well, iron, arsenic, turbidity, Total coliforms, Escherichia coli, Pseudomona aeruginosa.

INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la vida y como tal debe ser controlada para la protección de los diferentes ecosistemas acuáticos y de la salud pública. El agua libre de impurezas y accesible para todos es parte esencial del mundo en que se quiere vivir. La escasez de recursos hídricos, la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado, influyen negativamente en las opciones de medios de subsistencia, en las oportunidades de educación para las familias pobres en todo el mundo y en la seguridad alimentaria (ONU 2016).

Los lagos y océanos de la tierra se encuentran en un grave deterioro, ya que están siendo amenazados por la contaminación y deforestación. En El Salvador, más del 88% de las aguas residuales de los ríos tienen altos niveles de contaminación que van de una calidad pésima a regular. Durante años se han explorado las diferentes formas de tratar el agua y lograr que su consumo no genere riesgos para la salud. En los tratamientos de aguas para consumo humano se presta especial atención a la eliminación de los 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 para potabilizar el agua a bajo costo es el uso de los filtros artesanales de biocarbón-arcilla, que han demostrado que remueven bacterias y metales pesados (Figura 1). En El Salvador los filtros de biocarbón-arcilla son elaborados de forma artesanal y sujetos de investigaciones para asegurar que son efectivos en la remoción de contaminantes. Un filtro puede ser fabricado con una mezcla de 50% de barro rojo y 50% de aserrín u otro material similar como cascarilla de arroz o de café, según la producción local. A esta mezcla se le añade agua y se coloca dentro de un molde que es prensado (ANDA 2016).

Este material es comúnmente utilizado para la retención de contaminantes en el tratamiento de aguas residuales y en la purificación de agua para el consumo humano. Una de las ventajas de este material es su uso para retirar sustancias altamente tóxicas que se encuentran a muy bajas concentraciones (Ibarra 2016).

Los costos de esta tecnología son bajos y no requieren de manejo con personal calificado, por esto es una opción de tratamiento para agua proveniente de fuentes contaminadas. El precio por unidad (filtro más contenedor plástico) USD28.25 (IVA incluido), es decir, el primer año el tratamiento de agua costará USD0.07 por día, llegando a filtrar un total de 24 litros de agua en promedio/día. El precio del repuesto

Figura 1.
 Filtro de biocarbón-arcilla.



del filtro (debe cambiarse cada año para aguas con contenido de metales pesados) es de USD14.00 (IVA incluido) (ANDA 2016).

Esta investigación se realizó con el propósito de evaluar la efectividad de los filtros artesanales de biocarbón/arcilla en la remoción de agentes contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos para obtener agua de calidad apta para el consumo humano en el transcurso de seis meses, tiempo durante el cual se realizaron análisis de laboratorio para determinar en qué medida mejoran la calidad del agua de dos pozos en estudio ubicados en el municipio de San Luis Talpa y en Santiago Nonualco, ambos ubicados en el

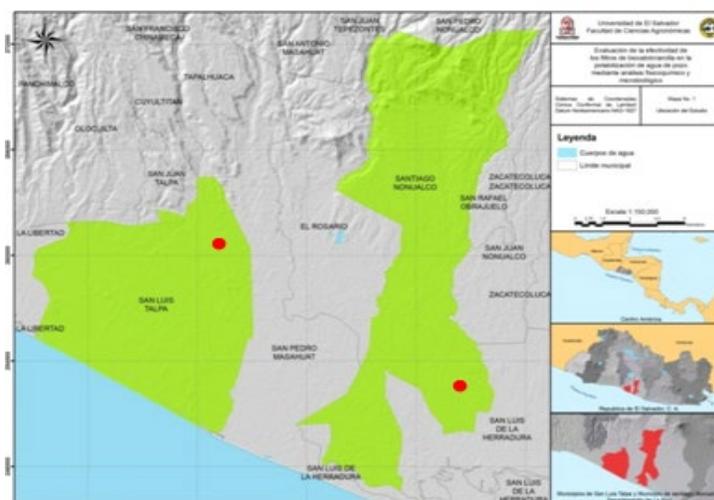
departamento de La Paz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

La investigación se realizó con el agua de un pozo ubicado en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, en el cantón Tecualuya, municipio de San Luis Talpa, y en un pozo ubicado en el caserío San Antonio, cantón San Francisco El Porfiado, municipio de Santiago Nonualco, ambos en el departamento de La Paz, El Salvador; desarrollándose del 14 de febrero de 2019 al 17 de julio de 2019 (Figura 2).

Figura 2.
 Ubicación de la investigación.



Metodología de campo

El primer paso fue la preparación de los filtros, que consistió en realizar un lavado con agua de grifo y un mascón de la unidad filtrante y se enjuagaba con agua hervida, luego se lavaron los bidones con un mascón diferente y con 5 ml de lejía (Hipoclorito de sodio) diluido en un litro de agua, para evitar cualquier contaminación. Una vez lavados los filtros, estos fueron utilizados en forma continua por un periodo de 6 meses para evaluar su funcionamiento.

Muestras de agua

En cada sitio se utilizó un filtro, y para validar el funcionamiento todos los días se tomaron muestras de agua cruda (sin filtrar) y filtrada una vez cada 15 días en cada lugar, durante un periodo 6 meses. En total se hicieron 24 muestreos de agua, 12 en cada uno de los sitios, se tomaron 2 galones de agua cruda (agua sin Filtrar) de cada uno de los pozos para realizar los respectivos análisis físicos químicos y microbiológicos.

Se utilizó papel toalla con alcohol para limpiar los grifos y evitar posibles agentes contaminantes en las muestras de agua a extraer, se usaron guantes de látex, mascarilla y gorro para prevenir cualquier contaminación de las muestras.

Las muestras de agua que se utilizaron para análisis microbiológicos se colocaron en frascos de polietileno de 100 ml, estériles, 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 viñeta que tenía la siguiente información: nombre del muestreador, fecha y hora del muestreo, punto de muestreo (grifos del filtro y fuentes de agua cruda), tipo de muestra, temperatura del agua y parámetros a determinar para realizar el análisis.

Metodología de laboratorio

Los análisis se realizaron en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador y en el Centro de Investigación y Desarrollo (CIDE), del Centro de Formación Integral (CFI) de la Dirección de Atención a Sistemas y Comunidades Rurales, de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA).

Para los parámetros microbiológicos se realizaron determinaciones de Coliformes totales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas 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 a través del método Nefelométrico los resultados se expresan en NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez). El análisis de los elementos químicos se realizó con el método de Absorción Atómica para hierro y arsénico a través de un Espectrofotómetro Shimadzu, en el fotómetro NOVA 60, marca MERCK, para su posterior lectura. Los resultados obtenidos fueron expresados en mg/l.

Metodología Estadística

La evaluación de los resultados obtenidos del agua cruda y filtrada se hizo con 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 cada sitio de muestreo se utilizó un filtro, haciendo un total de 2 unidades. Para las determinaciones fisicoquímicas (turbidez, hierro y arsénico) se realizaron 2 repeticiones en cada muestra, es decir, por cada muestreo se realizaban 2 determinaciones por cada parámetro de agua cruda y dos para el agua filtrada (tratada) (Tabla 1).

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 de agua cruda y agua filtrada. Para hacer el análisis de datos se usó el programa estadístico SPSS-V25.

Tabla 1.

Determinaciones por parámetro para cada presentación.

Sitio de muestreo	Tipo de muestra	Parámetros Físicoquímicos (Repeticiones)	Parámetros Microbiológicos (Repeticiones)
San Luis Talpa	Agua filtrada	2	2
	Agua cruda	2	1
Total		4	3
Santiago Nonualco	Agua filtrada	2	2
	Agua cruda	2	1
Total		4	3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de parámetros físicoquímicos

Resultados de remoción de hierro en San Luis Talpa

Los resultados de los análisis de agua obtenidos en esta investigación (Tabla 2) demuestran que en 4 de 5 muestras que contenían hierro el porcentaje de remoción fue del 100%, con un promedio de remoción de 82.29%, a pesar que el contenido de hierro en el agua cruda son cantidades mínimas que están por debajo del nivel máximo permitido del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14; por lo tanto, esta agua es apta para el consumo humano.

Al comparar el contenido de hierro en las muestras de agua cruda y filtrada, según la prueba de t student, presentan diferencias estadísticamente significativas, ya que el agua filtrada presentó menor contenido de hierro con una media de 0.013750 mg/l y el agua cruda tuvo una media de 0.064833 mg/l, esto demuestra la capacidad de remoción de hierro al utilizar los filtros de biocarbón/arcilla, siendo menor al parámetro establecido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 de 0.300 mg/l. (OSARTEC 2018a)

Rodríguez y Escobar (2018) en una investigación realizada en El Salvador sobre evaluación del

funcionamiento de filtros de biocarbón/arcilla en la potabilización del agua, obtuvieron hasta un 98.93% de remoción de hierro, con un promedio de 83.20%.

Resultados de remoción de arsénico en San Luis Talpa

El resultado promedio de remoción de arsénico fue del 22.41%, a pesar que el contenido de arsénico en el agua cruda es en cantidades mínimas que están por debajo del nivel máximo permitido del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14; por lo tanto, esta agua es apta para el consumo humano (Tabla 3).

El filtro tuvo un porcentaje de remoción de arsénico variable en cada uno de los seis meses evaluados con un uso continuo, ya que el menor porcentaje de remoción fue en el mes uno con 0.0% y el mayor porcentaje fue en el mes dos con 58.72%.

Al comparar el contenido de arsénico en las muestras de agua cruda y filtrada, existen diferencias estadísticas significativas, ya que el agua filtrada presentó menor contenido de arsénico con una media de 0.005000 mg/l y el agua cruda tuvo una media de 0.006417 mg/l, demostrando la capacidad de remoción al utilizar los filtros de biocarbón/arcilla; este parámetro es menor al establecido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 de 0.010 mg/l. (OSARTEC 2018b).

Tabla 2.
 Resultados del análisis de agua para hierro en San Luis Talpa.

Muestreo	Fecha	Agua cruda (mg/l)	Agua filtrada (mg/l)	RTS 13.02.01:14 (mg/l)	Remoción (%)	Promedio de remoción (%)
1	14/02/2019	0.000	0.000	0.300	0.000	100
2	28/02/2019	0.157	0.000	0.300	100	
3	13/03/2019	0.000	0.000	0.300	0.000	100
4	27/03/2019	0.090	0.000	0.300	100	
5	10/04/2019	0.196	0.000	0.300	100	100
6	24/04/2019	0.102	0.000	0.300	100	
7	08/05/2019	0.000	0.000	0.300	0.000	29.14
8	22/05/2019	0.233	0.165	0.300	29.135	
9	05/06/2019	0.000	0.000	0.300	0.000	n/a
10	19/06/2019	0.000	0.000	0.300	0.000	
11	03/07/2019	0.000	0.000	0.300	0.000	n/a
12	17/07/2019	0.000	0.000	0.300	0.000	
	Promedio	0.156	0.033		82.29	82.29
	Desviación estándar	0.061	0.074	0.000	31.692	

Tabla 3.
 Resultados de análisis de agua para arsénico en San Luis Talpa.

Muestreo	Fecha	Agua cruda (mg/l)	Agua Filtrada (mg/l)	RTS 13.02.01:14 (mg/l)	Remoción (%)	Promedio de remoción (%)
1	14/02/2019	0.006	0.006	0.010	0.0	0.0
2	28/02/2019	0.008	0.008	0.010	0.0	
3	13/03/2019	0.004	0.001	0.010	67.442	58.72
4	27/03/2019	0.007	0.003	0.010	50.000	
5	10/04/2019	0.008	0.005	0.010	43.210	27.45
6	24/04/2019	0.008	0.007	0.010	11.688	
7	08/05/2019	0.007	0.005	0.010	31.429	29.21
8	22/05/2019	0.006	0.005	0.010	26.984	
9	05/06/2019	0.005	0.004	0.010	10.870	11.82
10	19/06/2019	0.005	0.004	0.010	12.766	
11	03/07/2019	0.007	0.006	0.010	14.493	7.25
12	17/07/2019	0.006	0.006	0.010	0.0	
	Promedio	0.006	0.005	0.010	22.41	22.41
	Desviación estándar	0.001	0.002	0.000	20.802	

Carranza (2015) evaluó dos tecnologías para la remoción de arsénico, la primera por el método de oxidación solar (RAOS), obteniendo 81.5% de remoción; y la segunda por el método de dos cubetas, con 83.5% de remoción.

Resultados de turbidez en San Luis Talpa

Según los resultados de los análisis de agua, con el filtro de biocarbón/arcilla se obtuvo un porcentaje de remoción promedio de turbidez del 85.75% (Tabla

4). El agua filtrada cumple con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14; por lo tanto, esta agua es apta para el consumo humano.

En el pozo de San Luis Talpa todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de turbidez por debajo del nivel máximo permitido del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, a excepción de una muestra de agua.

Tabla 4.
Resultados de análisis de agua para turbidez en San Luis Talpa.

Muestreo	Fecha	Agua cruda (NTU)	Agua Filtrada (NTU)	RTS 13.02.01:14 (NTU)	Remoción (%)	Promedio de remoción (%)
1	14/02/2019	0.500	0.100	5.000	80.000	69.17
2	28/02/2019	1.200	0.500	5.000	58.333	
3	13/03/2019	1.200	0.100	5.000	91.667	95.83
4	27/03/2019	1.200	0.000	5.000	100.000	
5	10/04/2019	2.100	0.200	5.000	90.476	78.57
6	24/04/2019	0.300	0.100	5.000	66.667	
7	08/05/2019	1.700	0.000	5.000	100.000	97.00
8	22/05/2019	5.000	0.300	5.000	94.000	
9	05/06/2019	4.100	0.100	5.000	97.561	96.15
10	19/06/2019	1.900	0.100	5.000	94.737	
11	03/07/2019	0.900	0.100	5.000	88.889	77.78
12	17/07/2019	0.300	0.100	5.000	66.667	
	Promedio	1.700	0.142		85.75	85.75
	Desviación estándar	1.465	0.138		14.380	

Al comparar el contenido de turbidez en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticas significativas, ya que el agua filtrada presentó menor contenido de turbidez con una media de 0.141667 NTU y el agua cruda tuvo una media de 1.700000 NTU, lo que refleja la capacidad de remoción al utilizar los filtros de biocarbón/arcilla, cuyo parámetro es menor al establecido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 de 5.000 NTU.

Según Ludeña y Tinoco (2010), diferentes filtros de biocarbón/arcilla que fueron evaluados en la

Planta de Cerámica CERART, en un estudio teórico experimental con el fin de mejorar la calidad del agua, principalmente en zonas rurales, lograron reducir la turbidez de una concentración inicial de 44.7 NTU hasta 12.4 NTU, lo anterior concuerda con los datos obtenidos en esta investigación, porque en ambas zonas se obtuvieron porcentajes de remoción arriba del 50%.

Resultados de remoción de hierro en Santiago Nonualco

La remoción de hierro fue del 100% durante los

seis meses en que se evaluaron los filtros con un uso continuo, a pesar que el contenido de hierro en algunas muestras de agua cruda eran cantidades mínimas, no había ausencia de hierro en las muestras

que están por debajo del mínimo permitido del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14; por lo tanto, esta agua es apta para el consumo humano (Tabla 5).

Tabla 5.
Resultados de análisis de agua para hierro en Santiago Nonualco.

Muestreo	Fecha	Agua cruda (mg/l)	Agua filtrada (mg/l)	RTS 13.02.01:14 (mg/l)	Remoción (%)	Promedio de remoción (%)
1	14/02/2019	0.000	0.000	0.300	0.000	100
2	28/02/2019	0.066	0.000	0.300	100	
3	13/03/2019	0.116	0.000	0.300	100	100
4	27/03/2019	0.307	0.000	0.300	100	
5	10/04/2019	0.315	0.000	0.300	100	100
6	24/04/2019	0.258	0.000	0.300	100	
7	08/05/2019	0.229	0.000	0.300	100	100
8	22/05/2019	0.832	0.000	0.300	100	
9	05/06/2019	0.142	0.000	0.300	100	100
10	19/06/2019	0.550	0.000	0.300	100	
11	03/07/2019	0.193	0.000	0.300	100	100
12	17/07/2019	0.172	0.000	0.300	100	
	Promedio	0.289	0.000	0.300	100	100
	Desviación estándar	0.227	0.000	0.000	28.868	

Al comparar el contenido de hierro en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticas significativas, ya que en el agua filtrada no había el contenido de hierro con una media de 0.000000 mg/l y el agua cruda tuvo una media de 0.265000 mg/l, demostrando la capacidad de remoción al utilizar los filtros de biocarbón/arcilla, siendo menor al parámetro establecido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 de 0.300 mg/l.

Según APHA *et al.* (1996), la presencia de hierro en el agua puede afectar la potabilidad de la misma, ocasionar manchas en la ropa de lavado y en la porcelana. Algunas personas son capaces de detectar el gusto astringente dulce-amargo del hierro en muestras de agua, en donde puede estar en forma ferrosa o férrica suspendida o disuelta.

Resultados de remoción de arsénico en Santiago Nonualco

Según los resultados obtenidos, el filtro tiene un porcentaje de remoción de arsénico variable en cada uno de los seis meses evaluados con un uso continuo, ya que el menor porcentaje de remoción fue en el mes seis con 2.09% y el mayor porcentaje fue en el mes uno con 52.41%.

El porcentaje promedio de remoción de arsénico fue del 14.98%, ya que el agua filtrada sobrepasa los límites establecidos por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14; por lo tanto, esta agua no es apta para el consumo humano (Tabla 6).

Tabla 6.
 Resultados de análisis de agua para arsénico en Santiago Nonualco.

Muestreo	Fecha	Agua cruda (mg/l)	Agua filtrada (mg/l)	RTS 13.02.01:14 (mg/l)	Remoción (%)	Promedio de remoción (%)
1	14/02/2019	0.059	0.020	0.010	65.874	52.41
2	28/02/2019	0.059	0.036	0.010	38.946	
3	13/03/2019	0.058	0.045	0.010	22.704	14.28
4	27/03/2019	0.051	0.048	0.010	5.859	
5	10/04/2019	0.060	0.056	0.010	6.845	8.68
6	24/04/2019	0.060	0.054	0.010	10.518	
7	08/05/2019	0.061	0.054	0.010	10.248	7.17
8	22/05/2019	0.059	0.056	0.010	4.096	
9	05/06/2019	0.054	0.052	0.010	4.420	5.27
10	19/06/2019	0.059	0.055	0.010	6.122	
11	03/07/2019	0.056	0.055	0.010	2.128	2.09
12	17/07/2019	0.058	0.057	0.010	2.055	
	Promedio	0.058	0.049	0.010	14.98	14.98
	Desviación estándar	0.003	0.011	0.000	19.204	

Al comparar el contenido de arsénico en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticas significativas, ya que el agua filtrada presentó menor contenido de arsénico con una media de 0.049000 mg/l y el agua cruda tuvo una media de 0.057833 mg/l, esto evidencia la capacidad de remoción de los filtros de biocarbón/arcilla, para lograr un parámetro menor establecido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 de 0.010 mg/l.

Rodríguez y Escobar (2018) en una investigación realizada en El Salvador sobre evaluación del funcionamiento de filtros de biocarbón/arcilla en la potabilización del agua, obtuvieron en Ilobasco hasta un 98.76% de remoción de arsénico, con un promedio de 87.99%, y en San Salvador obtuvieron hasta un 91.98% de remoción de arsénico.

Resultados de turbidez en Santiago Nonualco

Según los resultados de los análisis de agua, con el filtro de biocarbón/arcilla se obtuvo un porcentaje promedio de remoción de turbidez del 75.95%, ya que el agua filtrada cumple con el Reglamento Técnico

Salvadoreño RTS 13.02.01:14; por lo tanto, esta agua es apta para el consumo humano (Tabla 7).

Al comparar el contenido de turbidez en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticas significativas, ya que el agua filtrada presentó menor contenido de turbidez con una media de 0.083333 NTU y el agua cruda tuvo una media de 0.533333 NTU, demostrando la capacidad de remoción al utilizar los filtros de biocarbón/arcilla, siendo menor al parámetro establecido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 de 5.000 NTU.

Resultados de parámetros microbiológicos

Resultados de remoción de Coliformes totales en San Luis Talpa

Según los resultados de los análisis de agua, con el filtro de biocarbón/arcilla se obtuvieron porcentajes de remoción de Coliformes totales muy variables, el menor porcentaje de remoción se obtuvo en el mes uno con 77.51% y el mayor porcentaje fue en el mes seis con 99.94%, con un promedio de remoción de

91.68%; sin embargo, al evaluar el número de veces que el filtro removió las bacterias, solamente en el 50% de las veces tuvo éxito, por lo tanto, el agua filtrada no cumple con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 y no es apta para el consumo humano

(Tabla 7).

IDEASS (2002) en una investigación realizada en Nicaragua con el Filtro, removieron Coliformes totales en 99.88%.

Tabla 7.
Resultados de turbidez en Santiago Nonualco.

Muestreo	Fecha	Agua cruda (NTU)	Agua filtrada	RTS 13.02.01:14 (NTU)	Remoción (%)	Promedio de remoción (%)
1	14/02/2019	0.700	0.200	5.000	71.429	85.71
2	28/02/2019	0.700	0.000	5.000	100.000	
3	13/03/2019	0.500	0.000	5.000	100.000	62.50
4	27/03/2019	0.400	0.300	5.000	25.000	
5	10/04/2019	0.500	0.300	5.000	40.000	57.70
6	24/04/2019	0.400	0.100	5.000	75.000	
7	08/05/2019	0.300	0.000	5.000	100.000	100.00
8	22/05/2019	0.800	0.000	5.000	100.000	
9	05/06/2019	0.100	0.100	5.000	0.000	50.00
10	19/06/2019	0.400	0.000	5.000	100.000	
11	03/07/2019	1.000	0.000	5.000	100.000	100.00
12	17/07/2019	0.600	0.000	5.000	100.000	
	Promedio	0.533	0.083		75.95	75.95
	Desviación estándar	0.242	0.119			35.326

Tabla 8.
Resultados de los análisis de agua para Coliformes totales en San Luis Talpa.

Muestreo	Fecha	Agua cruda (NMP/100 ml)	Agua filtrada (NMP/100 ml)	RTS 13.02.01:14 (NMP/100 ml)	Remoción (%)	Promedio de remoción (%)
1	14/02/2019	9.600	0.500	<1.1	94.792	77.51
2	28/02/2019	107.600	42.800	<1.1	60.223	
3	13/03/2019	1,732.900	172.000	<1.1	90.074	91.22
4	27/03/2019	158.500	12.100	<1.1	92.366	
5	10/04/2019	84.600	0.500	<1.1	99.409	92.92
6	24/04/2019	2,419.600	328.200	<1.1	86.436	
7	08/05/2019	2,419.600	325.500	<1.1	86.547	92.87
8	22/05/2019	61.300	0.500	<1.1	99.184	
9	05/06/2019	48.700	4.100	<1.1	91.581	95.63
10	19/06/2019	307.600	1.000	<1.1	99.675	
11	03/07/2019	517.200	0.500	<1.1	99.903	99.94
12	17/07/2019	2,419.600	0.500	<1.1	99.979	
	Promedio	857.233	74.017		91.68	91.68

Resultados de remoción de *Escherichia coli* en San Luis Talpa

Todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de *Escherichia coli* por debajo del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, a excepción de una muestra de agua.

Según los resultados de los análisis de agua, con el filtro de biocarbón/arcilla se obtuvo un porcentaje de remoción de *Escherichia coli* del 100% durante los seis meses en que fue evaluado el filtro, lo cual demuestra que el agua filtrada cumple con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14; por lo tanto, esta agua es apta para el consumo humano (Tabla 9).

Tabla 9.
Resultados de análisis de agua para *Escherichia coli* en San Luis Talpa.

Muestreo	Fecha	Agua cruda (NMP/100 ml)	Agua filtrada (NMP/100 ml)	RTS 13.02.01:14 (NMP/100 ml)	Remoción (%)	Promedio de remoción (%)
1	14/02/2019	1.000	0.000	<1,1	100	100
2	28/02/2019	1.000	0.000	<1,1	100	
3	13/03/2019	1.000	0.000	<1,1	100	100
4	27/03/2019	5.200	0.000	<1,1	100	
5	10/04/2019	1.000	0.000	<1,1	100	100
6	24/04/2019	1.000	0.000	<1,1	100	
7	08/05/2019	1.000	0.000	<1,1	100	100
8	22/05/2019	1.000	0.000	<1,1	100	
9	05/06/2019	1.000	0.000	<1,1	100	100
10	19/06/2019	1.000	0.000	<1,1	100	
11	03/07/2019	1.000	0.000	<1,1	100	100
12	17/07/2019	1.000	0.000	<1,1	100	
	Promedio	1.350	0.000		100	

Al comparar el contenido de *Escherichia coli* en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticas significativas, ya que el agua filtrada no presentó ningún contenido de *Escherichia coli*; y el agua cruda tuvo una media de 1.350000 NMP/100 ml, demostrando la capacidad de remoción al utilizar los filtros de biocarbón/arcilla, siendo menor al parámetro establecido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 de menos de < 1.1 NMP/100 ml. IDEASS (2002) en una investigación que realizó en Nicaragua con el Filtro, removieron *Escherichia coli* en un 100%.

Resultados de remoción de *Pseudomona aeruginosa* en San Luis Talpa

Pseudomona aeruginosa no está identificada en el

Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, para agua de consumo humano (requisitos de calidad e inocuidad); por tal razón se utilizó el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.02:14, para agua envasada.

Según los resultados de los análisis realizados, se obtuvo una remoción promedio de *Pseudomona aeruginosa* del 93.70%, el agua filtrada presenta un alto porcentaje de remoción, si bien no cumple con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.02:14; es una opción para asegurar la calidad del agua con un método complementario, como es la aplicación de hipoclorito de sodio en los hogares, para considerarla apta para el consumo humano (Tabla 10).

Tabla 10.
Resultados de análisis de agua para *Pseudomona aeruginosa* en San Luis Talpa.

Muestreo	Fecha	Agua cruda (NMP/100 ml)	Agua filtrada (NMP/100 ml)	RTS 13.02.02:14 (NMP/100 ml)	Remoción (%)	Promedio de remoción (%)
1	14/02/2019	14.600	1.000	<1,1	93.151	95.13
2	28/02/2019	34.500	1.000	<1,1	97.101	
3	13/03/2019	7.400	1.000	<1,1	86.486	86.49
4	27/03/2019	1.000	1.000	<1,1	0.000	
5	10/04/2019	5.200	1.000	<1,1	80.769	86.65
6	24/04/2019	13.400	1.000	<1,1	92.537	
7	08/05/2019	61.600	1.000	<1,1	98.377	97.76
8	22/05/2019	35.000	1.000	<1,1	97.143	
9	05/06/2019	52.100	1.000	<1,1	98.081	98.10
10	19/06/2019	52.900	1.000	<1,1	98.110	
11	03/07/2019	86.200	1.000	<1,1	98.840	98.07
12	17/07/2019	36.900	1.000	<1,1	97.290	
Promedio		33.400	1.000	-	93.70	93.70

Rodríguez y Escobar (2018) en una investigación realizada en El Salvador sobre evaluación del funcionamiento de filtros de biocarbón/arcilla en la potabilización del agua, obtuvieron hasta un 99.96% de remoción de *Pseudomona aeruginosa*.

Resultados de remoción de coliformes totales en Santiago Nonualco

Según los resultados de los análisis de agua con el filtro de biocarbón/arcilla se obtuvieron porcentajes de remoción de coliformes totales variables, con un promedio de remoción del 76.98%, por lo tanto, el agua filtrada cumple con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 y es apta para el consumo humano (Tabla 11).

Al comparar el contenido de coliformes totales en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticas significativas, ya que el agua filtrada presentó menor contenido de coliformes totales con una media de 1.700000 NMP/100 ml y el agua cruda tuvo una media de 264.991667 NMP/100 ml, demostrando la capacidad de remoción al utilizar los filtros de biocarbón/arcilla, aunque no fue menor al parámetro establecido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 de menos de < 1.1

NMP/100 ml.

Rodríguez y Escobar (2018) en una investigación realizada en El Salvador sobre evaluación del funcionamiento de filtros de biocarbón/arcilla en la potabilización del agua obtuvieron en Ilobasco hasta un 98.51% de remoción de coliformes totales.

Resultados de remoción de *Escherichia coli* en Santiago Nonualco

Según los resultados de los análisis de agua con el filtro de biocarbón/arcilla se obtuvo un porcentaje de remoción de *Escherichia coli* del 100% en cada uno de los seis meses evaluados con un uso continuo, el agua filtrada cumple con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14; y es apta para el consumo humano (Tabla 12).

Al comparar el contenido de *Escherichia coli* en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticas significativas, ya que el agua filtrada no presentó ningún contenido de *Escherichia coli* y el agua cruda tuvo una media de 1.000000 NMP/100 ml, esto refleja la capacidad de remoción de los filtros de biocarbón/arcilla, siendo menor al parámetro establecido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 de menos de

Tabla 11.
 Resultados de análisis de agua para coliformes totales en Santiago Nonualco.

Muestreo	Fecha	Agua cruda (NMP/100 ml)	Agua filtrada (NMP/100 ml)	RTS 13.02.01:14 (NMP/100 ml)	Remoción (%)	Promedio de remoción (%)
1	14/02/2019	75.400	1.000	<1,1	98.674	67.99
2	28/02/2019	13.400	8.400	<1,1	37.313	
3	13/03/2019	1.000	1.000	<1,1	0.000	99.92
4	27/03/2019	2.419.600	2.000	<1,1	99.917	
5	10/04/2019	1.000	1.000	<1,1	0.000	66.67
6	24/04/2019	3.000	1.000	<1,1	66.667	
7	08/05/2019	4.100	1.000	<1,1	75.610	87.73
8	22/05/2019	648.800	1.000	<1,1	99.846	
9	05/06/2019	2.000	1.000	<1,1	50.000	50.00
10	19/06/2019	1.000	1.000	<1,1	0.000	
11	03/07/2019	9.600	1.000	<1,1	89.583	89.58
Øπ ⁹ b	17/07/2019	1.000	1.000	<1,1	0.000	
	Promedio	264.992	1.700		76.98	76.98

Tabla 12.
 Resultados de *Escherichia coli* en Santiago Nonualco.

Muestreo	Fecha	Agua cruda (NMP/100 ml)	Agua filtrada (NMP/100 ml)	RTS 13.02.01:14 (NMP/100 ml)	Remoción (%)	Promedio de remoción (%)
1	14/02/2019	1.000	0.000	<1,1	100	100
2	28/02/2019	1.000	0.000	<1,1	100	
3	13/03/2019	1.000	0.000	<1,1	100	100
4	27/03/2019	1.000	0.000	<1,1	100	
5	10/04/2019	1.000	0.000	<1,1	100	100
6	24/04/2019	1.000	0.000	<1,1	100	
7	08/05/2019	1.000	0.000	<1,1	100	100
8	22/05/2019	1.000	0.000	<1,1	100	
9	05/06/2019	1.000	0.000	<1,1	100	100
10	19/06/2019	1.000	0.000	<1,1	100	
11	03/07/2019	1.000	0.000	<1,1	100	100
12	17/07/2019	1.000	0.000	<1,1	100	
	Promedio	1.000	0.000		100	

< 1.1 NMP/100 ml. Ibarra (2016) en un estudio sobre filtros caseros en el sector rural colombiano obtuvo promedios de remoción de *Escherichia coli* mayores de 90%, lo que permitió recomendar dichos filtros para el tratamiento de agua destinada al consumo humano.

Resultados de remoción de *Pseudomonas aeruginosa* en Santiago Nonualco

Pseudomonas aeruginosa no está identificada en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, para agua de consumo humano (requisitos de calidad e inocuidad); por tal razón se utilizó el Reglamento

Técnico Salvadoreño RTS 13.02.02:14, para agua envasada (OSARTEC 2018b). Según los resultados de los análisis, se obtuvo una remoción promedio de *Pseudomona aeruginosa* del 85.71%, el agua filtrada presenta un alto porcentaje de remoción, si bien no

cumple con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.02:14; es una opción para asegurar la calidad del agua con un método complementario, como es la aplicación de hipoclorito de sodio en los hogares, para considerarla apta para el consumo humano (Tabla 13).

Tabla 13.
Resultados de *Pseudomona aeruginosa* en Santiago Nonualco.

Muestreo	Fecha	Agua cruda (NMP/100 ml)	Agua filtrada (NMP/100 ml)	RTS 13.02.02:14 (NMP/100 ml)	Remoción (%)	Promedio de remoción (%)
1	14/02/2019	1.000	1.000	<1,1	0.000	88.37
2	28/02/2019	8.600	1.000	<1,1	88.372	
3	13/03/2019	8.600	1.000	<1,1	88.372	94.02
4	27/03/2019	307.600	1.000	<1,1	99.675	
5	10/04/2019	4.100	1.000	<1,1	75.610	85.46
6	24/04/2019	21.300	1.000	<1,1	95.305	
7	08/05/2019	3.000	1.000	<1,1	66.667	82.59
8	22/05/2019	67.000	1.000	<1,1	98.507	
9	05/06/2019	3.100	1.000	<1,1	67.742	75.93
10	19/06/2019	6.300	1.000	<1,1	84.127	
11	03/07/2019	12.000	1.000	<1,1	91.667	87.90
12	17/07/2019	6.300	1.000	<1,1	84.127	
Promedio		37.408	1.000		85.71	85.71

Al comparar el contenido de *Pseudomona aeruginosa* en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticas significativas, ya que el agua filtrada presentó menor contenido de *Pseudomona aeruginosa* con una media de 1.000000 NMP/100 ml y el agua cruda tuvo una media de 37.408333 NMP/100 ml, demostrando la capacidad de remoción de los filtros de biocarbón/arcilla, siendo menor al parámetro establecido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 de menos de < 1.1 NMP/100 ml.

Molly y Cillege (2009) menciona en una investigación realizada en Atlanta, Estados Unidos, 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.

CONCLUSIONES

Con los filtros de biocarbón/arcilla en San Luis Talpa se obtuvo una remoción promedio de hierro de 82.29% y en Santiago Nonualco de 100%, durante los seis meses en que fue evaluado el filtro, a pesar que el contenido en el agua cruda eran cantidades mínimas que estaban por debajo del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14; por lo tanto, ésta agua es apta para el consumo humano.

En San Luis Talpa con los filtros de biocarbón/arcilla se obtuvo una remoción promedio de arsénico de 22.41% a pesar que el contenido en el agua cruda eran cantidades mínimas que estaban por debajo del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, por lo tanto, ésta agua es apta para el consumo humano; y en Santiago Nonualco fue de 14.98%, ésta agua no es apta para el consumo humano.

Con los filtros de biocarbón/arcilla en San Luis Talpa se obtuvo una remoción promedio de turbidez del 85.75% y en Santiago Nonualco de 75.95%, el agua filtrada cumple con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14; y es apta para el consumo humano.

En San Luis Talpa con los filtros de biocarbón/arcilla se obtuvo una remoción promedio de coliformes totales de 91.68%, pero al evaluar el número de veces que el filtro removió las bacterias solamente en el 50% tuvo éxito, el agua filtrada no cumple con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, y no es apta para el consumo humano; en Santiago Nonualco la remoción fue de 76.98%, esta agua es apta para el consumo humano.

Con los filtros de biocarbón/arcilla en San Luis Talpa y en Santiago Nonualco se obtuvo una remoción de *Escherichia coli* del 100% en cada uno de los seis meses en que fueron evaluados los filtros con un uso continuo, el agua filtrada cumple con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14; y es apta para el consumo humano.

Con los filtros de biocarbón/arcilla en San Luis Talpa se obtuvo una remoción promedio de *Pseudomona aeruginosa* del 93.70% y en Santiago Nonualco del 85.71% durante los seis meses en que fue evaluado el filtro, lo cual demuestra que el agua filtrada cumple con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14; y es apta para el consumo humano.

Con esta investigación se está contribuyendo al cumplimiento del Objetivo 6 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible sobre garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua para todas las personas y cumplir metas como: lograr el acceso universal y equitativo al agua potable segura y asequible para todos; mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación; aumentar el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir el número de personas que sufren falta de agua; entre otras.

AGRADECIMIENTOS

Al Banco de Desarrollo de El Salvador (BANDESAL), por su apoyo económico y colaboración en todo momento.

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. Tesis Maestría, Universidad de El Salvador. El Salvador. 22 p.
- ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, El Salvador). 2016. Ensayo piloto con filtros de Biocarbón para buscar alternativas de tratamiento de agua para algunas fuentes de ANDA como tecnología de bajo costo. San Salvador. El Salvador. 14 p
- APHA (American Public Health Association, España), AWWA (American waters works Association, España), WPCF (Water Pollution Control Federation, España). 1996. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 16a Edición. Madrid, España. Ediciones Díaz de Santos S.A. 9 - 90 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.
- 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.
- IDEASS (Innovación para el Desarrollo y la Cooperación Sur-Sur, Nicaragua). 2002. El Filtrón, Filtro Cerámico para agua potable (en línea). Consultado 08 Junio 2020. Disponible en http://www.ideassonline.org/pdf/br_28_59.pdf

- Ludeña Guaicha, JC; Tinoco, FE. 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. 62 p.
- Molly Klarman, BA; College, C. 2009. Investigation of ceramic pot Filter Design Variables. Emory University, Estados Unidos. 89 p.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas, Estados Unidos). 2016. Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, Una oportunidad para América Latina y el Caribe. CEPAL. 50 p.
- OSARTEC (Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica, El Salvador). 2018a. Reglamento Técnico Salvadoreño RTS13.02.01:14 Agua. Agua de consumo humano. Requisito de calidad e inocuidad. El Salvador. Diario Oficial No. 60, Tomo No. 419. 26 p.
- OSARTEC (Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica, El Salvador). 2018b. Reglamento Técnico Salvadoreño RTS13.02.02:14 Agua. Agua envasada. El Salvador. Diario Oficial No. 215, Tomo No. 381. 17 p.
- Rodríguez Meza, V; Escobar Ponce, J. 2018. Evaluación del funcionamiento de filtros de biocarbón/arcilla en la potabilización del agua, mediante análisis físicos y microbiológicos. Universidad de El Salvador. El Salvador. 37 p.