

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



Universidad de El Salvador
Hacia la libertad por la cultura

**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.**

POR:

BR. CAROLINA IVETTE RIVERA LÓPEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2021

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL**



**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.**

POR:

BR. CAROLINA IVETTE RIVERA LÓPEZ

REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÓNOMO

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Lic. M. Sc. ROGER ARMANDO ARÍAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

Ing. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

Dr. FRANCISCO LARA ASCENSIO

SECRETARIO:

Ing. BALMORE MARTINEZ SIERRA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL

Ing. EDGAR MARROQUÍN MENA

DOCENTES DIRECTORES

Ing. M. Sc. EFRAÍN ANTONIO RODRÍGUEZ URRUTIA

Lic. M. Sc. FREDDY ALEXANDER CARRANZA ESTRADA

Licda. CLAUDIA MARÍA ARRIAZA ALFARO

COORDINADORA GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

Ing. ANA JUANA ELIZABETH VALDÉS DE SÁNCHEZ

RESUMEN

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, en El Salvador.

El objetivo fue 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, los resultados del agua cruda y filtrada se compararon con los parámetros del Reglamento Técnico Salvadoreño para Agua Potable RTS 13.02.01:14.

En cada sitio se utilizó un filtro, y para validar el funcionamiento todos los días y durante 6 meses se tomaron 7.56 litros (2 galones) de agua de cada uno de los pozos, los cuales se filtraban para darles un uso continuo y comprobar si mantienen la calidad y las características en el agua filtrada.

Las muestras de agua cruda (sin filtrar) y filtrada fueron tomadas 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.

Las muestras de agua fueron transportadas en hieleras a una temperatura de 4° C. Los parámetros fisicoquímicos hierro (Fe), arsénico (As) 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 laboratorio de Calidad de Agua de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA).

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 100% 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 100% de *Pseudomonas aeruginosa*.

Palabras claves: Agua filtrada, filtros artesanales de biocarbón/arcilla, muestras de agua, hierro, arsénico, turbidez, Coliformes totales, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*.

ABSTRACT

The research was carried out with water from a well located in the Experimental and Practice Station of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador, in the Tecualuya canton, municipality of San Luis Talpa, and in a well located in the hamlet San Antonio, San Francisco El Porfiado canton, Santiago Nonualco municipality, both in the department of La Paz, in El Salvador.

The objective was to evaluate the effectiveness of artisan biochar / clay filters in the removal of physicochemical and microbiological pollutants to obtain quality water suitable for human consumption, the results of raw and filtered water were compared with the parameters of the Salvadoran Technical Regulation for Drinking Water RTS 13.02.01: 14.

A filter was used at each site, and to validate the operation every day for 6 months, 7.56 liters (2 gallons) of water were taken from each of the wells, which were filtered to give them continuous use and check if they maintained the quality and characteristics of the filtered water.

The filtered and raw (unfiltered) water samples were taken once every 15 days in each place, during a period of 6 months. In total, 24 water samples were taken, 12 in each of the sites.

The water samples were transported in coolers at a temperature of 4 ° C. The physicochemical parameters iron (Fe), arsenic (As) and turbidity were analyzed in the Agricultural Chemistry laboratory of the Faculty of Agricultural Sciences of the University of El Salvador; and the microbiological parameters Total Coliforms, Escherichia coli and Pseudomona aeruginosa, were analyzed in the Water Quality laboratory of the National Administration of Aqueducts and Sewers (ANDA).

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 100% 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 100% Pseudomona aeruginosa.

Key words: Filtered water, artisan biochar/clay filters, Water samples, iron, arsenic, turbidity, Total coliforms, Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme fortaleza y sabiduría para realizar estos estudios y por permitirme crecer en mi vida personal y profesional.

A los Asesores de ésta Tesis Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, Lic. M. Sc. Freddy Alexander Carranza Estrada y Lic. Claudia María Arriaza Alfaro, por su apoyo y colaboración incondicional, su tiempo y orientación en cada momento de la investigación.

Al personal del laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, por estar en la disposición de ayudarme en todo momento.

Al personal del Centro de Investigación y Desarrollo del Centro de Formación Integral (CFI) de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), por compartir tiempo ameno en la realización de esta investigación.

Al personal Docente del Departamento de Desarrollo Rural de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, por su colaboración y orientación para el desarrollo de esta investigación.

Carolina Ivette Rivera López

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido culminar mi carrera personal y profesional.

A mis padres, María Berna Santos de Rivera y David Rivera por su amor y comprensión en todo momento, por su esfuerzo y sacrificios durante mis estudios.

A mi esposo, José Rafael López Vásquez por su apoyo incondicional y ayudarme en esos momentos difíciles, por su comprensión y su amor incondicional.

A mis hermanos, Cesar Alexander Rivera Santos y David Jonathan Rivera Santos por apoyarme incondicionalmente en cada momento, por su comprensión en esta etapa de mi vida.

A todas aquellas personas que en una forma directa e indirecta colaboraron con la culminación de mis estudios.

Carolina Ivette Rivera López

INDICE

	Página
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	V
AGRADECIMIENTOS	VI
DEDICATORIA.....	VII
INDICE	VIII
ÍNDICE DE CUADROS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XII
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	3
2.2 DESARROLLO RURAL	3
2.3 DESARROLLO LOCAL	4
2.4 RECURSOS NATURALES	4
2.5 RECURSOS HÍDRICOS	5
2.5.1. Disponibilidad del recurso hídrico en El Salvador	6
2.6 GENERALIDADES DEL AGUA.....	6
2.6.1. Agua segura	7
2.6.2. Agua subterránea.....	7
2.6.3. Usos del agua.....	8
2.7 CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	9
2.7.1. Contaminantes peligrosos en el agua de pozo	10
2.7.2. Metales pesados	10
2.7.3. Calidad microbiológica del agua	11
2.8 ALTERNATIVAS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA	11
2.9 FILTRACIÓN DEL AGUA	12
2.9.1. Filtros de agua a base de vasijas cerámicas con plata coloidal	12
2.9.2. Características de los filtros de biocarbón-arcilla	13
2.9.2.1. Proceso de elaboración de los filtros.....	14
2.9.2.2. Beneficios y ventajas de los filtros.....	14
2.9.2.3. Fundamento de la plata coloidal.....	15
2.9.2.4. Fundamento del biocarbón o carbón activado.....	16
2.10 REGLAMENTO TÉCNICO SALVADOREÑO PARA AGUA DE CONSUMO HUMANO.....	17

2.11	MUESTREO DEL AGUA	18
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1	UBICACIÓN DEL ESTUDIO.....	19
3.2	METODOLOGÍA DE CAMPO	20
3.2.1	Muestreos de agua.....	20
3.2.2	Funcionamiento de los filtros	21
3.3	METODOLOGÍA DE LABORATORIO.....	22
3.3.1.	Determinación de Coliformes totales, <i>Escherichia coli</i> y <i>Pseudomona aeruginosa</i>	22
3.3.2.	Determinación de parámetros fisicoquímicos.....	24
3.4	METODOLOGIA ESTADISTICA.....	25
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1	RESULTADOS DE REMOCIÓN DE HIERRO EN SAN LUIS TALPA	27
4.2	RESULTADOS DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN SAN LUIS TALPA	28
4.3	RESULTADOS DE TURBIDEZ EN SAN LUIS TALPA	30
4.4	RESULTADOS DE REMOCIÓN DE HIERRO EN SANTIAGO NONUALCO	32
4.5	RESULTADOS DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN SANTIAGO NONUALCO	33
4.6	RESULTADOS DE TURBIDEZ EN SANTIAGO NONUALCO.....	35
4.7	RESULTADOS DE REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES EN SAN LUIS TALPA.....	37
4.8	RESULTADOS DE REMOCIÓN DE <i>ESCHERICHIA COLI</i> EN SAN LUIS TALPA	38
4.9	RESULTADOS DE REMOCIÓN DE <i>PSEUDOMONA AERUGINOSA</i> EN SAN LUIS TALPA.....	40
4.10	RESULTADOS DE REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES EN SANTIAGO NONUALCO	42
4.11	RESULTADOS DE REMOCIÓN DE <i>ESCHERICHIA COLI</i> EN SANTIAGO NONUALCO	44
4.12	RESULTADOS DE REMOCIÓN DE <i>PSEUDOMONA AERUGINOSA</i> EN SANTIAGO NONUALCO	45
5.	CONCLUSIONES.....	48
6.	RECOMENDACIONES.....	50
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	51
8.	ANEXOS	56

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Fuentes de contaminación de metales en los alimentos.	11
Cuadro 2. Alternativas para tratar el agua cruda.	11
Cuadro 3. Concentración de plata coloidal necesaria para inhibir e inactivar bacterias.	15
Cuadro 4. Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos para agua de consumo humano según el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14.	17
Cuadro 5. Límites máximos permisibles de parámetros físico-químicos para agua de consumo humano según el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14.	18
Cuadro 6. Determinaciones por parámetro para cada muestreo.	26
Cuadro 7. Resultados de análisis de agua para hierro en San Luis Talpa.	27
Cuadro 8. Resultados de hierro en San Luis Talpa.	27
Cuadro 9. Resultados de análisis de agua para arsénico en San Luis Talpa.	29
Cuadro 10. Remoción promedio de arsénico en San Luis Talpa.	29
Cuadro 11. Resultados de análisis de agua para turbidez en San Luis Talpa.	30
Cuadro 12. Resultados de turbidez para San Luis Talpa.	31
Cuadro 13. Resultados de análisis de agua para hierro en Santiago Nonualco.	32
Cuadro 14. Resultados de análisis de agua para arsénico en Santiago Nonualco.	34
Cuadro 15. Resultados de remoción de arsénico en Santiago Nonualco.	34
Cuadro 16. Resultados de turbidez Santiago Nonualco.	35
Cuadro 17. Resultados de turbidez para Santiago Nonualco.	36
Cuadro 18. Resultados de los análisis de agua para Coliformes totales en San Luis Talpa.	37
Cuadro 19. Porcentajes de remoción de Coliformes totales en San Luis Talpa.	37
Cuadro 20. Resultados de análisis de agua para <i>Escherichia coli</i> en San Luis Talpa.	39
Cuadro 21. Resultados de los análisis de agua para <i>Pseudomona aeruginosa</i> en San Luis Talpa.	40
Cuadro 22. Resultados de <i>Pseudomona aeruginosa</i> en San Luis Talpa.	41
Cuadro 23. Resultados de análisis de agua para Coliformes totales en Santiago Nonualco.	42
Cuadro 24. Resultados de Coliformes totales en Santiago Nonualco.	43
Cuadro 25. Resultados de <i>Escherichia coli</i> en Santiago Nonualco.	44
Cuadro 26. Resultados de análisis de agua para <i>Pseudomona aeruginosa</i> en Santiago Nonualco.	45
Cuadro 27. Resultados de <i>Pseudomona aeruginosa</i> en Santiago Nonualco.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Filtros de biocarbón-arcilla.	13
Figura 2. Ubicación de la investigación.....	19
Figura 3. Lavado de los filtros de biocarbón-arcilla.	20
Figura 4. Recolección de las muestras de agua.....	21
Figura 5. Sustratos que se agregaron a las muestras de agua.	23
Figura 6. Llenado de charolas Quanti-Tray.	23
Figura 7. Visualización y conteo de bacterias con luz ultravioleta.	24
Figura 8. Análisis de la turbidez.	25
Figura 9. Porcentaje de remoción de hierro en San Luis Talpa.....	28
Figura 10. Porcentaje de remoción de arsénico en San Luis Talpa.....	29
Figura 11. Porcentaje de remoción de turbidez en San Luis Talpa.	31
Figura 12. Porcentaje de remoción de hierro en Santiago Nonualco.....	33
Figura 13. Porcentaje de remoción de arsénico en Santiago Nonualco.	34
Figura 14. Porcentaje de remoción de turbidez en Santiago Nonualco.	36
Figura 15. Porcentaje de remoción de Coliformes totales en San Luis Talpa.....	38
Figura 16. Porcentaje de remoción de <i>Escherichia coli</i> en San Luis Talpa.	39
Figura 17. Porcentaje de remoción de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> en San Luis Talpa.....	41
Figura 18. Promedio de remoción de Coliformes totales en Santiago Nonualco.	43
Figura 19. Porcentaje de remoción de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> en Santiago Nonualco.	46

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Cuadro A-1. Resultados fisicoquímicos de hierro en San Luis Talpa y Santiago Nonualco...	56
Cuadro A-2. Resultados fisicoquímicos de arsénico en San Luis Talpa y Santiago Nonualco.	57
Cuadro A-3. Resultados microbiológicos de San Luis Talpa.....	58
Cuadro A-4. Resultados microbiológicos de Santiago Nonualco.....	59
Cuadro A-5. Resultados de hierro en el agua cruda y filtrada en San Luis Talpa.....	60
Cuadro A-6. Resultados de arsénico en el agua cruda y filtrada en San Luis Talpa.	60
Cuadro A-7. Resultados de turbidez en el agua cruda y filtrada en San Luis Talpa.	61
Cuadro A-8. Resultados de hierro en el agua cruda y filtrada en Santiago Nonualco.....	62
Cuadro A-9. Resultados de arsénico en el agua cruda y filtrada en Santiago Nonualco.	62
Cuadro A-10. Resultados de turbidez en el agua cruda y filtrada en Santiago Nonualco.	63
Cuadro A-11. Resultados de Coliformes Totales en el agua cruda y filtrada en San Luis Talpa.	64
Cuadro A-12. Resultados de <i>Escherichia coli</i> en el agua cruda y filtrada en San Luis Talpa.	64
Cuadro A-13. Resultados de <i>Pseudomona aeruginosa</i> en el agua cruda y filtrada en San Luis Talpa	65
Cuadro A-14. Resultados de Coliformes totales en el agua cruda y filtrada en Santiago Nonualco.	66
Cuadro A-15. Resultados de <i>Escherichia coli</i> en el agua cruda y filtrada en Santiago Nonualco.	66
Cuadro A-16. Resultados de <i>Pseudomona aeruginosa</i> en el agua cruda y filtrada en Santiago Nonualco.	67
Cuadro A-17. Promedio de hierro (mg/l) en las fuentes de agua cruda y filtrada.....	68
Cuadro A-18. Promedio de Arsénico (mg/l) en las fuentes de agua cruda y filtrada.....	68
Cuadro A-19. Promedio de turbidez (NTU) en las fuentes de agua cruda y filtrada.	69
Cuadro A-20. Promedio de Coliformes Totales (NMP/100) en las fuentes de agua cruda y filtrada.....	69
Cuadro A-21. Promedio de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100) en las fuentes de agua cruda y filtrada.....	69
Cuadro A-22. Promedio de <i>Pseudomona aeruginosa</i> (NMP/100) en las fuentes de agua cruda y filtrada.	70

Cuadro A-23. Promedio de hierro (mg/l) en fuentes de agua cruda y filtrada en Santiago Nonualco.	70
Cuadro A-24. Promedio de Arsénico (mg/l) en las fuentes de agua cruda y filtrada.	70
Cuadro A-25. Promedio de turbidez (NTU) en las fuentes de agua cruda y filtrada.	71
Cuadro A-26. Promedio de Coliformes Totales (NMP/100) en las fuentes de agua cruda y filtrada.....	71
Cuadro A-27. Promedio de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100) en las fuentes de agua cruda y filtrada.....	71
Cuadro A-28. Promedio de <i>Pseudomona aeruginosa</i> (NMP/100) en las fuentes de agua cruda y filtrada.	72

1. 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, por ejemplo, la sequía afecta a algunos de los países más pobres del mundo, por lo tanto, el acceso al agua limpia es un indicador de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU 2016).

Los lagos y océanos de la Tierra se encuentran en un proceso muy grave de 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. En El Salvador los filtros de biocarbón-arcilla son elaborados de forma artesanal y son sujetos de investigaciones para asegurar que son efectivos en la remoción de contaminantes.

En esta investigación los filtros se evaluaron con el propósito de conocer la capacidad de remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos 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 Santiago Nonualco, ambos ubicados en el departamento de La Paz

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas son 17, que abordan los desafíos globales en el curso de los próximos quince años y están asociados a una agenda de directrices para las personas y el planeta que se construirá sobre el éxito de los Objetivos de Desarrollo del Milenio y, asegurará el progreso social y económico sostenible en todo el mundo (Educación Sin Fronteras 2013).

No solamente busca erradicar la pobreza extrema, sino integrar y equilibrar las tres dimensiones del desarrollo sostenible: lo económico, social y ambiental, en una visión global e integral. Ayuda a evaluar el punto de partida de los países y a analizar y formular los medios para alcanzar esta nueva visión del desarrollo sostenible. Los objetivos son aplicables para todas las sociedades, incluso los países más ricos. Todas las naciones deberán aplicar los Objetivos de Desarrollo Sostenible en sus políticas y planes nacionales, si es que quieren alcanzarlos, quedó plasmada en la Agenda 2030 (Educación Sin Fronteras 2013).

Con esta investigación se busca contribuir al cumplimiento de los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible: Objetivo 3, Salud y Bienestar; y el Objetivo 6, Agua limpia y saneamiento.

2.2 Desarrollo Rural

El desarrollo rural ha de contribuir a mejorar el bienestar de los miles de millones de personas que viven en este medio (las zonas rurales son el hogar de la mayoría de los pobres del planeta, en ellas habita la mayoría de la población de los llamados países en desarrollo), superando insostenibles desequilibrios. Más allá de su función de producir alimentos y materias primas, la actividad rural realiza importantes funciones de carácter económico, social y medioambiental, contribuyendo a la protección de la biodiversidad, del suelo y de los valores paisajísticos (FAO 2007).

El desarrollo rural hace referencia a acciones e iniciativas que se realizan para mejorar la calidad de vida de las comunidades no urbanas. Las actividades económicas más

generalizadas son las agrícolas y ganaderas, aunque hoy pueden encontrarse otras muy diferentes al sector primario. El desarrollo rural debe tener en cuenta la cultura tradicional local, ya que el medio rural es indisoluble de su cultura propia. Las acciones de desarrollo rural se mueven entre el desarrollo social y el económico (FAO 2007).

Si el objetivo global del desarrollo rural es mejorar la calidad de vida de cualquier forma que se defina, entonces los siguientes objetivos pueden contribuir a esta aspiración: maximizar la producción agrícola; conservar el medio ambiente; mejorar la calidad de vida rural (oferta de servicios de salud, educación, transporte); mantener la densidad óptima de población (FAO 2007).

2.3 Desarrollo Local

Es el proceso de transformación de la economía y de la sociedad local, orientado a superar las dificultades y retos existentes, que busca mejorar las condiciones de vida de su población mediante una acción decidida y concertada entre los diferentes agentes socioeconómicos locales, públicos y privados, para el aprovechamiento más eficiente y sustentable de los recursos endógenos existentes, mediante el fomento de las capacidades de emprendimiento empresarial local y la creación de un entorno innovador en el territorio (Carvajal 2011).

En este enfoque también se considera la importancia del capital social y los enlaces de cooperación con agentes externos para capturar recursos humanos, técnicos y monetarios, entre otros, que contribuyan a la estrategia local de desarrollo (Carvajal 2011).

2.4 Recursos naturales

Son aquellos que se obtienen directamente de la naturaleza, sin alteraciones por parte del ser humano, y que ayudan a satisfacer necesidades de la población. Desde el punto de vista de la economía, los recursos naturales son valiosos para las sociedades humanas por contribuir a su bienestar y a su desarrollo de manera directa (materias primas, minerales, alimentos) o indirecta (servicios) (Child 2009).

Dentro de los recursos naturales hay dos tipos:

- 1) Recursos no renovables: son llamados así porque existen en cantidades limitadas y se agotan tarde o temprano, ya que su tasa de consumo es mayor que su tasa de renovación. Ejemplo: petróleo, carbón, oro.
- 2) Recursos renovables: son aquellos que con una gestión adecuada se regeneran a la misma velocidad o mayor de la que se consumen, o la naturaleza los regenera en una proporción superior a su uso. Ejemplo: agua, vegetales, animales, sol, viento. Un recurso renovable pasa a ser no renovable si no le da tiempo a regenerarse, como sucede con el agua, que es considerada más como recurso no renovable (PNUD 2006).

2.5 Recursos hídricos

Son los cuerpos de agua que existen en el planeta, como los océanos, ríos, lagos, arroyos y lagunas. Estos recursos deben preservarse y utilizarse de forma racional ya que son indispensables para la existencia de la vida. Los seres humanos necesitan un suministro constante de grandes cantidades de agua, ya que es un bien insustituible como necesidad básica e interviene directamente en casi todos los procesos productivos, por tanto, se trata del recurso natural máspreciado (PNUD 2006).

Los recursos hídricos están distribuidos de manera desigual, tanto temporalmente como territorialmente. La disponibilidad de agua se torna más difícil debido a su excesivo consumo, desperdicio, uso y manejo irracional, a la cubierta desordenada de cemento y asfalto, a la deforestación y a la contaminación de ríos por vertidos domésticos e industriales (PNUD 2006).

Según el MARN (2014), los recursos hídricos se encuentran distribuidos de la siguiente forma:

- 98% del agua se encuentra en océanos y mares.
- 2% es agua dulce. De ese 2%:
 - 79% está en la cresta de los glaciares.
 - 20% en aguas subterráneas.
 - 1% se encuentra en las superficies accesibles. De ese 1%:
 - 52% se encuentra en lagos.
 - 38% está en la humedad del suelo.

- 8% es agua contenida en la atmósfera.
- 1% es agua que está en los organismos vivientes.
- 1% está en ríos y arroyos.

3.1.1. Disponibilidad del recurso hídrico en El Salvador

El Salvador recibe un acumulado de precipitación promedio anual de 1,780 milímetros (mm) y constituye la fuente principal de recursos hídricos superficiales y recarga de las masas de agua subterránea. El país cuenta con cerca de 360 ríos que se conectan para formar 10 Regiones Hidrográficas; existen cuatro lagos principales: Ilopango (70 km²), Güija (44 km²), Coatepeque (24.8 km²) y Olomega (24.2 km²); y cuatro embalses artificiales construidos con fines de generación hidroeléctrica, el embalse del Cerrón Grande, conocido localmente como el lago Suchitlán, es el mayor cuerpo de agua dulce en El Salvador (MARN 2014).

La cuenca del río Lempa constituye la cuenca más grande de El Salvador, que cubre la mitad del territorio en un área de 10,255 km² y genera aportaciones hídricas del orden de 11,686 millones de metros cúbicos (MMC), que representan el 61% de los recursos hídricos del país. La longitud del río Lempa es de 422 km, se origina en el sur de Guatemala y también recorre parte de Honduras (MARN 2014).

2.6 Generalidades del agua

El agua es un líquido transparente, insípido e inodoro que resulta de la combinación de dos moléculas de hidrógeno por una de oxígeno, su fórmula es H₂O, que en estado puro es incoloro e insípido con un punto de congelación de 0o C y su punto de ebullición es de 100° C. El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de 40° C y se expande al congelarse. Se puede considerar como un sistema ecológico en equilibrio que presenta un cierto número de propiedades físicas, químicas y biológicas estrechamente relacionadas, constituyendo la base de todas las comunidades vivas o habitadas (Romero Rojas 1999).

El agua es muy importante para la salud humana, se requiere una cantidad mínima de agua para el consumo, para la sobrevivencia, el acceso del agua es esencial para la vida. La calidad del agua tiene gran influencia en la salud pública, especialmente en la calidad fisicoquímica y microbiológica, es importante para prevenir problemas de salud, ya que se

pueden dar brotes de diferentes enfermedades infecciosas, causando que las grandes epidemias se produzcan en poblaciones enteras (Romero Rojas 1999).

3.1.2. Agua segura

Es el agua apta para el consumo humano, de buena calidad y que no genera enfermedades, es un agua que ha sido sometida a algún proceso de potabilización o purificación casera. Determinar que un agua es segura solo en función de su calidad no es suficiente, ya que debe incluir otros factores como la cantidad, cobertura, continuidad, costo y la cultura hídrica (OPS 2005).

2.5.1. Agua subterránea

La mayor parte del agua subterránea se origina del agua lluvia infiltrada hasta los acuíferos después de fluir a través del subsuelo. Durante la infiltración el agua puede cargar muchas impurezas tales como partículas orgánicas e inorgánicas, detritus de plantas y animales, microorganismos, pesticidas, fertilizantes, otras; sin embargo, durante su recorrido por el subsuelo mejora significativamente su calidad por las partículas suspendidas (Figuroa et al. 2011).

Muchos microorganismos se retienen por filtración natural y las sustancias orgánicas se degradan por oxidación. Por otro lado, las sales disueltas, causantes de problemas como dureza y salinidad, no se remueven e incluso se pueden incrementar considerablemente por la disolución de minerales del subsuelo. Otras sustancias o elementos frecuentemente presentes en las aguas subterráneas son: sulfatos, nitratos, hierro, manganeso, arsénico y flúor (Figuroa et al. 2011).

En muchos casos el agua es de buena calidad y puede usarse y beber directamente sin tratamiento, aunque siempre es preferible la desinfección como barrera de seguridad para prevenir contaminación durante el manejo del agua. Las aguas de pozos pueden contener contaminación microbiológica proveniente de letrinas cercanas, tanques sépticos, pastoreo de ganado o contaminación de sustancias orgánicas sintéticas de productos agroquímicos (Figuroa et al. 2011).

3.1.3. Usos del agua

Se agrupa en usos consuntivos que son los que implican consumo (incluye el uso urbano y doméstico, industrial y agrícola), y usos no consuntivos que son los que no implican consumo (navegación, uso recreativo, generación de energía hidroeléctrica y el mantenimiento del hábitat en ríos y humedales). Cada vez es mayor el consumo mundial de agua, no sólo por el incremento de la población, sino también porque cada habitante utiliza cada vez más agua debido al aumento del nivel de vida. De los tres tipos de uso consuntivo, el agrícola es el que representa el mayor porcentaje (65%) del agua consumida a nivel mundial (Child 2009).

Se ha estimado que en El Salvador 1,884.40 millones de metros cúbicos (MMC) son consumidos por año, distribuido porcentualmente en los sectores de mayor demanda y por prioridad de atención: agricultura (50.5%), doméstico (30.6%), energía (13.2%), industria (3.7%), acuícola (1.7%) y turismo (0.03%). La demanda de agua anual para riego es del orden de los 953 MMC y según los registros se utilizan aproximadamente 29,000 hectáreas para agricultura bajo riego, de las cuales el 41% se encuentra para riego y drenaje, y 59% para riego privado. La zona que presenta mayor demanda de agua para riego es la zona Paz-Jaltepeque. En cuanto a la procedencia del agua utilizada para el riego, el 88% proviene de río y el resto entre agua de pozos y fuentes o manantiales (MARN 2014).

La demanda de agua bruta anual en todo el país en el uso doméstico se calcula en 577 MMC, con una demanda mensual promedio de 48 MMC. En cuanto al abastecimiento de agua para uso doméstico, el 62% proviene de acuíferos y en menor medida del recurso hídrico superficial especialmente del río Lempa (planta potabilizadora Las Pavas), que se utiliza para producir agua apta para consumo humano mediante su procesamiento en las plantas de potabilización. La demanda anual de agua para uso industrial se calcula en 70.6 MMC y en el caso del uso acuícola la demanda se ha calculado en 33.3 MMC. El uso turístico representado por la demanda de agua en hoteles, se ha calculado en 0.5 MMC anuales. Recientes muestreos del agua subterránea evidencian una degradación en su calidad, que se incrementa progresivamente por la contaminación de tipo difusa, en particular en aquellos pozos aledaños a zonas agrícolas (MARN 2014).

2.7 Contaminación del agua

La contaminación del agua es la modificación de ella misma, que la vuelve impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales y la vida natural y cotidiana. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de agua, una gran generación de residuos, muchos de los cuales van a parar al agua y el uso de medios de transporte fluvial y marítimo que en muchas ocasiones son causa de contaminación de las aguas (Barba 2002).

Las aguas superficiales son en general más vulnerables a la contaminación de origen antropogénico que las aguas subterráneas, por su exposición directa a la actividad humana. Por otra parte, una fuente superficial puede restaurarse más rápidamente que una fuente subterránea a través de ciclos de escorrentía estacionales. Los efectos sobre la calidad serán distintos para lagos y embalses que, para ríos, y diferentes para acuíferos de roca o arena y grava (Barba 2002).

Algunas fuentes de contaminación son las aguas residuales no tratadas, los efluentes químicos, las filtraciones y derrames de petróleo, el vestimento de minas y productos químicos agrícolas provenientes de los campos de labranza que se escurren o se filtran en el terreno. Más de la mitad de los principales ríos del planeta están contaminados, los cuales contaminan los ecosistemas y amenazan la salud y el sustento de las personas que dependen de ellos (OPS 2005).

Algunos factores que contribuyen a deteriorar la calidad del agua son los siguientes: sistemas que funcionan de manera intermitente, plantas de tratamiento poco eficientes, ausencia de desinfección o existencia de problemas en este proceso, redes de distribución precaria, conexiones domiciliarias clandestinas o mal elaboradas y falta de higiene en el manejo del agua por los usuarios (OPS 2005).

Los servicios de agua y saneamiento insuficientes o gestionados de forma inapropiada exponen a la población a riesgos prevenibles para su salud: enfermedades como el cólera, diarreas, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y la poliomielitis. Esto es especialmente cierto en el caso de los centros hospitalarios en los que tanto los pacientes como los profesionales

de la salud quedan expuestos a mayores riesgos de infección y enfermedad cuando no existen servicios de suministro de agua, saneamiento e higiene (ONU 2016).

3.1.4. Contaminantes peligrosos en el agua de pozo

Es posible que el agua de pozo no se mantenga todo el tiempo limpia y pura. Sustancias químicas y microorganismos en la tierra pueden filtrarse en el pozo. Fertilizantes, pesticidas y herbicidas (sustancias químicas que se usan para matar insectos y malas hierbas), químicos industriales y aguas negras de origen humano o animal también pueden filtrarse en el abastecimiento de agua y hacer que el agua de pozo sea peligrosa para beber. Algunas de estas sustancias pueden causar graves problemas de salud (Romero Rojas 1999).

3.1.5. Metales pesados

En general, se considera que los metales son perjudiciales, pero muchos resultan esenciales en la dieta y en algunos casos su deficiencia o exceso puede conducir a problemas de salud, por ejemplo, el organismo requiere de hierro (Fe), cobalto (Co), cobre (Cu), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), vanadio (Va), estroncio (Sr) y zinc (Zn). Otros en cambio no cumplen una función fisiológica conocida, alteran la salud y es mejor evitarlos siempre, como: aluminio (Al), bario (Ba), berilio (Be), estaño (Sn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cromo (Cr), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), talio (Tl), oro (Au).

Los metales pesados se encuentran de manera natural en el ambiente en concentraciones que por lo general no perjudican las diferentes formas de vida. Los metales pesados no pueden ser degradados o destruidos, pueden ser disueltos por agentes físicos y químicos, y ser lixiviados. Algunos forman complejos solubles y son transportados y distribuidos a los ecosistemas hasta incorporarse en la cadena trófica (suelo, agua, plantas, semillas y forrajes), primordialmente aquellos procedentes de áreas contaminadas (Biotecnología 2016).

A continuación, se indican posibles fuentes de contaminación de los alimentos por metales pesados.

Cuadro 1. Fuentes de contaminación de metales.

Origen de la contaminación	Metal pesado involucrado
Natural, proveniente del suelo.	Cadmio, bromo, flúor, cobre.
Uso de insecticidas, desinfectantes y medicamentos.	Arsénico, cobre, plomo, mercurio.
Del suelo arenoso y envase de vidrio.	Silicio.
Por el equipo de procesamiento.	Cobre, hierro, níquel, estaño, plomo, zinc.
Debido al almacenamiento.	Hierro, níquel, estaño, plomo, cadmio, estroncio.
Por oxidación en el envase.	Hierro y cobre.
Debido al procesamiento.	Cobre, cadmio, arsénico.
Suplementos alimenticios en dietas de animales.	Cobre, cadmio, hierro, zinc, arsénico.

Fuente: Arnold (1980).

3.1.6. Calidad microbiológica del agua

La calidad microbiológica del agua potable se ha implicado en la difusión de importantes enfermedades infecciosas y parasitarias. El agua puede actuar positivamente en el control de algunos microorganismos a través de su uso en la higiene y negativamente al actuar como una fuente de transmisión de enfermedades. Los resultados de estudio sobre la relación entre la calidad del abastecimiento de agua y saneamiento en comparación con la salud humana son muy variados (Vidal 2010).

2.8 Alternativas de potabilización del agua

La desinfección del agua es esencial si hay que proteger a la población de brotes de enfermedades infecciosas y parasitarias transmitidas por el agua, los métodos comúnmente utilizados como desinfectantes tienen sus ventajas y desventajas en términos de costos, eficacia, estabilidad, facilidad de aplicación y la formación de subproductos (Vidal 2010).

Cuadro 2. Alternativas para tratar el agua cruda.

Alternativa	Ventajas	Desventajas
Agua hervida	100% de potabilidad (si esta hervida por 7 minutos), la tecnología es aceptada por la población, se puede hervir agua todo el año.	Toma tiempo para hervir y enfriar, requiere ollas para cocinar, cambia el sabor del agua, requiere recipientes para almacenar el agua, utiliza combustible (leña o gas) o energía eléctrica.
Clorar el agua	Efectivo en la eliminación de bacterias, sencillo de preparar, de	Cambia el sabor del agua, requiere disciplina para su aplicación, se

	bajo costo, producido localmente, se puede clorar todo el año.	necesitan recipientes apropiados con tapa y llave para almacenar el agua, comprar el cloro y no quita la turbidez.
Filtros de arena	Económico, producido localmente, quita turbiedad, puede ser manejado por la familia, puede utilizarse con cloro.	Requiere disciplina para su mantenimiento, no se consigue la arena fina en todas partes, no mata bacterias, requiere recipientes para almacenamiento y llave de agua, se usa cloro.
Pasteurización solar	Elimina bacterias, no contamina, es económico, comprobada efectividad, no utiliza combustible (leña o gas), de uso fácil, no requiere recipientes para almacenar, el equipo se obtiene localmente.	Requiere por lo menos 4 horas en sol para purificar el agua, tiempo para enfriar, cambia de sabor el agua, no funciona en la sombra o de noche y no quita la turbidez.

Fuente: Delgado (2012).

2.9 Filtración del agua

La filtración es un proceso de separar un sólido del líquido en el que está suspendido, al hacerlos pasar a través de un medio poroso (filtro) que retiene al sólido y por el cual el líquido puede pasar fácilmente. Se puede aplicar mediante el paso del agua por un lecho filtrante conformado por diferentes granulometrías de arena y material pétreo, cuyo objetivo es retener sólidos en suspensión que van quedando atascados entre los diferentes espacios libres del medio (Ibarra 2016 y Degremont 1979).

3.1.7. Filtros de agua a base de vasijas cerámicas con plata coloidal

Se refiere a un tratamiento en un lecho filtrante de arcillas mezclado con aserrín y bañado en solución de plata coloidal, combinando el concepto de desinfección y filtración. Una unidad de tratamiento de agua casera hecha con un filtro conformado con una vasija cerámica se caracteriza por ser de muy bajo costo, que puede ser fabricado por ceramistas locales en condiciones que no requieren electricidad ni tecnología de alto nivel (González y Figueroa 2006).

Este filtra el agua eliminando su turbiedad y, gracias a la plata coloidal, la desinfecta al desactivar las bacterias que puedan colarse por sus micro-poros, logrando tratar exitosamente el agua contaminada. Al pasar el filtro, el agua se deposita en un recipiente en

que no es necesario introducir ningún objeto para extraer el agua, sino que la misma se obtiene a través de un grifo, con lo que garantiza su calidad (Rivera y Rock 2014).

Estos filtros permiten a muchas comunidades tratar el agua proveniente de fuentes contaminadas y lograr consumirla con una calidad que cumple las normas de la Organización Mundial de la Salud, debido a su bajo costo y manejo familiar, esta opción puede representar una solución inmediata, aunque no definitiva, al problema de agua potable comunal (OMS 2013).

3.1.8. Características de los filtros de biocarbón-arcilla

Un biofiltro es un filtro artesanal fabricado de arcilla, el cual es tratado con plata coloidal como elemento inhibidor de la actividad bacteriana. La capa de biocarbón que se desarrolla durante el proceso de horneado del filtro contribuye a la efectividad de retención de metales pesados. Este tipo de filtros proporcionan agua cristalina eliminando la turbidez, así como bacterias imposibilitadas de cruzar por sus microporos. La plata coloidal impregnada en su elemento filtrante provoca una reacción química que desactiva agentes dañinos para el organismo humano que pueden atravesar el filtro, siendo completamente inofensivo para el ser humano (ANDA 2016 y Vidal 2010).

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).

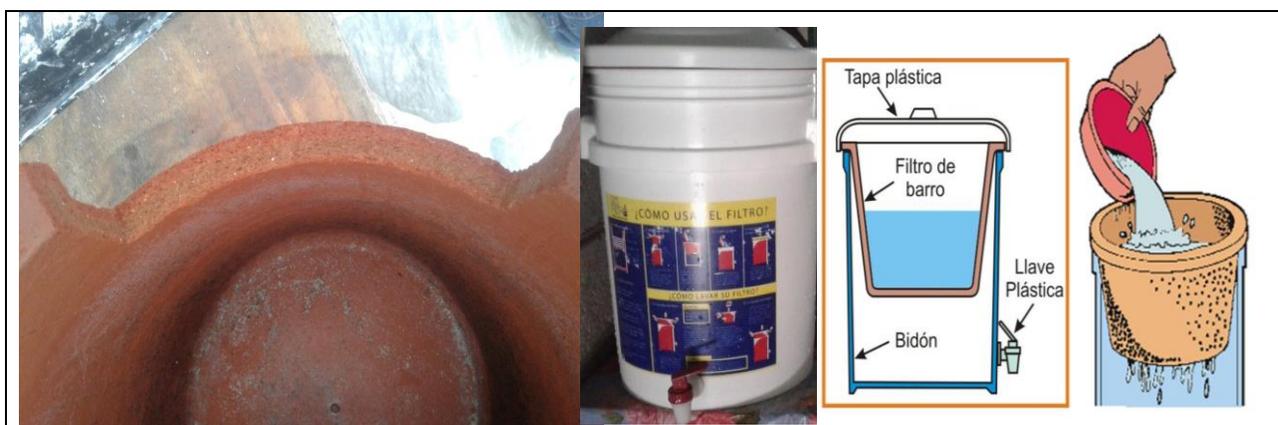


Figura 1. Filtros de biocarbón-arcilla.

2.9.2.1. Proceso de elaboración de los filtros

En El Salvador existen pequeños empresarios que se encuentran fabricando biofiltros para uso doméstico, los cuales son eficientes en la remoción de arsénico, algunos insecticidas y plomo. La elaboración de los filtros es la siguiente:

- Uso de granza de cascarilla de arroz seca.
- Pulverización de la cascarilla de arroz.
- Mezclado de la cascarilla de arroz con arcilla.
- Moldeado.
- Horneado a 850° C (ANDA 2016).

2.9.2.2. Beneficios y ventajas de los filtros

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) es de veintiocho 25/100 (\$28.25) dólares (IVA incluido), es decir, el primer año el tratamiento de agua costará \$0.07 por día, llegando a filtrar un total de 6 litros en promedio/día. El precio del repuesto del filtro (debe cambiarse cada año para aguas con contenido de metales pesados) es de catorce 00/100 (\$14.00) dólares (IVA incluido) (ANDA 2016).

Las ventajas del filtro de biocarbón-arcilla es que supera a los filtros lentos de arena, así como a otros sistemas de filtrado, debido a que éstos solo aclaran el agua. El filtro además de esta función inactiva bacterias.

El filtro estandarizado opera a razón de 1 a 2 litros por hora. Cuando pasa más agua en menos tiempo es síntoma de la existencia de problemas en el proceso de filtrado (IDEASS 2002).

Según Arango (2004), los sistemas de filtración se clasifican por:

- Gravedad o Presión: la filtración por gravedad es el proceso en el cual se hace pasar el agua por un filtro y el proceso se realiza por efectos de la gravedad. Los filtros de presión están contenidos en recipientes y el agua fluye forzada por efectos de presión a través del medio filtrante.

- Velocidad de Filtración: rápida, lenta o variable. La filtración lenta es aquella que se da a velocidades entre 0, 1 y 0,2 minutos/h, mientras que la filtración rápida se da a velocidades entre 5 y 20 minutos/h.

2.9.2.3. Fundamento de la plata coloidal

La plata se ata a la membrana celular de las bacterias. Las células sensitivas entonces aumentan su tamaño y el contenido citoplasmático, y las membranas celulares y estructuras celulares externas presentan anormalidades. Estas anormalidades resultan en lisis celular y la muerte, también se discute el rol de la plata como causante de lisis celular, porque la plata reemplaza compuestos en la membrana celular que son requeridos para su estabilidad (Delgado 2012).

Los iones de plata coloidal actúan alterando la función mesozonal de la célula. La mesozona es una parte de la barrera de la célula que es responsable de su respiración (Sierra 2011).

El poder oligodinámico de la plata libera radiaciones a frecuencias tan altas como la luz, que son transmitidas por el agua, en donde microorganismos Coliformes y gérmenes patógenos son disociados en su estructura atómica y reducidos a los elementos que los componen (carbón, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre), elementos que no afectan al ser humano (Aguamax).

Cada partícula de plata lleva una carga positiva. La plata coloidal hecha de esta manera es transparente con un tono amarillento (Vidal 2010).

A continuación, se mencionan las bacterias que pueden ser inhibidas e inactivadas por las diferentes concentraciones de plata coloidal.

Cuadro 3. Concentración de plata coloidal necesaria para inhibir e inactivar bacterias.

Bacterias	Concentración para inhibición (µg/MI)	Concentración para inactivación (µg/mL)
<i>Escherichia coli</i>	0.50	2.02
<i>Escherichia coli (dental)</i>	1.03	8.25
<i>Providencia stuartii</i>	0.13	0.73
<i>Proteus mirabilis</i>	0.08	2.51
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0.31	2.51

<i>Serratia</i>	0.08	0.51
<i>Staphylococcus albus</i>	0.12	0.85
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.03	0.26
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.25	8.25
<i>Streptococcus group D</i>	0.63	10.05
<i>Streptococcus mitis</i>	0.31	10.05
<i>Streptococcus monila</i>	1.25	10.05
<i>Streptococcus mutans</i>	0.63	10.05
<i>Streptococcus pyogenes</i>	0.24	0.48
<i>Streptococcus pyogenes</i>	0.24	0.48
<i>Streptococcus alivanius</i>	1.03	8.25

Fuente: Sierra (2011).

2.9.2.4. Fundamento del biocarbón o carbón activado

En la tabla periódica, el elemento carbono ocupa una posición única, número atómico de seis con cuatro electrones exteriores capaces de presentar multiuniones, de bajo peso atómico (12,011 uma). Es un elemento de gran versatilidad que se combina con hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y otros elementos para formar al menos 10 millones de compuestos orgánicos (Mendoza 2012).

El carbón común se hace de la turba, del carbón de mina, de la madera, de la cáscara de coco o del petróleo. "El carbón activado" es similar al carbón común. Los fabricantes producen carbón activado calentando el carbón común con gas, lo cual produce espacios o "poros" en el interior del carbón. Estos poros ayudan a que el carbón activado pueda "atrapar" sustancias químicas (Marsh y Rodríguez 2006).

La noción de carbón activado hace referencia a un conjunto de carbones que se caracterizan por su capacidad de adsorción gracias a sus pequeños poros. En estos poros el carbón activado (también llamado carbón activo) atrapa distintas clases de compuestos, muchas veces orgánicos (Marsh y Rodríguez 2006).

Es importante diferenciar entre la adsorción y la absorción. La adsorción implica que las moléculas o los átomos quedan atrapados en la superficie del material. La absorción, en cambio, se vincula al volumen. Al observar el carbón activado en un microscopio, es posible reconocer las pequeñas grietas de su estructura. En esos micros poros de unos pocos

nanómetros de diámetro se produce la adsorción de numerosas partículas (Marsh y Rodríguez 2006).

El estudio de la capacidad de adsorción del carbón activado frente a numerosos adsorbentes orgánicos e inorgánicos generó la utilización del mismo en filtros para agua potable, donde la unidad de filtración se produce de 3 materiales naturales que son la arcilla, el aserrín y la plata coloidal (Marsh y Rodríguez 2006).

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).

2.10 Reglamento Técnico Salvadoreño para Agua de Consumo Humano

El Reglamento Técnico Salvadoreño “RTS 13.02.01:14 Agua. Agua de Consumo Humano. Requisitos de Calidad e Inocuidad”, establece los *límites permisibles de los parámetros microbiológicos, físicos, químicos y radiológicos que debe cumplir el agua para el consumo humano*, los cuales debe de cumplir el administrador, abastecedor u operador del sistema de agua: persona natural o jurídica pública, privada, municipales, comunitario o mixta que tiene responsabilidad, participación o interviene en cualquiera de las actividades de gestión, administración, operación, mantenimiento, distribución, suministro y control del sistema de abastecimiento de agua de consumo humano (OSARTEC 2018).

Según el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, los límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos son los siguientes:

Cuadro 4. Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos para agua de consumo humano según el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14.

N°	Parámetro	Límites máximos		
		Técnica de filtración por membranas	Técnicas de tubos múltiples	Método cualitativo (presencia/ausencia)
1	Bacterias Coliformes totales	< 1 UFC/100 mL	< 1,1 NMP/100 mL	N/A

2	Bacterias Coliformes fecales	< 1 UFC/100 ml	< 1,1 NMP/100 mL	N/A
3	<i>Escherichia coli</i>	< 1 UFC/100 mL	< 1,1 NMP/100 mL	Ausencia
4	<i>Pseudomona aeruginosa</i>	N/A	N/A	N/A

Fuente: OSARTEC (2018).
(N/A) No aplica.

Un número mayor de 100 microorganismos por mililitro en el recuento total de bacterias heterotróficas es señal de que deben tomarse medidas correctivas e indica la necesidad de inspecciones sanitarias completas del sistema de abastecimiento para determinar cualquier fuente de contaminación (CONACYT 2009).

Cuadro 5. Límites máximos permisibles de parámetros físico-químicos para agua de consumo humano según el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14.

N°	Parámetros	Límite Máximo Permissible (mg/L)
	Físico-químicos	
1	pH	6,0 – 8,5
2	Turbidez	5 UNT
	Metales	
3	Arsénico	0,01
4	Hierro*	0,3

Fuente: OSARTEC (2018).

*Cuando los valores de hierro y manganeso superen el límite máximo permitido establecido en este reglamento y no sobrepasen la concentración de 2 mg/L para hierro y de 0,5 mg/L para manganeso, se permitirá el uso de quelantes para evitar los problemas de color, turbidez y sabor que se generan.

2.11 Muestreo del agua

El muestreo de agua y el examen frecuente son necesarios en el caso de los componentes microbiológicos, pero cuando se trata de compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua que están relacionados con la salud, se requieren tomas de muestras y análisis menos frecuentes. Debe realizarse un examen completo cuando se pone en servicio una fuente nueva de agua e inmediatamente después de cualquier modificación importante de los procesos de tratamiento (CONACYT 2009).

Más adelante, es preciso analizar periódicamente muestras con una frecuencia dependiente de las condiciones locales. Además, es importante la información local sobre los cambios ocurridos en la zona de captación (en particular actividades agrícolas e industriales), que

pueden usarse para pronosticar posibles problemas de contaminación y, por consiguiente, determinar la necesidad de vigilar con más frecuencia la presencia de compuestos específicos (CONACYT 2009).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del estudio

La investigación se realizó en un pozo para extracción de agua ubicado en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, en el km 57 sobre la carretera al puerto de La Libertad, en el cantón Tecualuya, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz; y en un segundo pozo ubicado en el caserío San Antonio, cantón San Francisco El Porfiado, municipio de Santiago Nonualco, departamento de La Paz, en el km 57 sobre la carretera que conduce a San Luis La Herradura, departamento de La Paz.

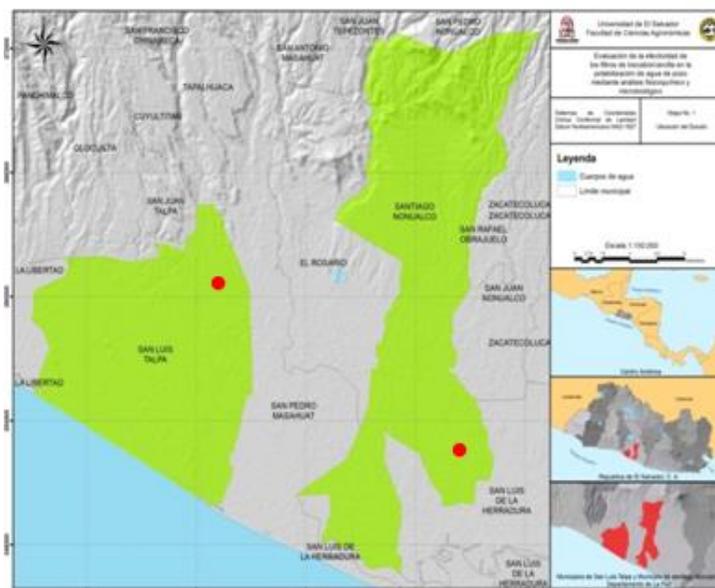


Figura 2. Ubicación de la investigación.

El pozo ubicado en la Estación Experimental y de Prácticas de San Luis Talpa, tiene una profundidad de 60 m, de donde se bombea el agua y se traslada por tubería de PVC hasta el lugar está ubicado el grifo del que se tomaba la muestra.

El pozo ubicado en el caserío San Antonio, cantón San Francisco El Porfiado, municipio de Santiago Nonualco, tiene una profundidad de 7 m. En este pozo el agua se extrae con una bomba y se conduce hasta la casa a través de una tubería de PVC 3” en donde está ubicado el grifo del que se tomaba la muestra.

3.2 Metodología de campo

En cada sitio se utilizó un filtro de biocarbón-arcilla artesanal, para ello, 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 1 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.



Figura 3. Lavado de los filtros de biocarbón-arcilla.

3.2.1 Muestras de agua

Antes de iniciar con la investigación, se caracterizó el agua de cada pozo, para lo cual se tomó una muestra de agua para conocer los parámetros físicos químicos y microbiológicos que están presentes en el agua de cada uno de los dos pozos.

Las muestras de agua cruda y filtrada fueron tomadas una vez cada 15 días en cada lugar, para realizar los respectivos análisis físicos químicos y microbiológicos, durante un periodo 6 meses. Se utilizó papel toalla con alcohol para limpiar los grifos y evitar posibles agentes contaminantes en las muestras de agua a extraer, se usó guantes de látex, mascarilla y

gorro para prevenir cualquier contaminación de las muestras. En total se hicieron 24 muestreos de agua durante la investigación, 12 muestreos en cada uno de los sitios en estudio.

Para el análisis microbiológico, en cada pozo se tomó 2 muestras de agua cruda y 2 muestras de agua filtrada, para ello se utilizaron frascos de polietileno de 100 ml, estériles, llenos hasta el hombro del frasco y debidamente rotulados. Las muestras de agua fueron transportadas en hieleras, con unos bloques congelantes a una temperatura de 4° C, al 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).



Figura 4. Recolección de las muestras de agua.

Para el análisis físico químico, en cada pozo se tomaron 2 muestras de agua, una muestra de agua cruda y una de agua filtrada, se utilizaron frascos de polietileno de 500 ml, estériles y llenos hasta el hombro del frasco. Cada frasco se rotuló con la fecha, lugar del muestreo y con el tipo de agua que contiene (figura 5). Al momento de la toma de las muestras se midió la temperatura del agua y del ambiente. Las muestras de agua fueron transportadas en hieleras, a una temperatura de 4° C, con su respectiva cadena de custodia, al laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

3.2.2 Funcionamiento de los filtros

Con el propósito de validar el funcionamiento de los 2 filtros, todos los días y durante 6 meses se tomaron 7.56 litros (2 galones) de agua de cada uno de los pozos, los cuales se

filtraban en el filtro de biocarbón-arcilla para darles un uso continuo y comprobar si mantienen la calidad y las características en el agua filtrada.

3.3 Metodología de laboratorio

Los parámetros físico químicos que se analizaron fueron hierro (Fe), arsénico (As) y turbidez. Para realizar los análisis de los parámetros químicos se utilizó el método de absorción atómica; la determinación de turbidez se hizo con un Turbidímetro la Motte, a través del método Nefelométrico, obteniendo los resultados en Unidades Nefelométrico de Turbidez (NTU).

Los parámetros microbiológicos que se analizaron fueron Coliformes totales, *Escherichia coli* y *Pseudomona aeruginosa*. Los resultados de los análisis de las muestras de agua filtrada y cruda se obtuvieron en unidades del Número Más Probable (NMP).

4.3.1. Determinación de Coliformes totales, *Escherichia coli* y *Pseudomona aeruginosa*

Para determinar Coliformes totales, *Escherichia coli* y *Pseudomona aeruginosa* en las muestras de agua cruda y filtrada se realizó el siguiente procedimiento:

- Las muestras se recibieron en el laboratorio y para conocer los Coliformes totales se les adicione Colilert (Cromogénico Ortonitrofenil β -D galactopiranosida y fluorogénico 4-Metilumbelliferyl- β -D- Glucoronide); y para *Pseudomona aeruginosa* se agregó el sustrato Pseudalert y dos gotas de Antifoam Solución (solución antiespumante), se mezcló para que se disolviera por completo, luego se colocó la muestra en una charola Quanti-Tray, posterior a esto se sellaron las charolas con calor y se rotularon las muestras con la fecha, hora y número de muestra (ID), se introdujeron en la incubadora a una temperatura de 35° C por 24 horas, al finalizar este periodo se realizó la lectura, determinando la presencia y la ausencia de Coliformes totales y *Pseudomona aeruginosa*, observando el viraje de color de la muestra a amarillo y luego cuantificando el Número Más Probable de las mismas.

Esta prueba se basa en una tecnología de detección de enzimas bacterianas que señalan la presencia de *Pseudomona aeruginosa* mediante la hidrólisis de un sustrato

presente en el reactivo Pseudalert 250. Las células crecen rápidamente y se reproducen utilizando el suministro rico en aminoácidos, vitaminas y otros nutrientes presentes. Las cepas crecen activamente y tienen una enzima que se adhiere al sustrato del reactivo para producir la fluorescencia azul con la luz ultravioleta.

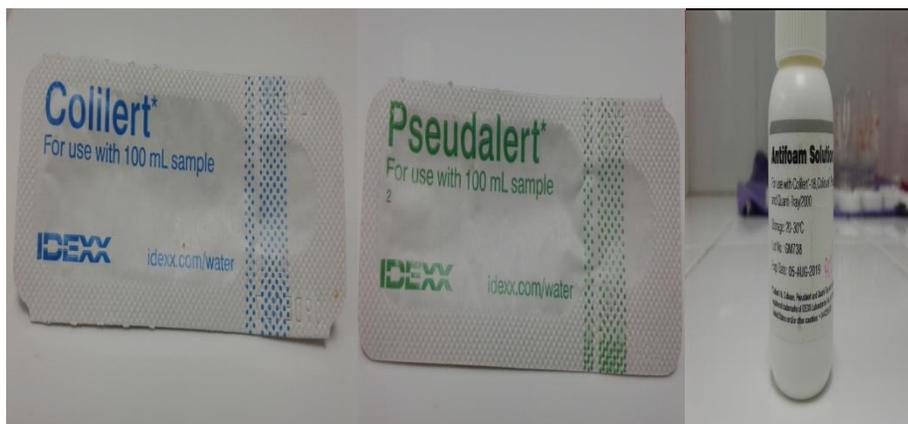


Figura 5. Sustratos que se agregaron a las muestras de agua.

Para los análisis de Coliformes Totales, *Escherichia coli* y *Pseudomona aeruginosa* se procedió a la siembra e incubación, para ello es necesario que la muestra esté a temperatura ambiente, se adicionó el sustrato y se mezcló para que se disuelva por completo, luego se colocó la muestra dentro de la charola Quanti-Tray, se selló y se identificó con la siguiente información: número correlativo, fecha, lugar y hora.



Figura 6. Llenado de charolas Quanti-Tray.

Luego se colocaron en la incubadora a una temperatura de 35° C para Coliformes totales y a 38° C para *Pseudomona aeruginosa*, por un periodo de 24 horas, al final del cual se realizó

la lectura; debido a que se trata de un método cuantitativo para determinación microbiológica, fueron contabilizados todos los pocillos de la charola, grandes y pequeños, que hayan tenido viraje de un color amarillo pálido a uno intenso para Coliformes totales, y fluorescencia bajo luz ultravioleta para *Escherichia coli* y *Pseudomona aeruginosa*; una vez contabilizados, se utilizaron las tablas del Número Más Probable para determinar el número de bacterias presentes en la muestra de 100 ml de agua.

Para analizar *Pseudomona aeruginosa* se hizo el siguiente procedimiento: al recibir la muestra se agregó el reactivo Pseudalert y la muestra se volvió amarilla, se selló el frasco y se agitó hasta disolver por completo el reactivo, se abrió y añadió dos gotas de solución antiespumante, se verificó con ayuda de luz ultravioleta (UV) si la muestra contenía *Pseudomona aeruginosa* y se cuantificó según el Número Más Probable, observando el número de pocillos grandes y pequeños con fluorescencia azul.



Figura 7. Visualización y conteo de bacterias con luz ultravioleta.

Después de realizado el análisis de laboratorio se calculó el porcentaje de remoción de bacterias con los datos obtenidos, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de Remoción} = \frac{(\text{Concentración inicial} - \text{concentración final}) \times 100}{\text{Concentración inicial}}$$

4.3.2. Determinación de parámetros fisicoquímicos

Para los análisis de turbidez se recibió la muestra y se colocó en un recipiente enjuagado con agua destilada, luego se introdujo en el Turbidímetro, obteniendo resultados en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) (LaMotte 2012).



Figura 8. Análisis de la turbidez.

Para la determinación de hierro y arsénico se llevó un testigo, el cual fue analizado como una muestra y consistía en agua destilada, esta fue leída y se le asignaba el valor de cero mediante el ajuste del mando al equipo. Además, se realizaron tratamientos de las muestras, tomando 100 ml de cada muestra, luego se adicionaron 5 ml de ácido clorhídrico (HCl) concentrado y se ebulleron durante 10 minutos, después se enfriaron y se filtraron a través de papel Watman 42, posteriormente se llevaron a volumen de 100 ml con agua destilada.

4.4. Metodología Estadística

Se realizó una evaluación de los resultados obtenidos del agua filtrada y cruda de los 2 pozos, 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).

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n-1}}}$$

Dónde:

t = Prueba “t” de Student para análisis de diferencias de medias.

\bar{X} = Media de la población.

μ = Diferencia hipotética de las medias.

S = Desviación estándar.

n = Tamaño de la muestra.

Para 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 para el agua filtrada (tratada) y dos para el agua cruda.

Para los parámetros microbiológicos (*Coliformes Totales*, *Escherichia coli* y *Pseudomona aeruginosa*) se hicieron 2 determinaciones de cada parámetro para agua filtrada (tratada) y una para el agua cruda por cada muestreo.

Cuadro 6. Determinaciones por parámetro para cada presentación.

Sitio de muestreo	Tipo de muestra	Parámetros Fisicoquímicos (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

Fuente: Elaboración propia (2020).

Se utilizó el programa SPSS-V25 (Producto de Estadística y Solución de Servicio), que es un software utilizado para realizar la captura y análisis de datos para crear tablas y gráficas con data compleja, es conocido por su capacidad de gestionar grandes volúmenes de datos y es capaz de llevar a cabo análisis de texto entre otros formatos más. Aunque originalmente fue diseñado para las ciencias sociales, puede ser utilizado para muchos tipos de conjuntos de datos experimentales o de observación, incluyendo las ciencias ambientales y ecológicas (Moreno 2008).

La base del software estadístico SPSS incluye estadísticas descriptivas como la tabulación y frecuencias de cruce (por ejemplo, medias, frecuencia), estadísticas de dos variables, además pruebas T, análisis de varianza (ANOVA) y de correlación, regresión, análisis de factores y la representación gráfica de los datos. Con SPSS es posible realizar recopilación de datos, análisis de decisiones de gestión y mucho más (Moreno 2008).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Uno de los objetivos específicos de esta investigación fue evaluar la capacidad de remoción de contaminantes fisicoquímicos de los filtros de biocarbón/arcilla durante seis meses de uso continuo, los resultados fueron los siguientes:

4.1 Resultados de remoción de hierro en San Luis Talpa

Según los resultados de los análisis de agua obtenidos en esta investigación, en 4 de las 5 muestras que contenían hierro el porcentaje de remoción fue del 100% durante los seis meses que fue evaluado el filtro con un uso continuo, con un promedio de remoción del 82.29%, a pesar que el contenido de hierro en el agua cruda son cantidades mínimas que están por debajo del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14; por lo tanto, esta agua es apta para el consumo humano.

Cuadro 7. Resultados de 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	

Cuadro 8. Resultados de hierro en San Luis Talpa.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Porcentaje de remoción	100	100	100	29.14	n/a	n/a

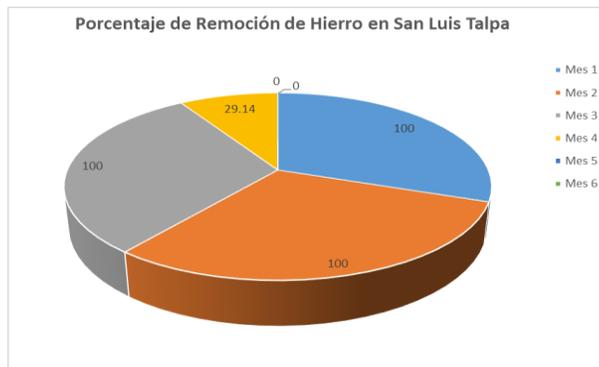


Figura 9. Porcentaje de remoción de hierro en San Luis Talpa.

Con la finalidad de comparar los resultados obtenidos del agua cruda y filtrada con los límites permitidos por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, se aplicó la prueba de hipótesis T-Student por parcelas apareadas, también conocida como muestras relacionadas, y demostrar estadísticamente con una probabilidad de error del 0.029 (2.9%), menor al nivel de significancia del 0.05 (5%).

Al comparar el contenido de hierro en las muestras de agua cruda y filtrada, 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, demostrando 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 (cuadro A-5).

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%.

4.2 Resultados de remoción de arsénico en San Luis Talpa

Según los resultados de los análisis de agua, el porcentaje promedio de remoción de arsénico fue del 22.41%, a pesar que el contenido de arsénico en el agua cruda son cantidades mínimas que están por debajo del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14; por lo tanto, esta agua es apta para el consumo humano.

Cuadro 9. 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	

El filtro tuvo un porcentaje de remoción de arsénico variable en cada uno de los seis meses evaluado 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%.

Cuadro 10. Remoción promedio de arsénico en San Luis Talpa.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Remoción	0.00	58.72%	27.45%	29.21%	11.82%	7.25%

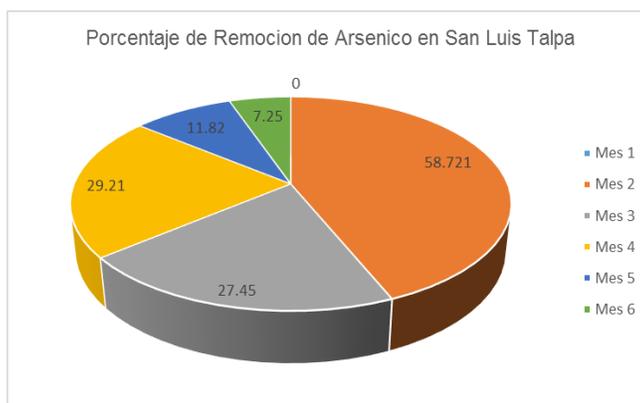


Figura 10. Porcentaje de remoción de arsénico en San Luis Talpa.

Al comparar el contenido de arsénico en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticamente 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, siendo menor al parámetro establecido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 de 0.010 mg/l (cuadro A-6).

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.

4.3 Resultados de turbidez en San Luis Talpa

En el pozo de San Luis Talpa, todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de turbidez 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 turbidez del 85.75%, se observa 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.

Cuadro 11. 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	
--	----------------------------	--------------	--------------	--	---------------	--

El filtro tiene un porcentaje de remoción de turbidez variable en cada uno de los seis meses evaluado con un uso continuo, ya que el menor porcentaje de remoción fue en el mes uno con 69.17% y el mayor porcentaje fue en el mes cuatro con 97%.

Cuadro 12. Resultados de turbidez para San Luis Talpa.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Porcentaje de remoción	69.17	95.83	78.57	97.00	96.15	77.78

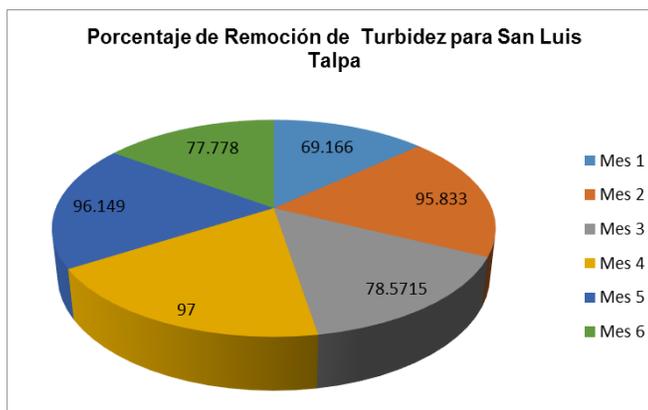


Figura 11. Porcentaje de remocion de turbidez en San Luis Talpa

Al comparar el contenido de turbidez en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticamente 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, 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 (cuadro A-7).

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 San Salvador una remoción de turbidez con un promedio de 55.69% y en Ilobasco 89.37%.

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%.

4.4 Resultados de remoción de hierro en Santiago Nonualco

Según los resultados de los análisis de agua, el porcentaje de remoción de hierro fue del 100%, a pesar que el contenido de hierro en algunas muestras de agua cruda son cantidades mínimas que están por debajo del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14; por lo tanto, esta agua es apta para el consumo humano.

Cuadro 13. 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	

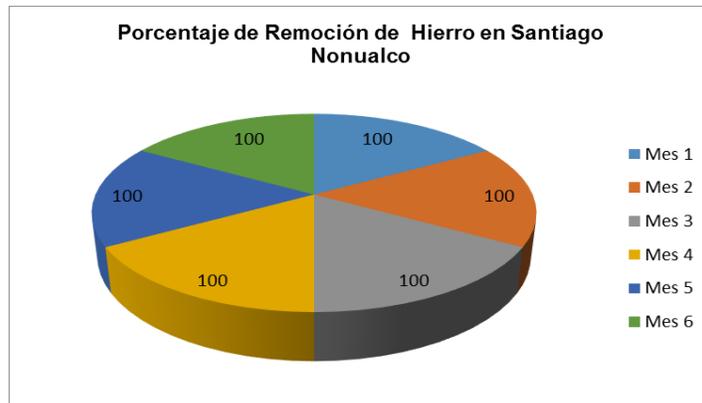


Figura 12. Porcentaje de remocion de hierro en Santiago Nonualco.

Según los resultados obtenidos, el filtro tiene un porcentaje de remoción de hierro del 100% en cada uno de los seis meses evaluado con un uso continuo.

Al comparar el contenido de hierro en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticamente significativas, ya que el agua filtrada presentó menor 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 (cuadro A-8).

Según APHA (1996), la presencia de hierro en el agua puede afectar la potabilidad de la misma, ya que puede 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.

4.5 Resultados de remoción de arsénico en Santiago Nonualco

En el pozo de Santiago Nonualco, todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de arsénico por arriba del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14.

Según los resultados de los análisis de agua, el porcentaje promedio de remoción de arsénico fue del 14.98%, se observa que el agua filtrada no cumple con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14; por lo tanto, esta agua no es apta para el consumo humano.

Cuadro 14. 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	

Según los resultados obtenidos, el filtro tiene un porcentaje de remoción de arsénico variable en cada uno de los seis meses evaluado 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%.

Cuadro 15. Resultados de remoción de arsénico en Santiago Nonualco.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Remoción	52.41%	14.28%	8.68%	7.17%	5.27%	2.09%

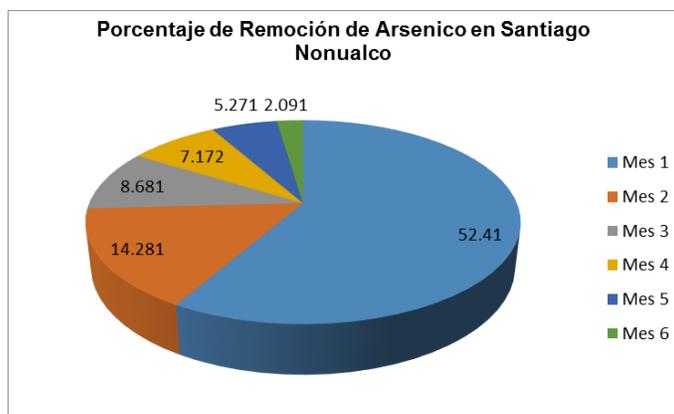


Figura 13. Porcentaje de remoción de arsénico en Santiago Nonualco.

Al comparar el contenido de arsénico en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticamente 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, 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 0.010 mg/l (cuadro A-9).

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.

4.6 Resultados de turbidez en Santiago Nonualco

En el pozo de Santiago Nonualco, todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de turbidez por debajo del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14.

Según los resultados de los análisis de agua, con el filtro de biocarbón/arcilla se obtuvo un porcentaje de remoción de turbidez del 75.95%, se observa 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.

Cuadro 16. Resultados de turbidez 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
--	----------------------------	--------------	--------------	--	--	---------------

Según los resultados obtenidos, el filtro tiene un porcentaje de remoción de turbidez variable en cada uno de los seis meses evaluado con un uso continuo, ya que el menor porcentaje de remoción fue en el mes cinco con 50% y el mayor porcentaje fue en los meses cuatro y seis con 100%.

Cuadro 17. Resultados de turbidez para Santiago Nonualco.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Remoción	85.71%	62.50%	57.70%	100%	50%	100%

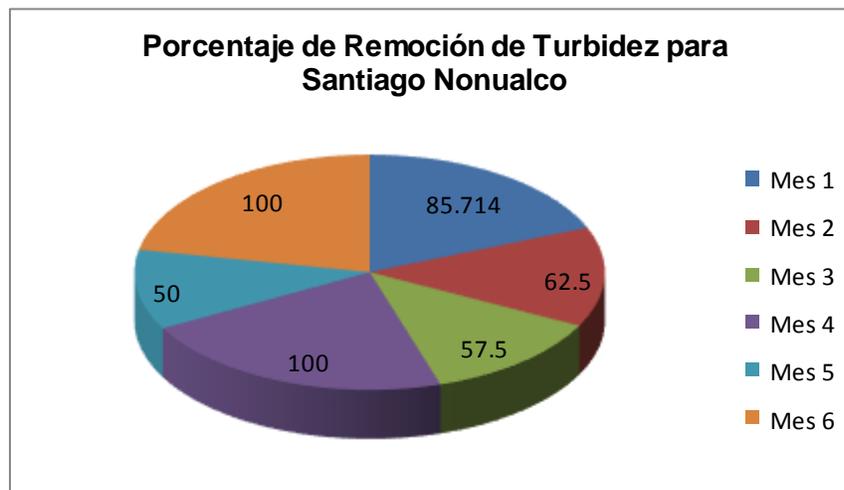


Figura 14. Porcentaje de remoción de turbidez en Santiago Nonualco.

Al comparar el contenido de turbidez en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticamente 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 (cuadro A-10).

Un segundo objetivo específico de esta investigación fue evaluar la capacidad de eliminación de parámetros microbiológicos de los filtros de biocarbón/arcilla utilizando agua de dos pozos destinada para consumo humano, obteniendo los siguientes resultados:

4.7 Resultados de remoción de Coliformes totales en San Luis Talpa

En el pozo de San Luis Talpa, todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de Coliformes totales por arriba del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14.

Según los resultados de los análisis de agua, con el filtro de biocarbón/arcilla se obtuvieron porcentajes de remoción de Coliformes totales muy variables, con un promedio de remoción del 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 esta agua no es apta para el consumo humano.

Cuadro 18. 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

Según los resultados obtenidos, el filtro tiene un porcentaje de remoción de Coliformes totales variable en cada uno de los seis meses evaluado con un uso continuo, ya que 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%.

Cuadro 19. Porcentajes de remoción de Coliformes totales en San Luis Talpa.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Remoción	77.51%	91.22%	92.92%	92.87%	95.63%	99.94%

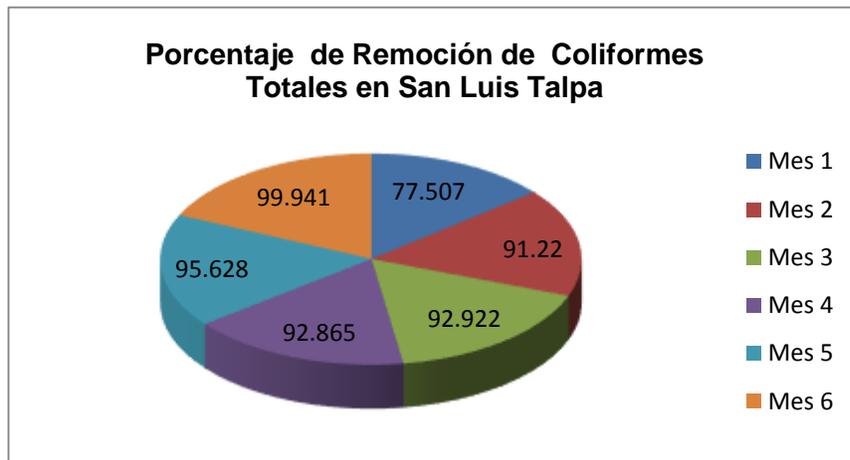


Figura 15. Porcentaje de remoción de Coliformes totales en San Luis Talpa.

Al comparar el contenido de Coliformes totales en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticamente significativas, ya que el agua filtrada presentó menor contenido de Coliformes totales con una media de 74.016667 NMP/100 ml y el agua cruda tuvo una media de 857.233333 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 (cuadro A-11).

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 San Salvador hasta un 5.125% de remoción de Coliformes totales y en Ilobasco el porcentaje de remoción fue de 54.90%.

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

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

En el pozo de 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.

Cuadro 20. 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	

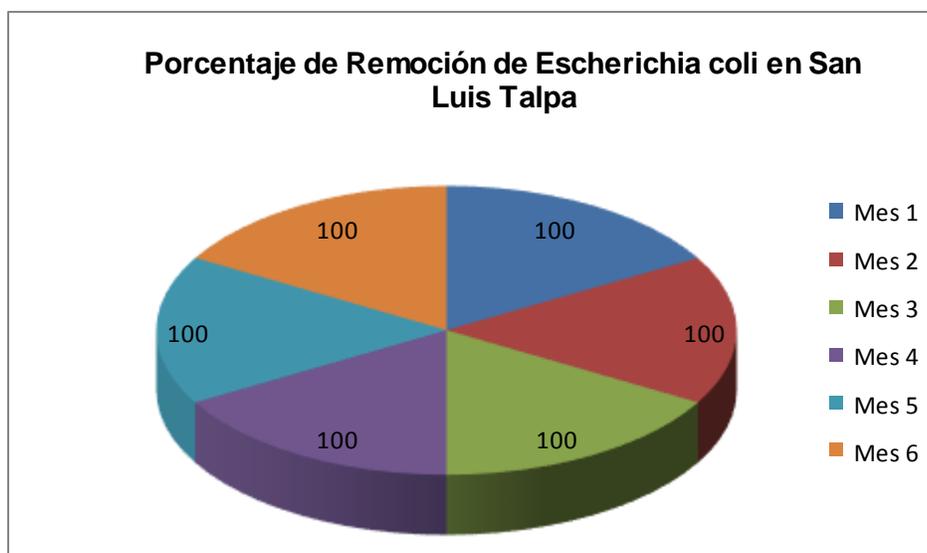


Figura 16. Porcentaje de remoción de *Escherichia coli* en San Luis Talpa.

Al comparar el contenido de *Escherichia coli* en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticamente 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 (cuadro A-12).

Rayner (2009) menciona en una investigación que de 15 hogares que tenían *Escherichia coli* en su fuente de agua potable, ocho (53%) resultaron negativas después de la filtración en filtros cerámicos. Además, realizaron pruebas de calidad del agua en 1,000 filtros cerámicos que distribuyeron entre la población 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.

IDEASS (2002), en una investigación que realizó en Nicaragua con el Filtrón, removieron *Escherichia coli* en un 100%.

4.9 Resultados de remoción de *Pseudomonas aeruginosa* en San Luis Talpa

Pseudomonas aeruginosa es un parámetro que no está identificada en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, para Agua. 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. Agua envasada.

Según los resultados de los análisis realizados se obtuvo una remoción promedio de *Pseudomonas 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.

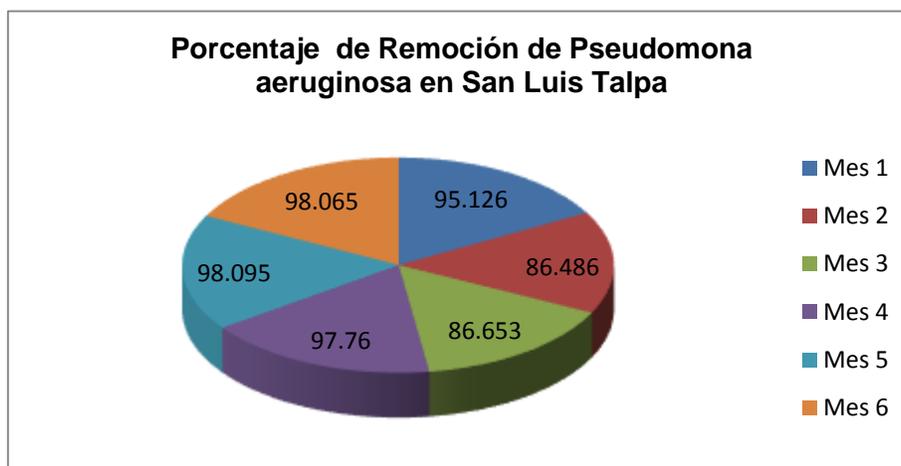
Cuadro 21. Resultados de los análisis de agua para *Pseudomonas aeruginosa* en San Luis Talpa.

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	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

El filtro tiene un porcentaje de remoción de *Pseudomona aeruginosa* variable en cada uno de los seis meses evaluado con un uso continuo, ya que el menor porcentaje de remoción fue en el mes dos con 86.49% y el mayor porcentaje fue en el mes cinco con 98.10%.

Cuadro 22. Resultados de *Pseudomona aeruginosa* en San Luis Talpa.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Remoción	95.13%	86.49%	86.65%	97.76%	98.10%	98.07%



Figuro 17. Porcentaje de remoción de *Pseudomona aeruginosa* en San Luis Talpa.

Al comparar el contenido de *Pseudomona aeruginosa* en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticamente 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 33.400000 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 (cuadro A-13).

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*.

4.10 Resultados de remoción de Coliformes totales en Santiago Nonualco

En el pozo de Santiago Nonualco todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de Coliformes totales por arriba del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, a excepción de cuatro muestreos.

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 no cumple con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 y no es apta para el consumo humano, es una opción para asegurar la calidad del agua con el método complementario, para considerarla apta para el consumo humano.

Cuadro 23. 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
12	17/07/2019	1.000	1.000	<1,1	0.000	
	Promedio	264.992	1.700		76.98	76.98

El filtro tiene un porcentaje de remoción de Coliformes totales variable en cada uno de los seis meses evaluado con un uso continuo, ya que el menor porcentaje de remoción se obtuvo en el mes cinco con 50% y el mayor porcentaje fue en el mes dos con 99.92%.

Cuadro 24. Resultados de Coliformes totales en Santiago Nonualco.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Remoción	67.99%	99.92%	66.67%	87.73%	50.00%	89.58%

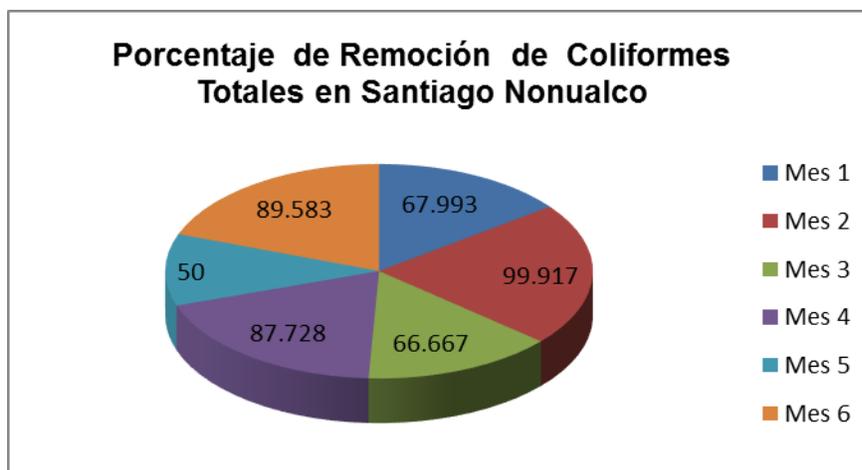


Figura 18. Promedio de remoción de Coliformes totales en Santiago Nonualco.

Al comparar el contenido de Coliformes totales en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticamente 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 (cuadro A-14).

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.

4.11 Resultados de remoción de *Escherichia coli* en Santiago Nonualco

En el pozo de Santiago Nonualco, todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de *Escherichia coli* por debajo del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14.

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 evaluado con un uso continuo, se observa 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.

Cuadro 25. 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	

Al comparar el contenido de *Escherichia coli* en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticamente 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, 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 (cuadro A-15).

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.

Según Ludeña y Tinoco (2010), en un estudio realizado en la Planta de Cerámica CERART, en un estudio teórico experimental con el fin de mejorar la calidad del agua, mencionan que los filtros de arcilla con baño de plata coloidal remueven agentes microbianos, logrando remociones de 99.99% de Coliformes totales, Coliformes fecales y de *Escherichia coli*.

4.12 Resultados de remoción de *Pseudomona aeruginosa* en Santiago Nonualco

Pseudomonas aeruginosa es un parámetro que no está identificada en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, para Agua. 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. Agua envasada.

Según los resultados de los análisis realizados 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, para considerarla apta para el consumo humano.

Cuadro 26. Resultados de análisis de agua para *Pseudomona aeruginosa* 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	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

El filtro tiene un porcentaje de remoción de *Pseudomona aeruginosa* variable en cada uno de los seis meses evaluado con un uso continuo, ya que el menor porcentaje de remoción fue en el mes cinco con 75.93% y el mayor porcentaje fue en el mes dos con 94.02%.

Cuadro 27. Resultados de *Pseudomona aeruginosa* en Santiago Nonualco.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Remoción	88.37%	94.02%	85.46%	82.59%	75.93%	87.90%

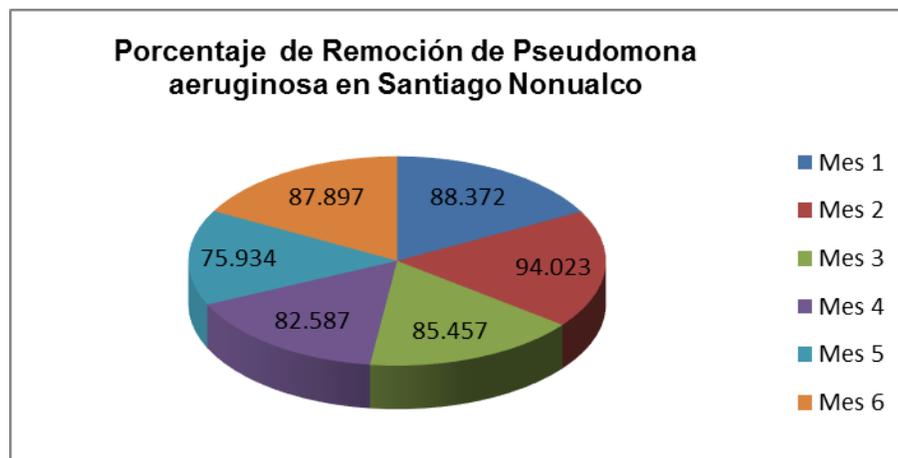


Figura 19. Porcentaje de remoción de *Pseudomona aeruginosa* en Santiago Nonualco.

Al comparar el contenido de *Pseudomona aeruginosa* en las muestras de agua cruda y filtrada, presentan diferencias estadísticamente 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 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 (cuadro A-16).

Con todos los resultados físicos, químicos y microbiológicos obtenidos en esta investigación se da respuesta y se contribuye 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 considerablemente el número de personas que sufren falta de agua; entre otras.

Molly (2009) menciona en una investigación realizada en Atlanta, 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.

5. 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; 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 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, por lo tanto, ésta agua no es apta para el consumo humano; y en Santiago Nonualco fue de 76.98%, por lo que ésta 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; por lo tanto, esta agua 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; por lo tanto, ésta agua es apta para el consumo humano.

El mantenimiento y limpieza de los filtros artesanales de biocarbón/arcilla es fundamental en los resultados de remoción, debido a que puede haber contaminación en el proceso de lavado por acumulación de agentes contaminantes dentro del bidón y de la placa coloidal.

Los filtros de biocarbón/arcilla son una alternativa para filtrar agua para consumo humano, ya que disminuyen las concentraciones de contaminantes microbianos y de metales pesados como hierro y arsénico.

El precio de cada filtro más contenedor plástico es de veintiocho 25/100 (\$28.25) dólares (IVA incluido), es decir, el primer año el tratamiento de agua costará \$0.07 por día, llegando a filtrar un total de 6 litros en promedio/día. El precio del repuesto del filtro (debe cambiarse cada año para aguas con contenido de metales pesados) es de catorce 00/100 (\$14.00) dólares (IVA incluido).

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 considerablemente el número de personas que sufren falta de agua; entre otras.

6. RECOMENDACIONES

Al utilizar los filtros artesanales de biocarbón/arcilla como un método para potabilizar agua para el consumo humano, realizar un lavado del bidón por lo menos una vez por semana con Hipoclorito de sodio diluido al 2.5% o 5% y enjuagarlo con abundante agua.

En los filtros de biocarbón/arcilla mantener siempre el nivel del agua en la unidad filtrante por encima de la mitad de la altura de la misma, para que exista una presión suficiente que fuerce el paso del agua por los poros de la arcilla.

Realizar análisis del agua antes y después de filtrar para conocer los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que cumplen con el Reglamento Técnico Salvadoreño para Agua Potable RTS 13.0.2.01.14.

Si el agua a tratar es de muy baja calidad, se pueden utilizar dos filtros, el primero para tratar el agua cruda y el segundo para el agua que ya ha sido filtrada, con el objetivo de remover la mayor cantidad de agentes contaminantes y que el agua obtenga los niveles aceptables de calidad.

Promover el uso de los filtros de biocarbón/arcilla en las diferentes comunidades donde se carece del suministro de agua potable, ya que son una alternativa para el tratamiento del agua para el consumo humano.

Capacitar a las usuarias de los filtros de biocarbón/arcilla en las comunidades para que hagan un uso eficiente y eficaz de los mismos, ya que son una alternativa para reducir contaminantes de tipo físico-químico y microbiológico.

7. 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. 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.

Aquamax (s.f.). Plata Coloidal Estable Laboratorios. Consultado el 7 de marzo 2020. Disponible en. <http://platacoloidalestable.com/page8php>.

Arango Ruiz, A. 2004. La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua. Revista Lasallista de Investigación, vol. 1. Antioquia, Colombia. Corporación Universitaria Lasallista. 66 p.

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

Barba, LE. 2002. Conceptos Básicos de la Contaminación del Agua y Parámetros de Medición. Santiago de Cali, Colombia. 51 p.

Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. 2016. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Nº 2. Colombia. 145-153 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.
- Carvajal Burbano, A. 2011. Desarrollo local: manual básico para agentes de desarrollo local y otros actores. Málaga, España. 235 p.
- Child, S. 2009. Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas. Global Wate Partnership, GWP. México D.F, México. 112 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.
- Degremont. 1979. Manual Técnico del agua. Bilbao. España
- Delgado, G. 2012. Estudio de filtros cerámicos para el diseño y desarrollo de sistemas domésticos de bajo costo. Aplicación al abatimiento de contaminantes químicos en la potabilización. México. PNUMA. 25 p.
- Educación Sin Fronteras. 2013. Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) (en línea). Consultado 28 de abril de 2020. Disponible en <http://www.objetivosdelmilenio.com/ObjetivosDelMilenio.asp#ODM7>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). 2007. Desarrollo territorial rural, análisis de experiencias en Brasil, Chile y México. Santiago, Chile. 290 p.
- Figuroa, R; González, A; Martín, D. 2011. Tecnologías de tratamiento y desinfección de agua para uso y consumo humano. Jiutepec, México. 64 p.
- González Herrera, A; Figuroa Brito, R. 2006. Evaluación de tecnologías alternativas tanto para el tratamiento y desinfección del agua de consumo como para el tratamiento de

excretas y aguas residuales en pequeñas localidades de la frontera Norte. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 115 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

LaMotte, 2012. Manual de uso de Turbidímetro LaMotte. Washington. Estados Unidos. 28 p.

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.

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2014. Diagnóstico de la situación actual del recurso hídrico (en línea). Consultado 03 de Junio de 2020. Disponible en <http://www.marn.gob.sv/marn-presenta-diagnostico-de-la-situacion-actual-del-recurso-hidrico/>

Marsh, H; Rodríguez Reinoso, F. 2006. Activated Carbon. Elsevier Science & Technology Books. San Vicente, España. University of Alicante. 542 p.

Mendoza Colina, J. 2012. Remoción de Plomo (ii) de soluciones mediante carbón activado. Bogotá, Colombia. Tesis M. Sc. Universidad de Magdalena. 52 p.

Molly Klarman, BA; College, C. 2009. Investigation of ceramic pot Filter Design Variables. Emory University, Estados Unidos. 89 p.

Moreno, GE. 2008. Manual de uso de SPSS. 1ª edición, Madrid.

- OMS (Organización Mundial de la Salud, Estados Unidos). 2013. Centro de prensa, Contaminación por arsénico (en línea). Consultado 20 de Julio de 2020. Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/index.html>
- 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.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud, Perú), CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Perú). 2005. Guía para el mejoramiento de la calidad del agua (en línea). Consultado 26 de mayo de 2020. Disponible en http://www.bvsde.opsoms.org/bvsacg/quialcalde/2sas/d25/067%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20mejoramiento%20de%20la%20calidad%20del%20agua%20a%20nivel%20casero/guia-mejor_agua_metodocasero.pdf
- OSARTEC (Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica, El Salvador). 2018. Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 Agua. Agua de consumo humano. Requisito de calidad e inocuidad. El Salvador. Diario Oficial No. 60, Tomo No. 419. 26 p.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Estados Unidos). 2006. Cuaderno sobre desarrollo humano: el agua una valoración económica de los recursos hídricos de El Salvador. San Salvador, El Salvador. 121 p.
- Rivera, B; Rock, C. 2014. La calidad del agua, *E. coli* y su salud. Arizona, Estados Unidos. University of Arizona. 55 p.
- Romeo Rojas, JA. 1999. Calidad del agua. México D.F. Alfa Omega, S.A. 154 -156 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.

Sierra, CA. 2011. Calidad del agua, evaluación y diagnóstico. Ed. LD López. Bogotá, Colombia. Digiprint. 457 p.

Vidal Henao, SM. 2010. Evaluación de la efectividad del filtro a base de arcilla y plata coloidal en la potabilización de agua, medida por pruebas fisicoquímicas y microbiológicas. Tesis Tecnóloga Química. Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira. 6 p.

8. ANEXOS

Cuadro A-1. Resultados fisicoquímicos de hierro en San Luis Talpa y Santiago Nonualco.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA



RESULTADO DE ANÁLISIS

Fecha de Emisión: Ciudad Universitaria, 02 de Marzo de 2020

Tipos de Muestras: Agua Pozo

Análisis solicitado: Hierro

Usuario: Carolina Rivera Lopez

Muestreo	Fecha	Estacion Experimental		Santiago Nonualco	
		Agua Cruda (mg/l de Fe)	Agua Filtrada (mg/l de Fe)	Agua Cruda (mg/l de Fe)	Agua Filtrada (mg/l de Fe)
1	14/09/2019	0.000	0.000	0.000	0.000
2	28/09/2019	0.157	0.000	0.066	0.000
3	13/10/2019	0.000	0.000	0.116	0.000
4	27/10/2019	0.090	0.000	0.307	0.000
5	10/11/2019	0.196	0.000	0.315	0.000
6	24/11/2019	0.102	0.000	0.258	0.000
7	08/12/2019	0.000	0.000	0.229	0.000
8	22/12/2019	0.233	0.165	0.832	0.000
9	06/01/2020	0.000	0.000	0.142	0.000
10	20/01/2020	0.000	0.000	0.550	0.000
11	03/02/2020	0.000	0.000	0.193	0.000
12	17/02/2020	0.000	0.000	0.172	0.000

Analista: Lic. Guillermo Jacob Pineda Magaña

"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"

Lic.M.Sc. Freddy Alexander Carranza Estrada
Jefe del Departamento de Química Agrícola



Cuadro A-2. Resultados fisicoquímicos de arsénico en San Luis Talpa y Santiago Nonualco.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA



RESULTADO DE ANÁLISIS

Fecha de Emisión: Ciudad Universitaria, 02 de Marzo de 2020

Tipos de Muestras: Agua Pozo

Análisis solicitado: Arsenico

Usuario: Carolina Rivera Lopez

Muestreo	Fecha	Estacion Experimental		Santiago Nonualco	
		Agua Cruda (mg/l de As)	Agua Filtrada (mg/l de As)	Agua Cruda (mg/l de As)	Agua Filtrada (mg/l de As)
1	14/09/2019	0.006	0.006	0.059	0.020
2	28/09/2019	0.008	0.008	0.059	0.036
3	13/10/2019	0.004	0.001	0.058	0.045
4	27/10/2019	0.007	0.003	0.051	0.048
5	10/11/2019	0.008	0.005	0.060	0.056
6	24/11/2019	0.008	0.007	0.060	0.054
7	08/12/2019	0.007	0.005	0.061	0.054
8	22/12/2019	0.006	0.005	0.059	0.056
9	06/01/2020	0.005	0.004	0.054	0.052
10	20/01/2020	0.005	0.004	0.059	0.055
11	03/02/2020	0.007	0.006	0.056	0.055
12	17/02/2020	0.006	0.006	0.058	0.057

Analista: Lic. Guillermo Jacob Pineda Magaña

"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"



Lic.M.Sc. Freddy Alexander Carranza Estrada
Jefe del Departamento de Química Agrícola

Cuadro A-3. Resultados microbiológicos de San Luis Talpa.



Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA
 Centro de Investigación y Desarrollo CIDE-GASCR

Registro

Informe de Resultados Microbiológicos de Agua para Consumo Humano

Cliente: ANDA –UES
 Fecha de Muestreo: 14/02/2019 – 17/07/2019
 Muestreador: Carolina Ivette Rivera López
 Punto de Muestreo: San Luis Talpa
 Fecha de emisión: 20/08/2019
 Página: 1 de 1

RESULTADOS EN NMP (NÚMERO MÁS PROBABLE)/100 ml.						
Fecha	Coliformes Totales		Escherichi Coli		Pseudomona Deruginosa	
	Estación Experimental Cruda	Estación Experimental Filtrada	Estación Experimental Cruda	Estación Experimental Filtrada	Estación Experimental Cruda	Estación Experimental Filtrada
14/02/2019	9.6	<1.0	<1.0	<1.0	14.6	<1.0
28/02/2019	107.6	42.8	<1.0	<1.0	34.5	<1.0
13/03/2019	1,732.9	172.0	<1.0	<1.0	7.4	<1.0
27/03/2019	158.5	12.1	5.2	<1.0	1.0	<1.0
10/04/2019	84.6	<1.0	<1.0	<1.0	5.2	<1.0
24/04/2019	2,419.6	328.2	<1.0	<1.0	13.4	<1.0
08/05/2019	2419.6	325.5	<1.0	<1.0	61.6	1.0
22/05/2019	61.3	<1.0	<1.0	<1.0	35.0	<1.0
05/06/2019	48.7	4.1	<1.0	<1.0	52.1	<1.0
19/06/2019	307.6	1.0	<1.0	<1.0	52.9	<1.0
03/07/2019	517.2	<1.0	<1.0	<1.0	86.2	<1.0
17/07/2019	2,419.6	<1.0	<1.0	<1.0	36.9	<1.0
Promedio	857.233	74.017	1.350	0.00	33.40	1.00

Analista:


 Nombre y Firma



Autoriza:


 Nombre y Firma

Cuadro A-4. Resultados microbiológicos de Santiago Nonualco.



Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA
 Centro de Investigación y Desarrollo CIDE-GASCR

Registro

Informe de Resultados Microbiológicos de Agua para Consumo Humano

Cliente: ANDA –UES
 Fecha de Muestreo: 14/02/2019 – 17/07/2019
 Muestreador: Carolina Ivette Rivera López
 Punto de Muestreo: Santiago Nonualco
 Fecha de emisión: 20/08/2019
 Página: 1 de 1

RESULTADOS EN NMP (NÚMERO MÁS PROBABLE)/100 ml.						
Fecha	Coliformes Totales		Escherichia Coli		Pseudomona aeruginosa	
	Santiago Nonualco Cruda	Santiago Nonualco Filtrada	Santiago Nonualco Cruda	Santiago Nonualco Filtrada	Santiago Nonualco Cruda	Santiago Nonualco Filtrada
14/02/2019	75.4	<1.0	<1.0	<1.0	1.0	<1.0
28/02/2019	13.4	8.4	<1.0	<1.0	8.6	<1.0
13/03/2019	<1.0	<1.0	<1.0	1.0	8.6	<1.0
27/03/2019	>2,419.6	2.0	<1.0	<1.0	307.6	<1.0
10/04/2019	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	4.1	<1.0
24/04/2019	3.0	<1.0	<1.0	<1.0	21.3	<1.0
08/05/2019	4.1	<1.0	<1.0	<1.0	3.0	<1.0
22/05/2019	648.8	<1.0	<1.0	<1.0	67.0	<1.0
05/06/2019	2.0	<1.0	<1.0	<1.0	3.1	<1.0
19/06/2019	<1.0	1.0	<1.0	<1.0	6.3	<1.0
03/07/2019	9.6	<1.0	<1.0	<1.0	12.0	<1.0
17/07/2019	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	6.3	<1.0
Promedio	264.992	1.700	1.00	0.000	37.48	1.00

Analista: 
 Nombre y Firma



Autoriza: 
 Nombre y Firma

Cuadro A-5. Resultados de hierro en el agua cruda y filtrada en San Luis Talpa.

Descriptivos					
	Fuente de agua		Estadístico	Desv. Error	
Promedios de hierro (mg/l)	Agua cruda	Media	0.064833	0.0254382	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0.008844	
			Límite superior	0.120822	
		Media recortada al 5%	0.059093		
		Mediana	0.000000		
		Varianza	0.008		
		Desv. Desviación	0.0881206		
		Mínimo	0.0000		
		Máximo	0.2330		
		Rango	0.2330		
		Rango intercuartil	0.1433		
		Asimetría	0.949	0.637	
		Curtosis	-0.652	1.232	
		Agua filtrada	Media	0.013750	0.0137500
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	-0.016514	
			Límite superior	0.044014	
	Media recortada al 5%		0.006111		
	Mediana		0.000000		
	Varianza		0.002		
	Desv. Desviación		0.0476314		
	Mínimo		0.0000		
	Máximo		0.1650		
	Rango		0.1650		
Rango intercuartil	0.0000				
Asimetría	3.464	0.637			
Curtosis	12.000	1.232			

Cuadro A-6. Resultados de arsénico en el agua cruda y filtrada en San Luis Talpa.

Descriptivos					
	Fuente de agua		Estadístico	Desv. Error	
Promedio de arsénico (mg/l)	Agua cruda	Media	0.006417	0.0003786	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0.005583	
			Límite superior	0.007250	
		Media recortada al 5%	0.006463		
		Mediana	0.006500		
		Varianza	0.000		
		Desv. Desviación	0.0013114		
		Mínimo	0.0040		
		Máximo	0.0080		
		Rango	0.0040		
		Rango intercuartil	0.0025		
		Asimetría	-0.363	0.637	
		Curtosis	-0.759	1.232	

	Agua filtrada	Media	0.005000	0.0005365	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0.003819	
			Límite superior	0.006181	
		Media recortada al 5%	0.005056		
		Mediana	0.005000		
		Varianza	0.000		
		Desv. Desviación	0.0018586		
		Mínimo	0.0010		
		Máximo	0.0080		
		Rango	0.0070		
		Rango intercuartil	0.0020		
		Asimetría	-0.612	0.637	
Curtosis	0.905	1.232			

Cuadro A-7. Resultados de turbidez en el agua cruda y filtrada en San Luis Talpa.

Descriptivos					
	Fuente de agua		Estadístico	Desv. Error	
Turbidez (NTU)	Agua cruda	Media	1.700000	0.4228332	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0.769350	
			Límite superior	2.630650	
		Media recortada al 5%	1.594444		
		Mediana	1.200000		
		Varianza	2.145		
		Desv. Desviación	1.4647370		
		Mínimo	0.3000		
		Máximo	5.0000		
		Rango	4.7000		
		Rango intercuartil	1.4500		
		Asimetría	1.449	0.637	
	Curtosis	1.518	1.232		
	Agua filtrada	Media	0.141667	0.0398070	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0.054052	
			Límite superior	0.229281	
		Media recortada al 5%	0.129630		
		Mediana	0.100000		
		Varianza	0.019		
		Desv. Desviación	0.1378954		
		Mínimo	0.0000		
		Máximo	0.5000		
Rango		0.5000			
Rango intercuartil	0.0750				
Asimetría	1.830	0.637			
Curtosis	3.791	1.232			

Cuadro A-8. Resultados de hierro en el agua cruda y filtrada en Santiago Nonualco.

Descriptivos					
	Fuente de agua		Estadístico	Desv. Error	
Promedios de hierro (mg/l)	Agua cruda	Media	0.265000	0.0656732	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0.120454	
			Límite superior	0.409546	
		Media recortada al 5%	0.248222		
		Mediana	0.211000		
		Varianza	0.052		
		Desv. Desviación	0.2274987		
		Mínimo	0.0000		
		Máximo	0.8320		
		Rango	0.8320		
		Rango intercuartil	0.1905		
		Asimetría	1.601	0.637	
		Curtosis	2.866	1.232	
		Agua filtrada	Media	0.000000	0.0000000
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	0.000000	
			Límite superior	0.000000	
	Media recortada al 5%		0.000000		
	Mediana		0.000000		
	Varianza		0.000		
	Desv. Desviación		0.0000000		
	Mínimo		0.0000		
	Máximo		0.0000		
	Rango		0.0000		
Rango intercuartil	0.0000				
Asimetría					
Curtosis					

Cuadro A-9. Resultados de arsénico en el agua cruda y filtrada en Santiago Nonualco.

Descriptivos					
	Fuente de agua		Estadístico	Desv. Error	
Promedios de Arsénico (mg/l)	Agua cruda	Media	0.057833	0.0008242	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0.056019	
			Límite superior	0.059647	
		Media recortada al 5%	0.058037		
		Mediana	0.059000		
		Varianza	0.000		
		Desv. Desviación	0.0028551		
		Mínimo	0.0510		
		Máximo	0.0610		
		Rango	0.0100		
		Rango intercuartil	0.0032		
		Asimetría	-1.515	0.637	
		Curtosis	2.037	1.232	
		Agua	Media	0.049000	0.0031623

	filtrada	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	0.042040		
				Límite superior	0.055960		
		Media recortada al 5%				0.050167	
		Mediana				0.054000	
		Varianza				0.000	
		Desv. Desviación				0.0109545	
		Mínimo				0.0200	
		Máximo				0.0570	
		Rango				0.0370	
		Rango intercuartil				0.0100	
		Asimetría				-2.053	0.637
		Curtosis				4.162	1.232

Cuadro A-10. Resultados de turbidez en el agua cruda y filtrada en Santiago Nonualco.

Descriptivos							
	Fuente de agua			Estadístico	Desv. Error		
Promedios de Turbidez (mg/l)	Agua cruda	Media		0.533333	00.0699928		
		95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	0.379280		
				Límite superior	0.687386		
		Media recortada al 5%			0.531481		
		Mediana			0.500000		
		Varianza			0.059		
		Desv. Desviación			2424621		
		Mínimo			0.1000		
		Máximo			1.0000		
		Rango			0.9000		
		Rango intercuartil			0.3000		
		Asimetría			0.221	0.637	
		Curtosis			0.217	1.232	
	Agua filtrada	Media		0.083333			
		95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	0.007507		
				Límite superior	0.159159		
		Media recortada al 5%			0.075926		
		Mediana			0.000000		
		Varianza			0.014		
		Desv. Desviación			0.1193416		
		Mínimo			.0000		
		Máximo			0.3000		
		Rango			0.3000		
Rango intercuartil			.1750				
Asimetría			1.148	0.637			
Curtosis			-.203	1.232			

Cuadro A-11. Resultados de Coliformes Totales en el agua cruda y filtrada en San Luis Talpa.

Descriptivos					
	Fuente de agua		Estadístico	Desv. Error	
Coliformes totales (NMP/100 ml)	Agua cruda	Media	857.233333	303.5189993	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	189.192520	
			Límite superior	1525.274147	
		Media recortada al 5%		817.525926	
		Mediana		233.050000	
		Varianza		1105485.395	
		Desv. Desviación		1051.4206557	
		Mínimo		9.6000	
		Máximo		2419.6000	
		Rango		2410.0000	
		Rango intercuartil		2180.8000	
		Asimetría		0.849	0.637
		Curtosis		-1.348	1.232
	Agua filtrada	Media	74.016667	36.8766573	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-7.148309	
			Límite superior	155.181642	
		Media recortada al 5%		63.979630	
		Mediana		2.550000	
		Varianza		16318.654	
		Desv. Desviación		127.7444881	
		Mínimo		0.5000	
		Máximo		328.2000	
Rango		327.7000			
Rango intercuartil		139.2000			
Asimetría		1.585	0.637		
Curtosis		0.985	1.232		

Cuadro A-12. Resultados de *Escherichia coli* en el agua cruda y filtrada en San Luis Talpa.

Descriptivos					
	Fuente de agua		Estadístico	Desv. Error	
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	Agua cruda	Media	1.350000	0.3500000	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0.579655	
			Límite superior	2.120345	
		Media recortada al 5%		1.155556	
		Mediana		1.000000	
		Varianza		1.470	
		Desv. Desviación		1.2124356	
		Mínimo		1.0000	

		Máximo	5.2000	
		Rango	4.2000	
		Rango intercuartil	.0000	
		Asimetría	3.464	0.637
		Curtosis	12.000	1.232
	Agua filtrada	Media	0.000000	0.0000000
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0.000000
			Límite superior	0.000000
		Media recortada al 5%	0.000000	
		Mediana	0.000000	
		Varianza	0.000	
		Desv. Desviación	0.0000000	
		Mínimo	0.0000	
		Máximo	0.0000	
		Rango	0.0000	
		Rango intercuartil	0.0000	
		Asimetría	.	.
		Curtosis	.	.

Cuadro A-13. Resultados de Pseudomona aeruginosa en el agua cruda y filtrada en San Luis Talpa.

Descriptivos					
	Fuente de agua		Estadístico	Dev. Error	
Pseudomona aeruginosa (NMP/100 ml)-ST	Agua cruda	Media	33.400000	7.5896061	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	16.695390	
			Límite superior	50.104610	
		Media recortada al 5%	32.266667		
		Mediana	34.750000		
		Varianza	691.225		
		Desv. Desviación	26.2911669		
		Mínimo	1.0000		
		Máximo	86.2000		
		Rango	85.2000		
		Rango intercuartil	43.8000		
		Asimetría	0.570	0.637	
		Curtosis	-.357	1.232	
		Agua filtrada	Media	1.000000	0.0000000
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	1.000000	
			Límite superior	1.000000	
	Media recortada al 5%		1.000000		
	Mediana		1.000000		
	Varianza		0.000		
	Desv. Desviación		0.0000000		

		Mínimo	1.0000	
		Máximo	1.0000	
		Rango	0.0000	
		Rango intercuartil	0.0000	
		Asimetría	.	.
		Curtosis	.	.

Cuadro A-14. Resultados de Coliformes totales en el agua cruda y filtrada en Santiago Nonualco.

Descriptivos					
	Fuente de agua		Estadístico	Desv. Error	
Coliformes totales (NMP/100 ml)	Agua cruda	Media	264.991667	202.9843495	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-181.773874	
			Límite superior	711.757208	
		Media recortada al 5%	159.957407		
		Mediana	3.550000		
		Varianza	494431.754		
		Desv. Desviación	703.1584128		
		Mínimo	1.0000		
		Máximo	2419.6000		
		Rango	2418.6000		
		Rango intercuartil	58.9000		
		Asimetría	3.104	0.637	
		Curtosis	9.900	1.232	
		Agua filtrada	Media	1.700000	0.6147185
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	.347014	
			Límite superior	3.052986	
	Media recortada al 5%		1.366667		
	Mediana		1.000000		
	Varianza		4.535		
	Desv. Desviación		2.1294472		
	Mínimo		1.0000		
	Máximo		8.4000		
	Rango		7.4000		
	Rango intercuartil	0.0000			
Asimetría	3.359	0.637			
Curtosis	11.428	1.232			

Cuadro A-15. Resultados de *Escherichia coli* en el agua cruda y filtrada en Santiago Nonualco.

Descriptivos				
	Fuente de agua		Estadístico	Desv. Error
Escherichia	Agua cruda	Media	1.000000	.0000000

coli (NMP/100 ml)		95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	1.000000		
				Límite superior	1.000000		
				Media recortada al 5%	1.000000		
				Mediana	1.000000		
				Varianza	.000		
				Desv. Desviación	.0000000		
				Mínimo	1.0000		
				Máximo	1.0000		
				Rango	.0000		
				Rango intercuartil	.0000		
				Asimetría	.	.	
				Curtosis	.	.	
	Agua filtrada		Media		0.000000	0.0000000	
			95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	.000000	
					Límite superior	.000000	
			Media recortada al 5%		.000000		
			Mediana		.000000		
			Varianza		.000		
			Desv. Desviación		.0000000		
			Mínimo		.0000		
			Máximo		.0000		
			Rango		.0000		
		Rango intercuartil		.0000			
		Asimetría		.	.		
		Curtosis		.	.		

Cuadro A-16. Resultados de *Pseudomona aeruginosa* en el agua cruda y filtrada en Santiago Nonualco.

Descriptivos							
	Fuente de agua		Estadístico	Desv. Error			
Pseudomona aeruginosa (NMP/100 ml)	Agua cruda	Media		37.408333	25.1021503		
		95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	-17.841127		
				Límite superior	92.657794		
				Media recortada al 5%	24.420370		
				Mediana	7.450000		
				Varianza	7561.415		
				Desv. Desviación	86.9563993		
				Mínimo	1.0000		
				Máximo	307.6000		
				Rango	306.6000		
				Rango intercuartil	15.6250		
				Asimetría	3.228	0.637	
				Curtosis	10.683	1.232	

	Agua filtrada	Media	1.000000	0.0000000	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1.000000	
			Límite superior	1.000000	
		Media recortada al 5%	1.000000		
		Mediana	1.000000		
		Varianza	.000		
		Desv. Desviación	.0000000		
		Mínimo	1.0000		
		Máximo	1.0000		
		Rango	.0000		
		Rango intercuartil	.0000		
		Asimetría	.	.	
		Curtosis	.	.	

Cuadro A-17. Promedio de hierro (mg/l) en las fuentes de agua cruda y filtrada.

Prueba de muestras emparejadas
Diferencias emparejadas

	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
				Inferior	Superior				
Par 1	Promedio de hierro (mg/l) en agua filtrada.	- .0510833	.0706328	.0203899	-0.0959613	-0.0062054	-2.505	11	.029
	Promedio de hierro (mg/l) en agua cruda.								

Fuente: Elaboración propia (2020).

Cuadro A-18. Promedio de Arsénico (mg/l) en las fuentes de agua cruda y filtrada.

Prueba de muestras emparejadas
Diferencias emparejadas

	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
				Inferior	Superior				
Par 1	Promedio de arsénico (mg/l) en agua filtrada.	- .0014167	.0013114	.0003786	-0.0022499	-0.0005835	-3.742	11	.003
	Promedio de arsénico (mg/l) en agua cruda.								

Fuente: Elaboración propia (2020).

Cuadro A-19. Promedio de turbidez (NTU) en las fuentes de agua cruda y filtrada.

Prueba de muestras emparejadas
Diferencias emparejadas

	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Par 1 Turbidez (NTU)- Agua filtrada - Turbidez (NTU)- Agua cruda	1.5583333	1.4368263	.4147760	2.4712492	.6454175	3.757	11	.003

Fuente: Elaboración propia (2020).

Cuadro A-20. Promedio de Coliformes Totales (NMP/100) en las fuentes de agua cruda y filtrada.

Prueba de muestras emparejadas
Diferencias emparejadas

	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Pa r 1 Coliformes Totales (NMP/100 ml)-Agua filtrada - Coliformes Totales (NMP/100 ml)-Agua cruda	783.2166667	957.5526616	276.4216435	1391.6166019	174.8167315	2.833	11	.016

Fuente: Elaboración propia (2020).

Cuadro A-21. Promedio de *Escherichia coli* (NMP/100) en las fuentes de agua cruda y filtrada.

Prueba de muestras emparejadas
Diferencias emparejadas

	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Par 1 <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)- Agua filtrada - <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)- Agua cruda	1.35000	1.21244	.35000	-2.12034	-.57966	-3.857	11	.003

Fuente: Elaboración propia (2020).

Cuadro A-22. Promedio de *Pseudomonas aeruginosa* (NMP/100) en las fuentes de agua cruda y filtrada.

Prueba de muestras emparejadas
Diferencias emparejadas

Par	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
				Inferior	Superior				
1	32.40000	-	26.29117	7.58961	-49.10461	-15.69539	-4.269	11	.001

Fuente: Elaboración propia (2020).

Cuadro A-23. Promedio de hierro (mg/l) en fuentes de agua cruda y filtrada en Santiago Nonualco.

Prueba de muestras emparejadas
Diferencias emparejadas

Par	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
				Inferior	Superior				
1	.2650000	-	.2274987	.0656732	-4.095457	-.1204543	-4.035	11	.002

Fuente: Elaboración propia (2020).

Cuadro A-24. Promedio de Arsénico (mg/l) en las fuentes de agua cruda y filtrada.

Prueba de muestras emparejadas
Diferencias emparejadas

Par	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
				Inferior	Superior				
1	.0088333	-	.0113765	.0032841	-0.0160616	-.0016051	-2.690	11	.021

Fuente: Elaboración propia (2020).

Cuadro A-25. Promedio de turbidez (NTU) en las fuentes de agua cruda y filtrada.

Prueba de muestras emparejadas
Diferencias emparejadas

Par		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Turbidez (NTU)- Agua filtrada ST - Turbidez (NTU)- Agua cruda ST	.4500000	.2938769	.0848350	-.6367205	-.2632795	-5.304	11	.000

Fuente: Elaboración propia (2020).

Cuadro A-26. Promedio de Coliformes Totales (NMP/100) en las fuentes de agua cruda y filtrada.

Prueba de muestras emparejadas
Diferencias emparejadas

Par		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Coliformes Totales (NMP/100 ml)-Agua filtrada ST - Coliformes Totales (NMP/100 ml)-Agua cruda ST	263.2916667	703.1237774	202.9743511	-710.0352012	183.4518679	-1.297	11	.221

Fuente: Elaboración propia (2020).

Cuadro A-27. Promedio de *Escherichia coli* (NMP/100) en las fuentes de agua cruda y filtrada.

Estadísticas de muestras emparejadas

Par		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
		Par 1	Escherichia coli (NMP/100 ml)-Agua filtrada ST	.000000 ^a	12
	Escherichia coli (NMP/100 ml)-Agua cruda ST	1.000000 ^a	12	.0000000	.0000000

a. La correlación y t no se pueden calcular porque el error estándar de la diferencia es 0.
Fuente: Elaboración propia (2020).

Cuadro A-28. Promedio de *Pseudomonas aeruginosa* (NMP/100) en las fuentes de agua cruda y filtrada.

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
Par					Inferior	Superior			
1	Pseudomonas aeruginosa (NMP/100ml) - Agua filtrada ST - Pseudomonas aeruginosa (NMP/100ml) - Agua cruda ST	36.4083333	86.9563993	25.1021503	91.6577936	18.8411269	1.450	11	.175

Fuente: Elaboración propia (2020).