

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL



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

Por:

Br. Verónica Sarahí Rodríguez Meza

Br. Juan Francisco Escobar Ponce

Ciudad Universitaria, septiembre de 2018

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



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

Por:

Br. Verónica Sarahí Rodríguez Meza

Br. Juan Francisco Escobar Ponce

Requisito para optar al título de:

Ingeniero Agrónomo

Ciudad Universitaria, septiembre de 2018

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Lic. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

Lic. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

Ing. M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO:

Ing. M. Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL:

Ing. y Lic. EDGAR MARROQUÍN MENA

DOCENTES DIRECTORES

Ing. M. Sc. EFRAÍN ANTONIO RODRÍGUEZ URRUTIA

Lic. M. Sc. FREDDY ALEXANDER CARRANZA ESTRADA

Licda. CLAUDIA MARÍA ARRIAZA ALFARO

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACION

Ing. RAFAEL ANTONIO ESPINO BARAHONA

RESUMEN

Se realizó una evaluación de la capacidad de retención de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos de los filtros de biocarbón/arcilla elaborados por la cooperativa Juventud Rural de R.L. dándoles uso durante un periodo de seis meses, introduciéndoles cuatro litros diarios a cada filtro con agua destinada para consumo humano, proveniente de los municipios de Ilobasco y San Salvador, de los departamentos de Cabañas y San Salvador, respectivamente. Se tomaron muestras de agua cruda y filtrada cada 15 días.

Las muestras colectadas fueron transportadas al Centro de Investigación y Desarrollo del Centro de Formación Integral de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (CFI-ANDA), donde se realizaron determinaciones microbiológicas analizando Coliformes Totales, *Escherichia Coli* (*E. coli*) y *Pseudomona aeruginosa* (*P. aeruginosa*), para lo cual se tomaron cuatro muestras de 100 ml de agua tratada, dos muestras por filtro, y dos muestras de 100 ml de agua cruda, obteniendo resultados en Número Más Probable de bacterias; en cuanto a parámetros fisicoquímicos se llevaron las muestras al Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador y se analizaron los siguientes parámetros: turbidez en unidades nefelométricas (NTU), a través del método nefelométrico, así mismo, se analizaron los metales pesados Hierro (Fe), Arsénico (As) y Plomo (Pb), utilizando el método de Absorción Atómica y el Manganeseo (Mn) por el método colorimétrico, los cuales expresaron los datos en mg/L, para estas determinaciones se tomaron dos muestras de 500 ml cada una de agua tratada, una por filtro y una muestra de 500 ml de agua cruda.

Los resultados obtenidos de los análisis fueron comparados con la Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable NSO 13.07.01:08, para verificar si los filtros tienen la capacidad necesaria de remoción de agentes contaminantes para brindar agua de calidad, apta para consumo humano; el promedio de remoción más alto de metales fue el de plomo, llegando hasta un 99.91%, en cuanto al parámetro físico de turbidez el porcentaje de remoción fue de 98.77%; el mejor resultado de remoción microbiológica se obtuvo para *E. coli*, llegando a un promedio final de 95.49%.

Palabras clave: Agua cruda, tratada, filtros, muestreo, parámetros físicos, químicos y microbiológicos, Coliformes Totales, *Escherichia coli*, *Pseudomona aeruginosa*.

ABSTRACT

An evaluation of the retention capacity of physicochemical and microbiological contaminants of the biochar / clay filters elaborated by the Cooperativa Juventud Rural de R.L. giving them use during a period of six months, introducing four liters per day to each filter with water destined for human consumption, coming from the municipalities of Ilobasco and San Salvador, from the departments of Cabañas and San Salvador, respectively. Samples of raw and filtered water were taken every 15 days.

The collected samples were transported to the laboratory of the Centro de Fomación Integral of the Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (CFI-ANDA), where microbiological determinations were made analyzing Total Coliforms, *Escherichia Coli* (*E. coli*) and *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*), for which four samples of 100 ml of treated water, two samples per filter, and two samples of 100 ml of raw water were taken, obtaining results in Probable Number of bacteria; In terms of physicochemical parameters, the samples were taken to the Laboratorio de Química Agrícola of the Facultad de Ciencias Agronómicas of the Universidad de El Salvador and the following parameters were analyzed: turbidity in nephelometric units (NTU), through the nephelometric method, likewise, the heavy metals Iron (Fe), Arsenic (As) and Lead (Pb) were analyzed, using the method of Atomic Absorption and Manganese (Mn) by the colorimetric method, which expressed the data in mg / L, for these determinations Two samples of 500 ml each of treated water were taken, one per filter and a 500 ml sample of raw water.

The results obtained from the analyzes were compared with the Mandatory Salvadoran Norm of Drinking Water NSO 13.07.01:08, to verify if the filters have the necessary capacity to remove pollutants to provide quality water, suitable for human consumption; the average of highest metal removal was lead, reaching up to 99.91%, in terms of the physical parameter of turbidity the percentage of removal was 98.77%; the best result of microbiological removal was obtained for *E. coli*, reaching a final average of 95.49%.

Key words: Raw water, treated, filters, sampling, physical, chemical and microbiological parameters, Total coliforms, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme realizar todo el proceso, por no desampararme en ningún momento y hacer de cada día una hermosa oportunidad de aprendizaje.

Agradecer encarecidamente a mis asesores: Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, Lic. Freddy Alexander Carranza Estrada y Licda. Claudia María Arriaza Alfaro, por ayudarme en este complicado proceso, comprometidos con la evolución y desarrollo total de la tesis, por brindarme aportes invaluable que servirán para toda mi vida, además de mostrarme un ejemplo de profesional formado con excelentes valores, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes.

A la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), por permitirnos el acceso al Centro de Investigación y Desarrollo, al personal del Centro de Formación Integral por compartir momentos amenos durante el desarrollo de la investigación.

Al personal del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas, por estar siempre dispuestos a ayudar en lo que fuera necesario.

Al departamento de Desarrollo Rural por su orientación y colaboración para el desarrollo del proyecto.

Al Banco de Desarrollo de El Salvador (BANDESAL) por el apoyo económico en esta investigación, en especial al Ing. Raúl Rivera Rivas, por su gestión.

Verónica Sarahí Rodríguez Meza

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso, por todas las bendiciones recibidas, llenarme de sabiduría y salud durante la carrera, permitiéndome crecer en el ámbito personal y profesional.

A mi familia por todo su amor y apoyo incondicional en esta etapa de mi vida y depositar la confianza en mí.

A los asesores del proyecto de tesis Ing. Agr. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, Lic. M.Sc. Freddy Alexander Carranza Estrada, Lic. Claudia María Arriaza, por su apoyo, tiempo y orientación en las diferentes áreas técnicas de la investigación y sugerencias realizadas durante el desarrollo de la misma.

A los Ingenieros y Licenciados de los diferentes laboratorios del Departamento de Química Agrícola y Centro de Investigación en ANDA por su colaboración en el desarrollo de la investigación y especialmente por su disponibilidad en todo momento.

A la Facultad de Ciencias Agronómicas, a la Universidad de El Salvador y a BANDESAL por el apoyo y el financiamiento del proyecto de investigación.

A mi amiga Verónica Sarahí Rodríguez, que siempre me apoyó, por su amistad y tiempo durante la realización de la investigación.

Juan Francisco Escobar Ponce

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo amor y cariño a mi madre Blanca Olinda Meza de Rodríguez, por su sacrificio y esfuerzo, por darme una carrera para nuestro futuro, por creer en mi capacidad, por sentar en mi las bases de responsabilidad, por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más, en ella tengo el espejo donde quiero reflejarme por sus virtudes infinitas y su gran corazón.

A mis sobrinos, Andrés Antonio Hernández Rodríguez y Daniel Antonio Granados Rodríguez, por ser la alegría de mis días y una gran bendición para mi vida.

Verónica Sarahí Rodríguez Meza

DEDICATORIA

A Dios Todo Poderoso, por brindarme salud y sabiduría durante el desarrollo de mis estudios y permitirme obtener este triunfo.

A mis padres, por apoyarme y darme ánimos en aquellos momentos difíciles, por haberme enseñado la importancia de estudiar y superarse en la vida.

A mis hermanos: por su ayuda incondicional, su cariño y apoyo en mis momentos de preocupación.

A mis amigos: por su apoyo y amistad incondicional, paciencia, comprensión y sacrificio realizado en el transcurso de la carrera.

A mis tíos: por ser unos segundos padres y acogerme en su casa durante el desarrollo de la carrera.

A mi novia: por todo su amor y cariño, por apoyarme cuando nadie más lo hizo y cuando más necesite de una mano amiga.

Juan Francisco Escobar Ponce

ÍNDICE

	Página
RESUMEN.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	vi
DEDICATORIA	viii
ÍNDICE	x
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	3
2.2 Desarrollo rural.....	4
2.3 Desarrollo local.....	5
2.4 Recursos naturales	5
2.5 Recurso hídrico	6
2.5.1 Usos del agua.....	6
2.5.2 Contaminación del agua	7
2.5.3 Contaminación natural del agua.....	7
2.5.4 Contaminación artificial del agua	7
2. 6 Metales pesados	8
2.6.1 Plomo	8
2.6.2 Manganeso.....	9
2.6.3 Hierro.....	10
2.6.4 Arsénico.....	10
2.7 Contaminación microbiológica.....	11
2.7.1 Coliformes Totales	11

2.7.2	<i>Escherichia coli</i>	12
2.7.3	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	12
2.8	Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08.	13
2.9	Frecuencia del examen físico-químico	14
2.10	Alternativas de tratamientos de potabilización	15
2.10.1	Tratamiento por Filtración	15
2.10.1.1.	Filtración de agua por vasijas cerámicas con plata coloidal	16
2.10.1.2.	Fundamento de la plata coloidal	16
2.10.1.3.	Fundamento del biocarbón o carbón activado	17
2.10.1.4.	Características de los filtros de biocarbón/arcilla	18
2.10.1.5.	Proceso de elaboración de los filtros	19
2.10.1.6.	Beneficio económico de los filtros.....	19
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
3.1	Ubicación del estudio.....	20
3.2	Metodología de campo	21
3.3	Metodología de laboratorio	24
3.3.1	Determinación de Coliformes Totales, <i>Escherichia coli</i> y <i>Pseudomona</i>	24
3.3.2	Determinación de parámetros fisicoquímicos.....	26
3.3.3	Determinación de Hierro, Manganeso, Arsénico y Plomo	27
3.3.4	Determinación de arsénico por generación de hidruros	27
3.3.5	Determinación de Plomo	28
3.3.6	Determinación de Hierro.....	28
3.3.7	Determinación de Manganeso por colorimetría.....	28
3.3.8	Porcentaje de remoción.....	29
3.4	Metodología estadística.....	29
3.4.1	Transformación de datos	31
3.4.2	Prueba de Contraste.....	31

3.4.3	Prueba Q-Q Plot.....	31
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1.	Resultados microbiológicos en Ilobasco	32
4.1.1.	Coliformes Totales.....	32
4.1.2.	<i>Escherichia coli</i>	34
4.1.3.	<i>Pseudomona aeruginosa</i>	36
4.2.	Resultados microbiológicos en San Salvador	37
4.2.1.	Coliformes Totales.....	37
4.2.2.	<i>Escherichia coli</i>	38
4.2.3.	<i>Pseudomona aeruginosa</i>	39
4.3.	Análisis estadístico de resultados microbiológicos de Ilobasco y San Salvador .	40
4.4.	Resultados de análisis químicos.....	42
4.5.	Resultados Químicos en Ilobasco.....	43
4.5.1.	Resultados de Manganeso	43
4.5.2.	Resultados de Hierro	45
4.6	Resultados Químicos en San Salvador	46
4.6.1.	Resultados de Arsénico.....	46
4.6.2.	Resultados de Plomo.....	48
4.7.	Análisis estadístico de los resultados químicos en Ilobasco y San Salvador.....	49
4.8.	Resultados de Turbidez para Ilobasco y San Salvador	50
5.	CONCLUSIONES	53
6.	RECOMENDACIONES	55
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	57
8.	ANEXOS.....	62

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Parámetros microbiológicos, físicos y sustancias químicas según la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08.....	14
Cuadro 2. Comparación de alternativas para tratar el agua cruda.	15
Cuadro 3. Concentración de plata coloidal necesaria para inhibir e inactivar bacterias....	17
Cuadro 4. Determinaciones por parámetro para cada muestreo.	30
Cuadro 5. Resultados de Coliformes Totales en Ilobasco.	33
Cuadro 6. Resultados de <i>Escherichia coli</i> en Ilobasco.	34
Cuadro 7. Resultados de <i>Pseudomona aeruginosa</i> en Ilobasco.	36
Cuadro 8. Resultados de Coliformes Totales en San Salvador.	38
Cuadro 9. Resultados de <i>Escherichia coli</i> en San Salvador.	39
Cuadro 10. Resultados de <i>Pseudomona aeruginosa</i> en San Salvador.	40
Cuadro 11. Comparaciones de medias en “t” de Student.	41
Cuadro 12. Prueba de contraste de Grubbs.	43
Cuadro 13. Resultados de Manganese.	44
Cuadro 14. Resultados de análisis de laboratorio de Hierro.	45
Cuadro 15. Resultados para Arsénico.	46
Cuadro 16. Resultados para Plomo.	48
Cuadro 17. Resultados de turbidez para Ilobasco y San Salvador.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Calidad de las aguas superficiales.....	11
Figura 2. Capa de biocarbón y plata coloidal, características de los filtros y su funcionamiento	19
Figura 3. Ubicación de fuentes de agua para evaluación de filtros de biocarbón/arcilla. ..	20
Figura 4. Lavado de filtros.....	21
Figura 5. Proceso de toma de muestra para análisis microbiológico.....	22
Figura 6. Identificación de la muestra.	22
Figura 7. Procedimiento para preparar agua con concentraciones conocidas de arsénico y plomo.....	23
Figura 8. Adición de sustrato a muestra.....	25
Figura 9. Sellado de charolas con muestra.	25
Figura 10. Incubación por 24 horas.....	26
Figura 11. Visualización y conteo de bacterias con luz ultravioleta.	26
Figura 12. Medición de turbidez.....	27
Figura 13. Remoción de Coliformes Totales en Ilobasco.	33
Figura 14. Comportamiento de <i>E. coli</i> en el pozo de Ilobasco.....	35
Figura 15. Remoción de <i>E. coli</i> en Ilobasco.....	35
Figura 16. Remoción de <i>P. aeruginosa</i> en Ilobasco.....	37
Figura 17. Comportamiento de <i>E. coli</i> en zona de San Salvador	39
Figura 18. Comportamiento del Manganeseo en Ilobasco.	45
Figura 19. Remoción de Hierro en Ilobasco.	46
Figura 20. Comportamiento del Arsénico en San Salvador.....	47
Figura 21. Remoción de arsénico en San Salvador	48
Figura 22. Remoción de Plomo en San Salvador.....	49
Figura 23. Turbidez en Ilobasco.....	51
Figura 24. Turbidez en San Salvador.....	52
Figura 25. Porcentajes de remoción de turbidez en Ilobasco y en San Salvador.	52

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Glosario	62
Anexo 2. Cobertura de sistemas de agua potable en El Salvador.....	63
Anexo 3. Cálculo de volumen requerido para estándares de Arsénico.	63
Anexo 4. Cálculo de volumen requerido para estándares de Plomo.	64
Anexo 5. Cálculo de volumen requerido para estándares de Hierro.....	65
Anexo 6. Cuadro Grubbs teórico.....	66
Anexo 7. Resultados microbiológicos de Ilobasco.	67
Anexo 8. Resultados microbiológicos de San Salvador.	68
Anexo 9. Remoción microbiológica en Ilobasco.....	69
Anexo 10. Remoción microbiológica en San Salvador.....	70
Anexo 11. Resultados de análisis fisicoquímicos de Ilobasco.....	71
Anexo 12. Resultados de análisis fisicoquímicos de San Salvador.....	75
Anexo 13. Resultados de turbidez.	79
Anexo 14. Transformación logarítmica para Ilobasco y San Salvador.....	80
Anexo 15. Prueba t de Student para datos microbiológicos.	81
Anexo 16. Prueba t de Student para datos de análisis químicos.....	86
Anexo 17. Prueba t de Student para resultados de turbidez.	89

1. INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

En El Salvador los filtros de biocarbón/arcilla son elaborados de forma artesanal y se desconocía de información científica que asegure que los filtros son efectivos en la remoción de contaminantes, motivo por el cual, se realizó este estudio, donde los filtros se evaluaron para conocer la capacidad que tienen en la retención de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos, evaluando su capacidad de filtrado durante seis meses de uso continuo, realizando análisis de laboratorio para determinar en qué medida mejoran la

calidad del agua de las fuentes en estudio, en cuestión de salubridad y en retención de metales pesados, proporcionando agua cristalina y de mejor calidad.

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

El propósito de esta investigación fue el de evaluar el funcionamiento de los filtros artesanales, a través de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, dándole un uso continuo durante seis meses para garantizar que los filtros mantengan su capacidad de remoción de agentes contaminantes y comparar los resultados con la Norma Salvadoreña Obligatoria para conocer si cumplen con los límites permisibles para agua potable.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas son 17, que están asociados a una agenda que 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, que se expresó de manera colectiva y quedó plasmada en la Agenda 2030, la cual invita a los representantes de los Gobiernos, la sociedad civil, el ámbito académico y el sector privado, a apropiarse de esta ambiciosa agenda, a debatirla y a utilizarla como una herramienta para la creación de sociedades inclusivas y justas, al servicio de las personas de hoy y de futuras generaciones (Educación Sin Fronteras 2013).

Según la ONU (2016), los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para todas las naciones, pueblos y para todos los sectores de la sociedad son 17:

- 1) Fin de la pobreza
- 2) Hambre cero
- 3) Salud y Bienestar
- 4) Educación de calidad
- 5) Igualdad de género
- 6) Agua limpia y saneamiento
- 7) Energía asequible y no contaminante
- 8) Trabajo decente y crecimiento económico
- 9) Industria innovación e infraestructura
- 10) Reducción de las desigualdades
- 11) Ciudades y comunidades sostenibles
- 12) Producción y consumo responsable
- 13) Acción por el clima
- 14) Vida submarina
- 15) Vida de ecosistemas terrestres
- 16) Paz, justicia e instituciones sólidas
- 17) Alianzas para lograr objetivos

Los ODS son una herramienta de planificación para los países hacia un desarrollo sostenible, inclusivo y en armonía con el medio ambiente, entre los cuales se encuentra el Objetivo 6 que tiene las siguientes metas:

- ✓ Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.
- ✓ Lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre.
- ✓ Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos.
- ✓ Aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce.
- ✓ Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza.
- ✓ Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos (ONU 2016).

El agua libre de impurezas y accesible para todos es parte esencial del mundo en que queremos 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, recrudece el hambre y la desnutrición, por lo tanto, el acceso al agua limpia es un indicador de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU 2016).

2.2 Desarrollo rural

La expresión 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).

El desarrollo rural impulsa desde el año 2000 múltiples acciones para mejorar las condiciones de vida de la población rural, la diversificación económica, la sostenibilidad

medio ambiental y la mejora de la competitividad de las explotaciones agrarias en el medio rural (FAO 2007).

El Salvador, durante los últimos años ha planteado como eje estratégico el desarrollo del sector de servicios logísticos, turismo, financieros, integraciones verticales en la industria y desarrollar la infraestructura pública. Todas estas actividades han ido acompañadas de acciones de apoyo a la agricultura tradicional y atención a las familias en extrema pobreza, mientras se logra el desarrollo de una agricultura más competitiva y la absorción de la mano de obra, contribuyendo así a un desarrollo en la zona rural (Barrenechea 2009).

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. 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

Los recursos naturales son aquellos que se obtienen directamente de la naturaleza, sin alteraciones por parte del ser humano. 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:

- ✓ 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.
- ✓ Renovables: son aquellos que con una gestión adecuada se regeneran a la misma velocidad o mayor de la que se consumen. Ejemplo: agua, vegetales, animales, sol, viento. Un recurso renovable pasa a ser no renovable si no le damos tiempo a

regenerarse, como sucede con el agua, que es considerada más como recurso no renovable (PNUD 2006).

2.5 Recurso hídrico

La sociedad humana necesita 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. 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).

2.5.1 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 3 tipos de uso consuntivo, el agrícola es el que representa el mayor porcentaje (65%) del agua consumida a nivel mundial (Child 2009).

El Salvador tiene una de las tasas de cobertura de agua potable más bajas en América Latina. Según datos de la Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples (EHPM) de 2004, solo el 58% de la población dispone de conexión domiciliar, muy por debajo del promedio regional de 75%. De acuerdo con un informe reciente del Banco Mundial, El Salvador se encuentra en el último puesto en términos de acceso a agua y en el penúltimo lugar en acceso a saneamiento. La tasa de cobertura rural de agua en El Salvador es aún más baja que las tasas correspondientes en Guatemala y Honduras (PNUD 2006).

Según ANDA (2016), hasta la fecha se ha logrado un 77% de cobertura en el abastecimiento de agua potable en la sociedad salvadoreña (anexo 2), sin embargo, aún queda mucho por mejorar si se intenta lograr una sociedad justa con acceso al agua de calidad.

2.5.2 Contaminación del agua

El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación, pero esta misma facilidad de regeneración y su aparente abundancia hace que sea el vertedero habitual de residuos: pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, otros (OPS y CEPIS 2005).

Cada país regula la calidad del agua destinada al consumo humano, la cual establece que no puede contener ningún tipo de microorganismo, parásito o sustancia, en una cantidad o concentración que pueda suponer un peligro para la salud humana. Normalmente el agua es captada de manantiales de aguas cristalinas, extraída del suelo mediante pozos profundos o extrayendo el agua de un acuífero de buena calidad. No obstante, el agua debe ser tratada para el consumo humano, y puede ser necesaria la eliminación de sustancias disueltas, sin disolver o de microorganismos perjudiciales para la salud (Barrenechea 2009).

2.5.3 Contaminación natural del agua

Durante la infiltración, el agua puede cargar muchas impurezas tales como partículas orgánicas e inorgánicas, detritus de plantas y animales, microorganismos, pesticidas, fertilizantes. Sin embargo, durante su recorrido por el subsuelo mejora significativamente su calidad: las partículas suspendidas y 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 (Araujo 2010).

2.5.4 Contaminación artificial del agua

Según Barba (2002), la contaminación artificial del agua es producida como consecuencia de las actividades humanas. El desarrollo industrial ha provocado la presencia de ciertos componentes que son peligrosos para el medio ambiente y para los organismos, difíciles de eliminar. Los principales contaminantes del agua son:

- ✓ Microorganismos patógenos. Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, otras.

- ✓ Desechos orgánicos. Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, otros. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno.
- ✓ Sustancias químicas inorgánicas. En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos, también isótopos radiactivos solubles que pueden estar presentes en el agua. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.

2. 6 Metales pesados

La presencia de metales en el agua se debe a la capacidad que tiene de disolver o dispersar la mayoría de sustancias con las que tiene contacto, sean estas sólidas, líquidas o gaseosas, y de formar con ellas iones, complejos solubles e insolubles, coloides o simplemente partículas dispersas de diferentes tamaños y pesos. Los seres vivos necesitan en pequeñas cantidades de algunos metales pesados como: cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, vanadio, estroncio y zinc. Los niveles excesivos de metales pesados esenciales son dañinos para el organismo (Acosta 2015).

Los metales pesados no esenciales de interés particular en los sistemas de agua superficial son: cadmio, cromo, mercurio, plomo, arsénico y antimonio. Las concentraciones elevadas de estas sustancias representan una amenaza para la salud de personas y animales (Drinan y Spellman 2000).

2.6.1 Plomo

El plomo es un metal que se encuentra en forma natural en la corteza terrestre, es un elemento metálico blando de color gris azulado o plateado. En la corteza terrestre el plomo se presenta en una concentración de 13 mg/kg y lo hace en forma de rocas ígneas y metamórficas, o en rocas sedimentarias, las cuales tienen concentraciones de 10 a 20 mg/kg (Mendoza 2012).

Los vehículos con motor a gasolina han sido durante años una de las principales fuentes de emisión de plomo a la atmósfera, al ser utilizados derivados alquílicos de plomo (tetraetil y tetrametil plomo) como aditivos antidetonantes de la gasolina. Las actuales normativas

medioambientales prohíben y limitan su utilización, disminuyendo bastante dichas emisiones con el uso generalizado de gasolinas sin plomo. Otras fuentes antropogénicas de plomo a destacar son las industrias químicas (pinturas, esmaltes, industrias mineras, procesos de fundición y recuperación de metales, incineración de residuos, combustión de carbón, fabricación de baterías, fabricación de óxido de plomo (Carranza 2015).

El plomo se puede incorporar al agua potable por lixiviación desde cierto tipo de instalaciones sanitarias: cañerías de plomo o de cobre con soldadura de plomo o grifería de bronce. La mayor parte del plomo en la atmósfera se encuentra en forma de partículas finas menores de 1.0 micrómetro de diámetro. Se considera muy peligroso para el medio ambiente debido a su elevada toxicidad y a que no sufre ni degradación química ni biológica, lo que provoca que permanezca en el medio durante largos períodos de tiempo (Troposfera 2005).

2.6.2 Manganeseo

Se encuentra como elemento libre en la naturaleza, a menudo en combinación con el hierro y en muchos minerales. Como elemento libre el manganeseo es un metal con aleación de metales industriales con importantes usos, sobre todo en los aceros inoxidables. En bajas concentraciones el manganeseo es un elemento esencial para las personas y las plantas, por eso tiene gran aplicación en la agricultura. El manganeseo es un metal de transición blanco grisáceo, parecido al hierro, es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre, sin embargo, en el agua se encuentra con menos frecuencia (Valencia 2006).

El manganeseo es utilizado en la producción de acero para aumentar su dureza, rigidez y solidez. Se usa en acero de carbono, acero inoxidable, acero de alta temperatura y acero para herramientas, como también hierro colado y súper aleaciones. El manganeseo también es usado para fabricar fuegos artificiales, baterías secas, abonos, pinturas, agente para visualizar imágenes médicas, cosméticos, la mayoría de los fertilizantes contienen manganeseo (Bonilla 2015).

El consumo habitual de aguas con concentraciones elevadas de manganeseo provoca trastornos encefálicos. En la exposición crónica al manganeseo por inhalación, los principales órganos afectados son los pulmones, el sistema nervioso y el sistema reproductor, aunque también se han observado efectos en otros sistemas de órganos. Los

efectos en el sistema nervioso incluyen síntomas neurológicos y neuropsiquiátricos, que pueden culminar en una enfermedad semejante a la de Parkinson, conocida como manganismo (Acosta 2015).

2.6.3 Hierro

El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, representando un 5% entre los metales, sólo el aluminio es más abundante. Se encuentra en hematites, magnetita y limonita, y en la composición de sustancias importantes en los seres vivos como las hemoglobinas (Valencia 2006).

El hierro es utilizado para la obtención de aceros estructurales, también se producen grandes cantidades de hierro fundido y de hierro forjado. Entre otros usos del hierro y de sus compuestos se tienen la fabricación de imanes, tintes (tintas, papel para heliográficas, pigmentos pulidores) y abrasivos (colcótar) (Bonilla 2015).

La ingestión de grandes cantidades de hierro provoca hemocromatosis, enfermedad caracterizada por lesiones reversibles de diversa gravedad en varios tejidos, mientras que la deficiencia de hierro puede provocar enfermedades como la anemia, lo que convierte al hierro en un elemento indispensable para la salud en cantidades apropiadas (Valencia 2006).

2.6.4 Arsénico

El Arsénico se presenta en forma natural en rocas sedimentarias y rocas volcánicas (forma el 0.00005% de la corteza terrestre) y también en aguas geotermales. En la naturaleza se presenta con mayor frecuencia en forma de sulfuro de arsénico (oropimente, As_2S_3) y arsenopirita ($FeAsS$), encontrándose éstos generalmente como impurezas en depósitos mineros (Carranza 2015).

La presencia de arsénico en las aguas subterráneas también se puede explicar como resultado de la utilización a veces excesiva y sin control de productos relacionados con actividades agrícolas, la jardinería y limpieza de malezas, como son los fungicidas, insecticidas y plaguicidas en general. Muchos de ellos tienen arsénico como compuesto tóxico, porque su utilización está indicada para erradicar plagas diversas (Miliarium 2008).

Los primeros síntomas de la exposición prolongada a altos niveles de arsénico inorgánico (por ejemplo, a través del consumo de agua y alimentos contaminados) se observan generalmente en la piel como pigmentación, lesiones cutáneas, dureza y callosidades en las palmas de las manos y en las plantas de los pies (hiperqueratosis). Además, la exposición prolongada al arsénico también puede causar cáncer de vejiga y de pulmón. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) ha clasificado el arsénico y los compuestos de arsénico como cancerígenos para los seres humanos; el arsénico presente en el agua de bebida también ha sido incluido en esa categoría por el CIIC (OMS 2013).

2.7 Contaminación microbiológica

Los microorganismos más importantes que se pueden encontrar en el agua y que ocasionan daños a la salud de las personas son: bacterias, virus, hongos, protozoos y distintos tipos de algas. En El Salvador se tiene una fuerte contaminación en las aguas superficiales (figura 1) ocasionadas por la presencia de Coliformes Fecales (Bonilla 2015).



Figura 1. Calidad de las aguas superficiales en El Salvador (ANDA 2016).

2.7.1 Coliformes Totales

Los Coliformes Totales incluyen una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gram negativos y no esporulados, capaces de proliferar en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares. Las bacterias pertenecientes al grupo de los Coliformes Totales (excluida *E. Coli*) están presentes tanto en aguas residuales como

en aguas naturales. Algunas de estas bacterias se excretan en las heces de las personas y animales, pero muchos coliformes son heterótrofos y capaces de multiplicarse en suelos y medios acuáticos. Los Coliformes Totales pueden también sobrevivir y proliferar en sistemas de distribución de agua, sobretodo en presencia de biopelículas (OMS 2006).

2.7.2 *Escherichia coli*

Las *Escherichia coli* (*E. coli*) son bacterias gram-negativas y son un tipo de bacterias Coliformes Fecales que se encuentran comúnmente en los intestinos de los animales y los seres humanos, son tan pequeños que no se pueden ver sin un microscopio, sin embargo, su crecimiento puede verse como colonias en medios de agar en condiciones especiales (Rivera y Rock 2013).

La presencia de *E. coli* en el agua es una fuerte indicación de una reciente contaminación de aguas residuales o contaminación de residuos de animales. Es importante tener en cuenta que *E. coli* y los residuos de animales/humanos pueden entrar en el agua de muchas maneras diferentes. Las fuentes de contaminación fecales de humanos y animales representan un grave riesgo para la salud debido a la existencia de agentes patógenos en los residuos fecales. Por lo tanto, la introducción de heces de animales o humanos en el agua es de mucha preocupación (Rivera y Rock 2013).

Estudios llevados a cabo han demostrado que las concentraciones de *E. coli* son el mejor indicador de enfermedades gastrointestinales (diarrea) asociadas a la natación. Además, de las enfermedades gastrointestinales (GI), infecciones de los ojos, irritaciones de la piel, oído, nariz, infecciones de garganta, y enfermedades de las vías respiratorias, son comunes en las personas que han estado en contacto con agua contaminada con heces fecales. Algunos estudios han señalado que las tasas de algunos efectos adversos a la salud son más altos en los nadadores, en comparación con los no nadadores (Ahmad et al. 2010).

2.7.3 *Pseudomonas aeruginosa*

Pseudomonas aeruginosa pertenece a la familia *Pseudomonadaceae* y es una especie de bacilo recto o ligeramente curvado, que miden de 0,5 a 0,8 μm x 1,5 a 3 μm , gram negativos, perteneciente a la rama γ de las proteobacterias. Algunas especies sintetizan una cápsula de exopolisacárido que facilita la adhesión celular, la formación de biofilm o biopelículas

que los protege de la fagocitosis de los anticuerpos o del complemento, propiedad que le confiere un aumento en su patogenicidad (Delgado y Morales 2015).

La presencia de *P. aeruginosa* en agua para consumo o en alimentos no es una causa de alarma si se encuentra en cantidad normal. El riesgo estriba en la presencia en cantidades que excedan el límite permitido y entre los objetos susceptibles de contaminación y las personas que están predispuestas para la infección (Delgado y Morales 2015).

Pseudomonas aeruginosa puede causar diversos tipos de infecciones, pero rara vez causa enfermedades graves en personas sanas sin algún factor predisponente. Coloniza predominantemente partes dañadas del organismo como quemaduras y heridas quirúrgicas, el aparato respiratorio de personas con enfermedades subyacentes o las lesiones físicas en los ojos. Desde estos lugares puede invadir el organismo y causar lesiones destructivas o septicemia y meningitis (Ahmad et al. 2010).

2.8 Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08.

Esta Norma aplica en el territorio nacional y considera todos los servicios públicos, municipales y privados, sea cual fuere el sistema o red de distribución, en lo relativo a la prevención y control de la contaminación de las aguas, cualquiera que sea su estado físico. El agua para consumo humano no debe ser un vehículo de transmisión de enfermedades, por lo que es importante establecer parámetros y sus límites máximos permisibles para garantizar que sea sanitariamente segura (CONACYT 2009).

Cuando en una muestra se presentan organismos coliformes totales fuera de la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08., según el cuadro 1, se deben aplicar medidas correctivas, tomar inmediatamente muestras diarias del mismo punto de muestreo y se les debe examinar hasta que los resultados que se obtengan, cuando menos en dos muestras consecutivas, demuestren que el agua es de una calidad que reúne los requisitos exigidos (CONACYT 2009).

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

Parámetros microbiológicos	Límite máximo permisible	
	Técnicas	
	Filtración por membranas	Tubos múltiples
Bacterias coliformes totales	0 UFC/100 ml	Menos de 1.1 NMP/100 ml
Bacterias coliformes fecales o termotolerantes	0 UFC/100 ml	Menos de 1.1 NMP/100 ml
<i>Escherichia coli</i>	0 UFC/100 ml	Menos de 1.1 NMP/100 ml
Parámetros físicos	Unidad	Límite máximo permisible
pH	-	8.5 ¹⁾
Turbidez	UNT	5 ²⁾
Temperatura	°C	No rechazable
Parámetros de sustancias químicas	Límite máximo permisible (mg/l)	
Hierro total	0.30	
Manganeso	0.1	
Arsénico	0.01	
Plomo	0.01	

Fuente: CONACYT (2009).

1) Límite Mínimo Permisible 6.0 Unidades.

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

Cuando los valores de hierro y manganeso superen el límite máximo permisible de 0.3 y 0.1, respectivamente, en la Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable NSO 13.07.01:08 y no sobrepasen los valores máximos sanitariamente aceptables de 2,0 mg/l para el hierro y de 0,5 mg/l para el manganeso, se permitirá el uso de quelantes para evitar los problemas estéticos de color, turbidez y sabor que se generan (CONACYT 2009).

2.9 Frecuencia del examen físico-químico

El muestreo y el examen frecuentes 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 muestra 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. 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 puede 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).

2.10 Alternativas de tratamientos de potabilización

La desinfección del agua potable es esencial si vamos a 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 coste, eficacia, estabilidad, facilidad de aplicación y la formación de subproductos (Figuroa et al. 2011).

Cuadro 2. Comparación de alternativas para tratar el agua cruda.

Alternativa	Ventajas	Desventajas
Agua hervida	100% potabilidad (si esta hervida por 7 minutos); la tecnología es conocida y aceptada por la población; se puede hervir agua todo el año.	Toma tiempo para hervir y requiere largo tiempo de enfriamiento; requiere ollas para cocinar; cambia el sabor del agua; requiere recipiente para almacenar el agua.
Clorar el agua	Efectivo en la eliminación de bacterias; sencillo de preparar; de bajo costo; producido localmente; se puede clorar todo el año.	Cambia el sabor del agua; requiere disciplina para su aplicación; recipiente apropiado con tapa y llave para almacenar agua; comprar el cloro y no quita turbidez.
Filtros de arena	Económico; producido localmente; quita turbiedad; puede ser manejado por la familia; puede utilizarse con cloro y otros.	Requiere disciplina para su mantenimiento; no se consigue la arena fina en todas partes; no mata bacterias; se requiere recipiente para almacenamiento y llave de agua; requiere cloro.
Pasteurización solar	Elimina bacterias; no contamina; económico; comprobada efectividad; no utiliza combustible (leña o gas); de uso fácil.	Requiere por lo menos 4 horas en sol para purificar el agua, tiempo para enfriar; cambia de sabor el agua;

Fuente: Delgado (2012).

2.10.1 Tratamiento por Filtración

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).

Según Arango (2004), los sistemas de filtración se pueden clasificar 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 m/h, mientras que la filtración rápida se da a velocidades entre 5 y 20 m/h.

2.10.1.1. Filtración de agua por vasijas cerámicas con plata coloidal

Se refiere a un tratamiento en un lecho filtrante de arcilla mezclado con aserrín y bañado en solución de plata coloidal, combinando el concepto de desinfección y filtración. Se caracteriza por ser de muy bajo costo, que puede ser fabricado por ceramistas locales en condiciones que no requieren electricidad ni tecnologías de alto nivel. Este tipo de filtros proporcionan agua cristalina eliminando la turbidez, así como bacterias imposibilitadas de cruzar por sus microporos (González y Figueroa 2006).

2.10.1.2. Fundamento de la plata coloidal

La plata se ata a la membrana celular de las bacterias. Las células sensitivas entonces aumentan su tamaño y contenido citoplasmático, y las membranas celulares y estructuras celulares externas presentan anomalías. Estas anomalías 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). En el cuadro 3 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.

Bacteria	Concentración necesaria para inhibición (µg/mL)	Concentración necesaria para Inactivación (µg/mL)
<i>E. coli</i>	0.50	2.02
<i>E. 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>Streptococuss alivarius</i>	1.03	8.25

Fuente: Sierra (2011).

2.10.1.3. 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 activado es un término general que se aplica a toda una serie de productos derivados de materiales carbonosos, es un material amorfo que presenta un área superficial excepcionalmente alta, medida por adsorción de Nitrógeno, y se caracteriza por tener una proporción de microporos (poros menores que 2 nanómetros). Estas características le confieren propiedades adsorbentes excepcionales que pueden ser aprovechadas en diferentes áreas (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).

La eliminación de los iones de metales pesados tóxicos de aguas para consumo humano ha recibido una mayor atención en los últimos años a nivel mundial, conciencia del detrimento que sufre el medio ambiente. Los carbones activados desempeñan un destacado papel para la eliminación de agentes contaminantes. Curiosamente, este proceso de adsorción también puede ofertar para eliminar de forma eficaz complejos de metales que no se eliminan por los métodos convencionales de tratamiento. La capacidad de adsorción del carbón activo depende de factores como: superficie y tamaño de poro (Mendoza 2012).

2.10.1.4. Características de los filtros de biocarbón/arcilla

Un filtro de biocarbón es un filtro artesanal fabricado de arcilla (figura 1), está hecho de una mezcla de 50% de barro rojo y 50% de aserrín, u otro material orgánico similar como cascarilla de arroz o cascarilla de café según la producción local. A esta mezcla se añade agua y se coloca dentro de un molde que es prensado por un gato hidráulico, cuando está seco, el elemento filtrante se quema en un horno para cerámica a 890° Centígrados, formando así una membrana de micro-poros que impide el paso de bacterias. Como otra etapa garante del proceso de potabilización, el elemento filtrante se impregna de una solución de plata coloidal una única vez (Vidal 2010).

La plata coloidal actúa 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).



Figura 2. Capa de biocarbon y plata coloidal, características de los filtros y su funcionamiento. (ANDA 2016)

2.10.1.5. Proceso de elaboración de los filtros

En El Salvador existen pequeños empresarios que se encuentran fabricando biofiltros para uso doméstico, los cuales se cree que son eficientes en la remoción de Arsénico, algunos insecticidas y Plomo. El proceso de fabricación se describe a continuación:

- 1- Uso de granza de cascarilla de arroz seca.
- 2- Pulverización de cascarilla de arroz.
- 3- Mezclado de cascarilla de arroz con arcilla.
- 4- Moldeado.
- 5- Horneado a 850° C.
- 6- Adición de plata coloidal

2.10.1.6. Beneficio económico 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 + contenedor plástico) es de \$28.25 dólares, es decir, el primer año el tratamiento de agua costará \$0.07 dólares por día, llegando a filtrar un total de 8 litros en promedio para una familia de 4 integrantes. El precio del repuesto del filtro (debe cambiarse cada año para aguas con contenido de metales pesados) es de \$14.00 dólares (ANDA 2016).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del estudio

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

El método de investigación fue de tipo experimental, para el cual se utilizaron dos fuentes de agua para evaluar los filtros (figura 3), una proveniente de un pozo del caserío Guadalupe, cantón San José, municipio de Ilobasco, departamento de Cabañas, la cual fue seleccionada por presentar contaminación en estudio previo, y la otra fuente fue agua potable del municipio de San Salvador, proveniente de grifo, a la cual se le adicionó concentraciones conocidas de plomo y arsénico a nivel de laboratorio. En los dos casos se le dio un uso continuo a los filtros de biocarbón/arcilla, ya que todos los días, durante seis meses se vertía agua a los filtros, recolectando muestras de agua cada 15 días con el propósito de ser analizadas en el laboratorio para comprobar si mantienen las características de filtrado y verificar si cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable NSO 13.07.01:08.

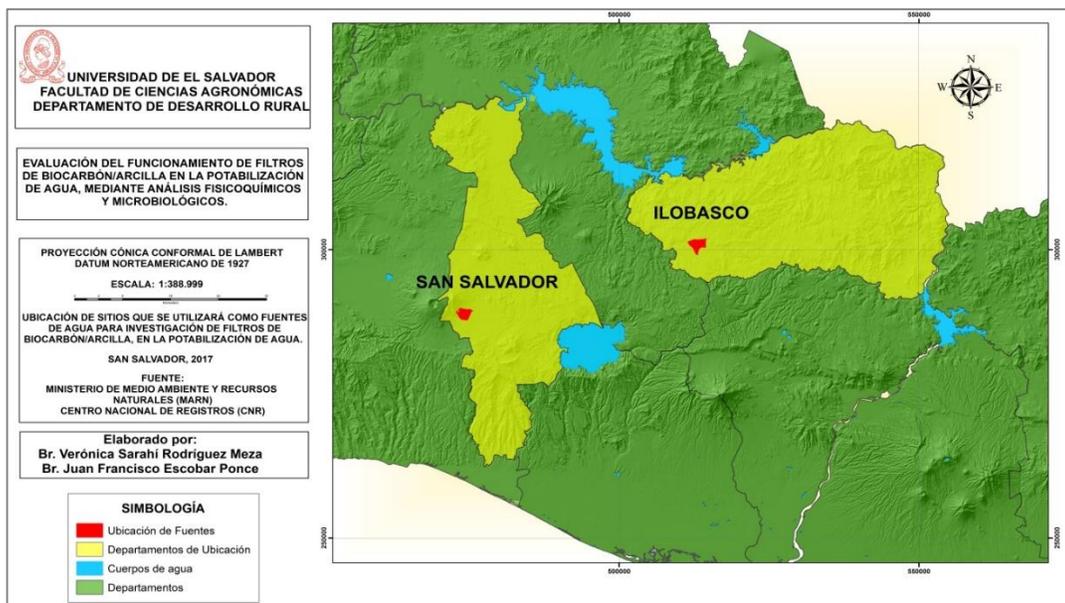


Figura 3. Ubicación de fuentes de agua para evaluación de filtros de biocarbón/arcilla.

3.2 Metodología de campo

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

Inicialmente se procedió a preparar los filtros, para esto se realizó un lavado con agua de grifo, luego se enjuagaron las unidades filtrantes con agua hervida, los bidones se lavaron con 5 ml de lejía (Hipoclorito de Sodio) (figura 4), para evitar posibles contaminantes que se hayan contraído durante el transporte de los filtros, posteriormente fueron utilizados continuamente para evaluar su funcionamiento.



Figura 4. Lavado de filtros.

Las muestras de agua filtrada y de agua cruda fueron tomadas una vez cada 15 días para análisis microbiológicos y fisicoquímicos, para lo cual se utilizó papel toalla con alcohol para limpiar el grifo y se realizó un flameo del área de muestreo para evitar la entrada de agentes contaminantes a la muestra, usando también guantes y mascarilla para prevenir cualquier contaminación por manejo del muestreador (figura 5).

Las muestras que se utilizaron para análisis microbiológicos se colocaron en frascos de polietileno de 100 ml, estériles, herméticos, con tiosulfato para inhibir la acción del cloro en las muestras y luego fueron transportadas en hieleras con bloques refrigerantes (cadena de frío) y entregados al laboratorio antes de 6 horas, desde que se tomaron las muestras.

Para el muestreo de parámetros físico-químicos se utilizaron frascos de polietileno de 250 ml y el método de preservación antes mencionado (cadena de frío). Al momento de la toma de la muestra se midió la temperatura del agua (Carranza 2015).



Figura 5. Proceso de toma de muestra para análisis microbiológico.

Las muestras fueron identificadas con una etiqueta, que tenía la siguiente información: nombre del muestreador, fecha y hora del muestreo, punto de muestreo, tipo de muestra, temperatura del agua y parámetros a determinar para realizar el análisis (figura 6).



Figura 6. Identificación de la muestra.

3.2.1. Investigación en Ilobasco

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

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

3.2.2. Investigación en San Salvador

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

Se prepararon diariamente 8 litros de agua, introduciendo 4 litros de agua por cada una de las dos unidades filtrantes (figura 7).



Figura 7. Procedimiento para preparar agua con concentraciones conocidas de arsénico y plomo.

Los parámetros analizados para la zona de San Salvador en el agua filtrada (tratada) y en el agua cruda fueron: Plomo, Arsénico, Turbidez, Coliformes Totales, *Escherichia coli* y *Pseudomona aeruginosa*.

3.3 Metodología de laboratorio

Las muestras de agua cruda y agua filtrada fueron analizadas en el laboratorio obteniendo los resultados en unidades de Número Más Probable (NMP) para el análisis microbiológico de Coliformes Totales, *Escherichia coli* y *Pseudomona aeruginosa*; y para las determinaciones fisicoquímicas se evaluaron las concentraciones de los siguientes elementos: hierro (Fe), manganeso (Mn), plomo (Pb), arsénico (As), para lo que se utilizó el método de espectrofotometría de absorción atómica; para la turbidez se utilizó el método nefelométrico.

Para realizar los análisis microbiológicos las muestras fueron llevadas al laboratorio del Centro de Investigación y Desarrollo (CIDE), el cual está ubicado dentro de las instalaciones del Centro de Formación Integral de ANDA, donde se llevaron a cabo las pruebas con el método enzimático. Para los análisis de parámetros físico-químicos y metales pesados (Hierro, Manganeso, Arsénico y Plomo), las muestras se trasladaron al laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

3.3.1 Determinación de Coliformes Totales, *Escherichia coli* y *Pseudomona*.

Para determinar Coliformes Totales y *Escherichia coli* en las muestras de agua cruda y agua filtrada se realizó el siguiente procedimiento: las muestras se recibieron en el laboratorio y se les adicionó el sustrato (cromogénico Ortonitrofenil β -D galactopiranosida y fluorogénico 4-Metilumbelliferyl- β -D-Glucoronide), se mezcló para que se disolviera por completo, luego se colocó la muestra dentro de la charola Quanti-Tray, posterior a esto se sellaron las charolas con calor y se identificaron las muestras con la fecha, hora y número de muestra (ID), luego se introdujeron a la incubadora a una temperatura de 35° C, al finalizar 24 horas se realizó la lectura, determinando primero la presencia y ausencia de Coliformes Totales, observando el viraje de color de la muestra a amarillo y luego cuantificando el Número Más Probables de las mismas. Con ayuda de luz ultravioleta (UV) se verificó la presencia o ausencia de *E. coli*, observando el viraje de color a azul con fluorescencia, para su posterior cuantificado de Número Más Probable (Aurazo 2004).

Para analizar *Pseudomona aeruginosa* se siguió el siguiente procedimiento: al recibir la muestra en el laboratorio se le agregó el sustrato (cromogénico Ortonitrofenil β -D galactopiranosida y fluorogénico 4-Metilumbelliferyl- β -D-Glucoronide) (figura 8), y la muestra se volvió amarilla, luego se tapó el frasco y se agitó hasta disolver por completo el reactivo, a continuación se abrió y se añadieron dos gotas de solución antiespumante.

Se vertió la muestra en una charola Quanti-Tray y posteriormente se selló con calor (figura 9), identificándola con la hora, fecha y número de muestra (ID), para luego incubarla a una temperatura de 38° C por 24 horas (figura 10), luego se verificó con ayuda de luz ultravioleta (UV) si la muestra contenía *P. aeruginosa* y se cuantificaron según el método en unidades de Número Más Probable, observando el número de pocillos grandes y pequeños con fluorescencia azul (figura 11).



Figura 8. Adición de sustrato a muestra.



Figura 9. Sellado de charolas con muestra.



Figura 10. Incubación por 24 horas



Figura 11. 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:

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

Donde la concentración inicial fue dada por el Número Más Probable de las muestras sin filtrar, extraída directamente de la fuente de agua de Ilobasco y de San Salvador; la concentración final fue la encontrada en las muestras del agua filtrada (tratada) de Ilobasco y San Salvador (Aurazo 2004).

3.3.2 Determinación de parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos que se analizaron en el laboratorio fueron: turbidez, Hierro, Manganeso, Arsénico y Plomo. Para los análisis de turbidez se recibió la muestra y se colocó en un vial previamente enjuagado con agua destilada, luego se introdujo en el turbidímetro (figura 12), obteniendo resultados en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) (LaMotte 2012).



Figura 12. Medición de turbidez.

3.3.3 Determinación de Hierro, Manganeso, Arsénico y Plomo

Para cada determinación de estos elementos 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.

3.3.4 Determinación de arsénico por generación de hidruros

Se tomaron 10 ml de la muestra tratada, para la curva de calibración se prepararon 4 estándares (0.5, 1, 2 y 5 ppb de arsénico) para esto se tomó la cantidad necesaria de la solución madre (100 ppb As) (anexo 3) y se transfirió a varios frascos volumétricos de 50 ml. Se adicionó 1 ml de ácido clorhídrico (1:1) y 2 ml de solución de yoduro de potasio (200 g/l). Luego se calentó sin llegar a ebullición. Se llevó a un volumen de 50 ml con agua destilada después de haberse enfriado. Se utilizó esta solución para su medición.

El generador de vapores de hidruro (HGV-1) fue conectado al espectrofotómetro de absorción atómica para la medición de la muestra con las siguientes especificaciones:

longitud de onda de la medición de 193.7 nm, rango de concentraciones de la curva de calibración entre 0.5 a 5 ng/mL, condiciones de medición de valor de la corriente de la lámpara a 14 mA, ancho de la rendija de 0.5 nm y modo de corrección BGC-D₂. Luego de esto se realizó la lectura en mg/L (Shimadzu s.f.).

3.3.5 Determinación de Plomo

Se colocaron 10 ml de cada muestra tratada en frascos volumétricos de 50 ml, además se prepararon 4 soluciones estándares (2, 5, 10 y 20 ppb de Pb) (anexo 4), de manera que la concentración estuviera en el rango de 2 a 20 ppb. Después se adicionó ácido clorhídrico (1:1) a cada una de las soluciones para que tuvieran la misma concentración de ácido. A cada muestra preparada en el paso anterior se le agregaron iguales volúmenes de la solución de nitrato de paladio II (10 µg Pd/ml), se mezcló y se realizó la medición.

Se utilizó una longitud de onda de 283.3 nm, con un rango de concentración de la curva de calibración de 2 a 20 ppb en tubo de grafito de alta densidad, a un volumen de inyección de la muestra de 20 µl. Luego se realizó la lectura de mg/l de plomo (Araujo 2010).

3.3.6 Determinación de Hierro

Para la lectura de Hierro la muestra tratada se utilizó directamente y se prepararon 4 soluciones estándares (0.3, 1.0, 3.0 y 6.0 ppm de Fe) (anexo 5), de manera que la concentración estuviera en el rango de 0.3 a 6.0 ppm, además, se adicionó 5 ml de ácido clorhídrico a cada estándar y se llevó al volumen con agua destilada, homogeneizándolo.

La longitud de onda fue de 248,3 nm y el rango de concentración de la curva de calibración fue de 0,3 a 6 µg/ml. Luego se realizó la lectura en mg/L de Hierro (Carranza 2015).

3.3.7 Determinación de Manganeso por colorimetría

Se homogeneizo la muestra y posteriormente se filtró con papel filtro Whatman 42, con el objeto de eliminar los sólidos suspendidos que pudieran interferir con el análisis, se pipetearon 5 ml de muestra en un tubo de ensayo, luego se añadieron 4 gotas de reactivo Mn-1 y se mezcló, después se agregaron 2 gotas de reactivo Mn-2, se mezcló y se dejó en reposo 2 minutos (tiempo de reacción A), posteriormente se añadieron 2 gotas de reactivo Mn-3 y se agito, dejándolo en reposo 2 minutos (tiempo de reacción B).

Se transfirió la muestra previamente preparada a una cubeta rectangular, dependiendo del rango de concentración en el que se encontraba, de la siguiente manera:

- Cubeta de 50 mm: si el intervalo de concentración es de 0.01 – 2.00 mg/l de Mn.
- Cubeta de 20 mm: si el intervalo de concentración es de 0.25 – 5.00 mg/l de Mn.
- Cubeta de 10 mm: si el intervalo de concentración es de 0.50 – 10.00 mg/l de Mn.

Luego se limpió la cubeta con papel toalla y se introdujo en el fotómetro. El resultado está expresado en mg/l de manganeso (Carranza 2015).

3.3.8 Porcentaje de remoción

Para calcular los porcentajes de remoción de los elementos se utilizó la siguiente fórmula:

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

Donde la concentración inicial fue dada por la concentración real de las muestras de agua preparadas con plomo y arsénico, para San Salvador. Para Ilobasco fue dada por la muestra extraída directamente del pozo de agua; la concentración final de manganeso, hierro, plomo y arsénico fue la encontrada en las muestras de agua filtrada.

3.4 Metodología estadística

Se realizó una evaluación de los resultados obtenidos del agua cruda y de las muestras de agua filtrada de las dos fuentes, para lo cual se utilizó la prueba “t” de Student, para comparar las medias y las desviaciones estándar de grupos de datos y determinar si las diferencias entre esos parámetros son estadísticamente significativas o si sólo son diferencias aleatorias, se utilizó un nivel de confianza del 95% (Balzarini et al 2008).

Para cada zona se utilizaron dos filtros, haciendo un total de 4 unidades. Para las determinaciones fisicoquímicas (turbidez, manganeso, hierro, arsénico y plomo) se realizaron 2 repeticiones de muestra, es decir, que por muestreo se realizaban 4 determinaciones por cada parámetro para el agua filtrada (tratada) y dos para el agua cruda. Para los parámetros microbiológicos (Coliformes Totales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*) se analizaba una muestra de cada filtro, es decir, que se obtuvieron 2

determinaciones de cada parámetro para agua filtrada (tratada) y una para agua cruda por cada fecha de muestreo, como se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro 4. Determinaciones por parámetro para cada muestreo.

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

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

El programa se basó en el cálculo de la "t" de Student según la siguiente fórmula:

$$T = \frac{\bar{d}}{S_d / \sqrt{n}} \sim T_{(n-1)}$$

Dónde:

n= es el número de pares

di= diferencia entre las observaciones registradas en la i-ésima unidad muestral.

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}}$$

Para realizar la prueba en InfoStat se requirió de un archivo con dos columnas: una para las observaciones provenientes de la distribución 1 y otra para la distribución 2; los resultados en el cuadro resumen deben ser menor a 0.0001 para tener significancia (Balzarini et al 2008).

3.4.1 Transformación de datos

Los datos microbiológicos obtenidos tenían una distribución asimétrica, por lo cual fue necesario transformarlos con logaritmo base diez, para normalizarlos y analizarlos estadísticamente.

3.4.2 Prueba de Contraste

Para asegurar que los datos obtenidos a través del análisis por absorción atómica y colorimétrico, fueran adecuados para un análisis estadístico, se realizó la prueba de Contraste GRUBBS recomendada por la ISO (Organización Internacional para la Estandarización) (Miller 2002).

La prueba Grubbs se basa en la siguiente fórmula:

$$\text{GRUBBS: } \frac{|\text{Valor sospechoso} - \text{Promedio}|}{\text{Desviación estándar}}$$

Este dato obtenido de la operación es comparado con un valor de tablas (anexo 6), el cual debe ser mayor o igual al calculado para asegurar que el dato es normal.

3.4.3 Prueba Q-Q Plot

Se realizó una prueba de distribución de datos para corroborar que los resultados obtenidos tuvieran una distribución normal, la prueba consistió en elaborar gráficas que generaran una línea con un ángulo de 45° (Balzarini et al 2008).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados microbiológicos en Ilobasco

4.1.1. Coliformes Totales

Los Coliformes Totales fueron detectados porque poseen la enzima β -galactosidasa, la cual reacciona con el sustrato Ortonitrofenil β -D galactopiranosida (ONPG), formando un complejo, produciendo un viraje de incoloro a amarillo, lo que permitió cuantificar en Número Más Probable/100 ml a las bacterias (cuadro 5). Los resultados ideales deben ser menor a 1.1 NMP/100 ml, según la Norma Salvadoreña para Agua Potable NSO 13.07.01:08 (CONACYT 2009).

En el pozo de Ilobasco (anexo 7), todos los análisis del agua cruda (ILO cruda) y del agua filtrada (ILO 01 e ILO 02) resultaron con valores de Coliformes Totales por arriba de la Norma; sin embargo, en los filtros de biocarbón/arcilla se obtuvieron porcentajes de remoción de Coliformes Totales muy variables que van desde 0 a 98.51% (cuadro 5 y figura 12), lo cual podría deberse a las características fluctuantes de la fuente de agua y al manejo, es decir, que la remoción de bacterias se ve afectada por factores externos, alcanzando un valor promedio de remoción de 54.9% (anexo 9), lo que significa, que los filtros disminuyen dichas bacterias en forma irregular, dependiendo de la calidad de agua que se filtre, además, del manejo de los mismos.

Lerma (2007) también se interesó en la capacidad de potabilización de los filtros cerámicos durante investigaciones de campo, los objetivos de su estudio fueron la evaluación de la efectividad microbiológica de los filtros fabricados localmente contra agentes patógenos y virales bajo condiciones de campo y laboratorio. En esta investigación se pudo establecer que en todos los casos los filtros reducen más del 50% de Coliformes Totales.

Cuadro 5. Resultados de Coliformes Totales en Ilobasco.

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

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

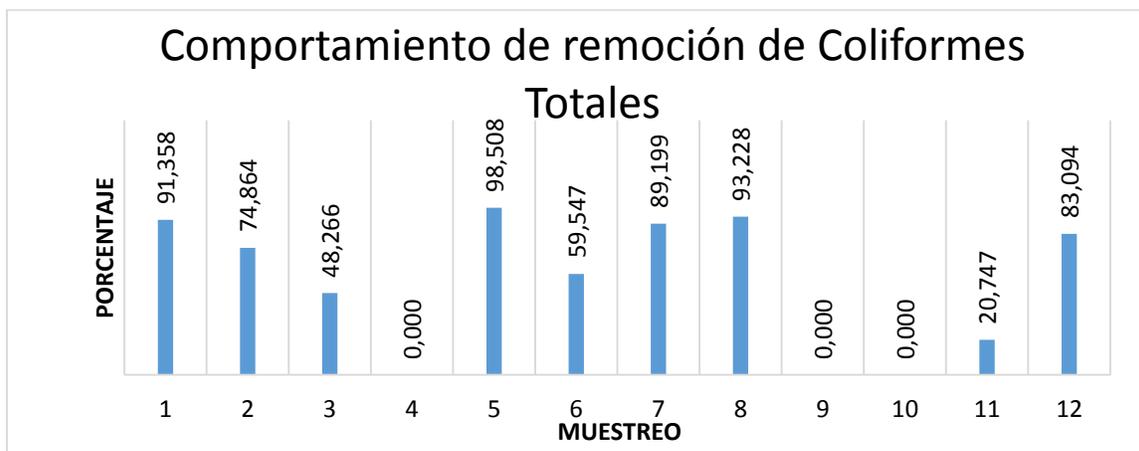


Figura 13. Remoción de Coliformes Totales en Ilobasco.

4.1.2. *Escherichia coli*

En la determinación de *Escherichia coli* se forma un complejo a través de la reacción de β -glucuronidasa con el sustrato 4-Metilumbelliferyl- β -D-Glucoronide (MUG), indicando un resultado positivo con la fluorescencia observada con luz ultravioleta (365-nm).

En el pozo de Ilobasco, todos los análisis del agua cruda (ILO cruda) resultaron con valores de *Escherichia coli* por arriba de la Norma. En el caso del agua filtrada (ILO 01 e ILO 02), la mayoría de los análisis resultaron con valores de *Escherichia coli* por arriba de la Norma, a excepción de los análisis realizados en los muestreos 4, 6, 8 y 12, los cuales cumplieron con la Norma Salvadoreña para Agua Potable NSO 13.07.01:08, ya que los valores de *Escherichia coli* resultaron por debajo de la Norma, para ambos filtros, con un porcentaje de remoción de hasta el 99.96%.

Cuadro 6. Resultados de *Escherichia coli* en Ilobasco.

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

Los filtros de biocarbón/arcilla tuvieron un porcentaje de remoción promedio de la bacteria *E. coli* de 95.49%, es decir, que menos de un 5% de bacterias son capaces de sobrevivir al tratamiento del agua (figura 14).

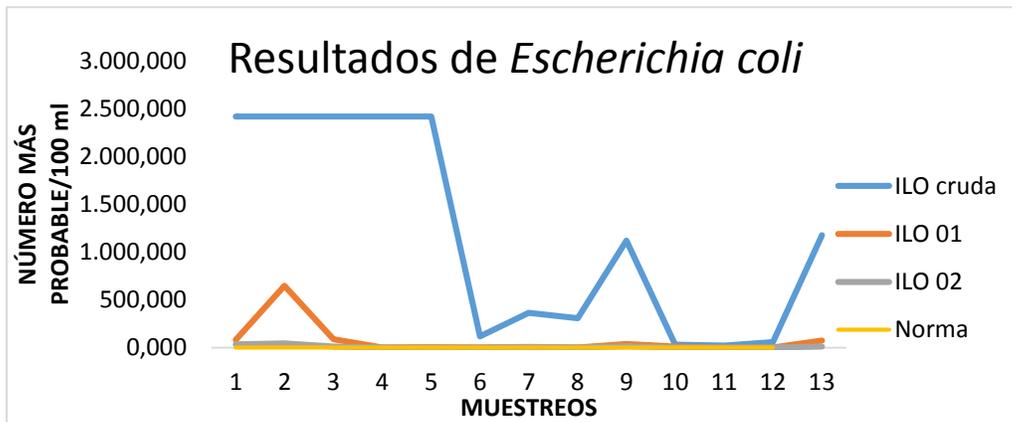


Figura 14. Comportamiento de *E. coli* en el pozo de Ilobasco.

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

Según los resultados de laboratorio que demuestran que los filtros de biocarbón/arcilla tuvieron un porcentaje de remoción promedio de la bacteria *E. coli* de 95.49% (figura 15) en esta investigación, los filtros artesanales de biocarbón/arcilla son una alternativa viable para el tratamiento de agua destinada al consumo humano.

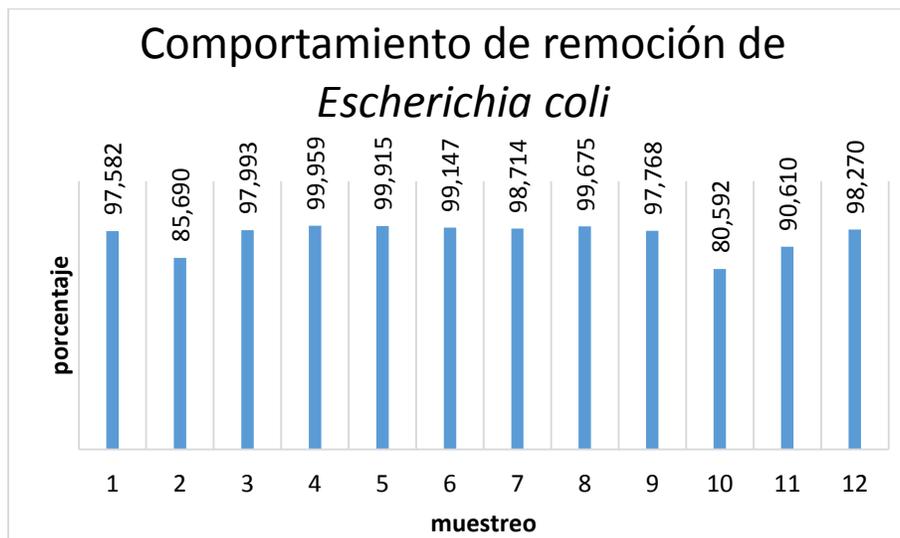


Figura 15. Remoción de *E. coli* en Ilobasco.

4.1.3. *Pseudomona aeruginosa*

En el análisis de *Pseudomona aeruginosa* se utilizó el mismo fundamento de hidrolizar la enzima con el sustrato, para generar azul fluorescente en luz ultravioleta (365 nm), para que los resultados sean confiables en la determinación.

En el pozo de Ilobasco, todos los análisis del agua cruda (ILO cruda) resultaron con valores de *Pseudomona aeruginosa* por arriba de la Norma Salvadoreña obligatoria para Agua Envasada NSO 13.07.02:08, lo que indica que el agua no es apta para consumo humano (MINSAL 2009).

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

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

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

Los filtros de biocarbón/arcilla tuvieron un porcentaje de remoción promedio de la bacteria *Pseudomona aeruginosa* de 85.58%, el cual se vio afectado por un resultado del muestreo

10 (figura 16), debido a una reducción drástica en el nivel de remoción microbiana del agua cruda; sin embargo, este promedio se considera un resultado positivo, debido a que la carga microbiana fue alta en el agua cruda y la disminución de agentes contaminantes sobrepasa los dos tercios de la población microbiana inicial.

Según los resultados de laboratorio obtenidos en esta investigación se muestra que los filtros de biocarbón/arcilla tuvieron un porcentaje de remoción promedio de la bacteria *Pseudomona aeruginosa* de 85.58%, es decir que los filtros artesanales de biocarbón/arcilla son una alternativa viable para el tratamiento de agua destinada al consumo humano.

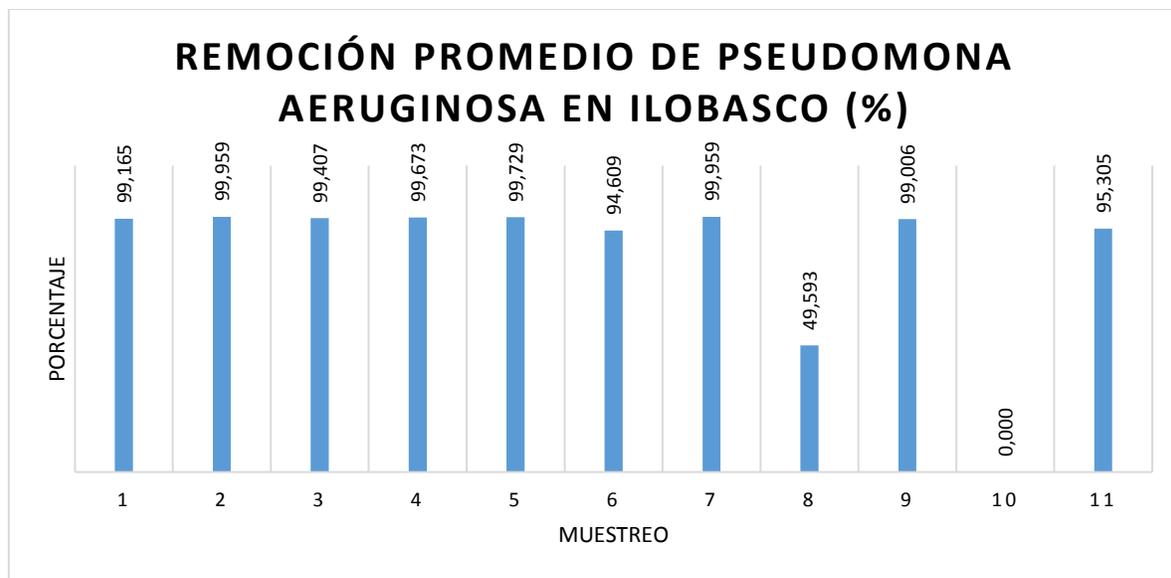


Figura 16. Remoción de *P. aeruginosa* en Ilobasco.

4.2. Resultados microbiológicos en San Salvador

4.2.1. Coliformes Totales

El agua potable proveniente de grifo en San Salvador, la cual fue preparada con plomo y arsénico en el laboratorio, tenía bajas poblaciones de Coliformes Totales antes de filtrar (anexo 7), siendo la mayor de 16 NMP/100 ml (cuadro 8); sin embargo, en el agua filtrada (UES 01 y UES 02) se determinó altas poblaciones de Coliformes Totales en los muestreos 1, 5 y 8, probablemente por acumulación de bacterias de tratamientos anteriores, siendo el quinto muestreo el que mayor porcentaje obtuvo, lo que indica que el filtro es susceptible a crecimiento microbiano, al ser contaminado por manipulación.

Cuadro 8. Resultados de Coliformes Totales en San Salvador.

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

Para los filtros de biocarbón/arcilla utilizados en San Salvador se obtuvieron porcentajes de remoción de hasta 5.125%, esto debido a que el contenido de Coliformes Totales en el agua potable es casi nula.

4.2.2. *Escherichia coli*

Todos los resultados de los análisis de agua cumplen con la Norma Salvadoreña para Agua Potable NSO 13.07.01:08, para *Escherichia coli* (cuadro 9), a excepción del filtro de biocarbón/arcilla UES 01 que en el primer muestreo reportó un dato de 2 NMP/100 ml (figura 17), lo que indica que el agua potable posee una excelente calidad para el consumo humano.

Cuadro 9. Resultados de *Escherichia coli* en San Salvador.

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

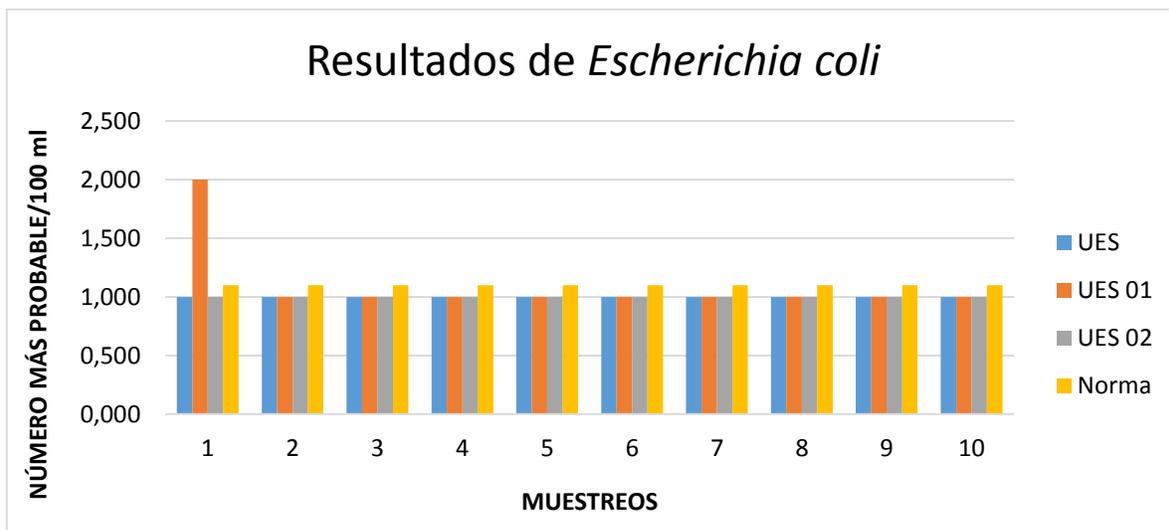


Figura 17. Comportamiento de *E. coli* en zona de San Salvador

4.2.3. *Pseudomona aeruginosa*

Todos los resultados de los análisis de agua cumplen con la Norma Salvadoreña obligatoria para Agua Envasada NSO 13.07.02:08, para *Pseudomona aeruginosa* (cuadro 10), lo que indica que el agua potable posee una excelente calidad para el consumo humano.

Cuadro 10. Resultados de *Pseudomona aeruginosa* en San Salvador.

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

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

4.3. Análisis estadístico de resultados microbiológicos de Ilobasco y San Salvador

Los resultados fueron transformados logarítmicamente para estandarizarlos (anexo 14), debido a que los datos originales presentan una desviación muy alta. Se utilizó la prueba de Q-Q Plot para comprobar si la distribución es normal y así poder aplicar la “t” de Student, tomando en cuenta que en el estudio existen valores constantes que no cumplen con la prueba, como el agua cruda de Ilobasco, debido a que su nivel siempre estuvo arriba de 2,419.6 NMP/100 ml, lo que genera un gráfico Q-Q Plot con una línea paralela al eje “x” y no una curvilínea con ángulo de 45° como debería, así mismo, los valores de la Norma son constantes. Luego de haber realizado las pruebas de distribución, se hicieron las siguientes comparaciones:

Cuadro 11. Comparaciones de medias en “t” de Student.

Agua cruda de Ilobasco	Versus	Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08
Agua filtrada de Ilobasco	Versus	Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08
Agua cruda de Ilobasco	Versus	Agua Filtrada Ilobasco
Agua preparada de San Salvador	Versus	Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08
Agua filtrada de San Salvador	Versus	Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08
Agua preparada de San Salvador	Versus	Agua filtrada de San Salvador

En el agua cruda de Ilobasco no se pudo comparar Coliformes Totales con la Norma, por ser ambos valores constantes, los cuales tienen una diferencia de 2,418.5 NMP/100 ml; pero sí se realizaron comparaciones para *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*, obteniendo significancia en ambos casos (anexo 14), lo que significa que los datos están alejados de los límites permisibles de la Norma, por lo que fueron ideales para demostrar el efecto de los filtros de biocarbón/arcilla en el tratamiento del agua en la investigación.

Para el agua preparada de San Salvador solo se pudo realizar la prueba para comparar Coliformes Totales con la Norma, obteniendo un valor de 0.0630 mayor de 0.0001, es decir, que no tienen diferencias significativas las medias comparadas, por lo tanto, los valores de agua preparada eran adecuados para el uso en la investigación, debido a que estos no debían ser muy lejanos a la Norma al ser agua de la red de distribución; para *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* no se realizó comparación debido a que no existían diferencias en los datos obtenidos de los muestreos, por lo tanto, la desviación es cero, y no es aplicable la “t” de Student, cabe destacar que los valores promedio entre la Norma y el agua preparada para estos dos análisis fueron iguales o menores al límite permisible, lo que indica que el agua cumplía con las características deseadas para la investigación.

Al comparar el agua filtrada de Ilobasco con el agua cruda, los resultados no dieron significancia a las medias de Coliformes Totales y *Pseudomonas aeruginosa* (antes y después del tratamiento), aunque para el caso de *Pseudomonas aeruginosa* los valores calculados estuvieron muy cerca del valor condicionante para ser aceptados (<0.0001), siendo estos de 0.0007 y 0.0001; para *Escherichia coli* si se obtuvo significancia en ambos filtros, es decir, que se obtuvieron valores menores de 0.0001, por lo tanto, el tratamiento

de filtrado del agua genera un cambio importante en la concentración de dicha bacteria en el agua.

En la comparación del agua preparada de San Salvador con el agua filtrada (tratada), no se obtuvo significancia en ninguno de los filtros, respecto a Coliformes Totales, es decir, que los niveles de bacterias de este grupo, tanto antes como después del tratamiento, no presentan diferencia estadística significativa entre sus medias, y para *Escherichia coli* y *Pseudomona aeruginosa* se obtuvieron iguales promedios de NMP, antes y después, por esto no se pudo aplicar la prueba en ambos casos.

El agua filtrada de Ilobasco fue comparada con la Norma, obteniendo significancia en Coliformes Totales, es decir, que existe una diferencia estadística entre ambas medias; para *Escherichia coli* y *Pseudomona aeruginosa* no se encontró diferencia significativa, lo que indica que los resultados del agua estuvieron muy cercanos al límite permisible en la Norma (1,1 NMP/100 ml).

Para la zona de San Salvador no fue posible aplicar la prueba, al encontrarse con desviaciones muy cercanas a cero, siendo importante destacar que los promedios cumplían con lo establecido en la Norma.

4.4. Resultados de análisis químicos

Se utilizó la prueba de Contraste de Grubbs, con el objetivo de encontrar si algún dato de los resultados obtenidos para los 4 filtros (anexo 11 y 12) analizados era anómalo, es decir, que no pueda utilizarse porque afectaría a la distribución normal y aumentaría la desviación estándar del estudio. Los Grubbs calculados fueron menores al de Tabla (cuadro 12), es decir, que todos los datos son aceptables para un análisis estadístico de mayor veracidad.

Cuadro 12. Prueba de contraste de Grubbs.

Manganeso	Hierro	Arsénico	Plomo	Manganeso	Hierro	Arsénico	Plomo
Grubbs Tabla				Grubbs Tabla			
1.481	1.481	1.481	1.481	1.481	1.481	1.481	1.481
11/05/2017				30/08/2017			
0.914	1.203	1.203	1.203	1.203	0.849	0.079	0.856
0.782	0.443	0.443	0.443	0.443	0.849	1.252	0.856
0.606	0.823	0.823	0.823	0.823	1.092	1.186	0.665
1.089	0.823	0.823	0.823	0.823	0.606	0.145	1.046
12/06/2017				13/09/2017			
0.792	1.240	1.240	1.240	1.240	0.132	0.068	0.000
0.937	0.338	0.338	0.338	0.338	0.663	1.353	0.000
0.865	1.015	1.015	1.015	1.015	0.658	0.432	0.000
0.865	0.564	0.564	0.564	0.564	1.453	0.989	0.000
04/07/2017				27/09/2017			
0.526	0.849	0.849	0.849	0.849	0.789	0.809	0.000
1.086	0.849	0.849	0.849	0.849	0.929	0.901	0.000
1.156	0.606	0.606	0.606	0.606	0.719	1.044	0.000
0.455	1.091	1.091	1.091	1.091	0.999	0.666	0.000
13/07/2017				11/10/2017			
0.500	0.558	0.558	0.558	0.558	0.864	0.802	0.000
1.500	1.117	1.117	1.117	1.117	0.868	1.455	0.000
0.500	0.698	0.698	0.698	0.698	0.854	0.212	0.000
0.500	0.977	0.977	0.977	0.977	0.878	0.440	0.000
26/07/2017				25/10/2017			
0.741	0.397	0.397	0.397	0.397	0.849	0.802	0.000
0.833	1.230	1.230	1.230	1.230	0.882	1.226	0.000
0.278	0.871	0.871	0.871	0.871	0.850	0.830	0.000
1.296	0.756	0.756	0.756	0.756	0.882	0.407	0.000
15/08/2017				08/11/2017			
1.476	1.157	1.157	1.157	1.157	0.871	0.656	1.300
0.711	0.496	0.496	0.496	0.496	0.861	1.355	0.273
0.273	0.673	0.673	0.673	0.673	0.844	0.844	0.786
0.492	0.980	0.980	0.980	0.980	0.888	0.145	0.786

Fuente: Elaboración propia (2017).

4.5. Resultados Químicos en Ilobasco

4.5.1. Resultados de Manganeso

El análisis de manganeso se realizó por colorimetría, a través de un fotómetro que generó los siguientes datos:

Cuadro 13. Resultados de Manganeso.

Datos promedio de Manganeso					
Muestreo	Fecha	Norma (mg/l)	Agua cruda (mg/l)	Agua filtrada (mg/l)	Remoción (%)
1	11/5/2017	0.1	8.110	0.312	96.153
2	12/6/2017	0.1	8.121	1.100	86.455
3	4/7/2017	0.1	2.530	0.638	74.783
4	11/7/2017	0.1	4.720	0.988	79.068
5	26/7/2017	0.1	4.435	1.310	70.462
6	15/8/2017	0.1	4.590	1.335	70.915
7	30/8/2017	0.1	1.515	1.558	0
8	13/9/2017	0.1	0.815	0.663	18.650
9	27/9/2017	0.1	0.870	0.723	16.897
10	11/10/2017	0.1	1.915	0.870	54.569
11	25/10/2017	0.1	2.256	0.696	69.149
12	8/11/2017	0.1	0.498	0.323	35.141
Promedio		0.1	3.365	0.876	55.784
Desviación estándar		0	2.663	0.394	31.409

En el pozo de Ilobasco, todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de Manganeso por arriba de la Norma. En el caso del agua filtrada, todos los análisis resultaron con valores de Manganeso por arriba de la Norma, pero menores que el agua cruda, obteniendo un porcentaje de remoción de hasta el 96.15%, por lo que este tipo de tratamiento con filtros de biocarbón/arcilla es recomendable para la disminución de dicho elemento.

Los filtros obtuvieron un promedio de remoción de 55.78%, lo que puede deberse al alto contenido inicial de manganeso en el agua del pozo, lo cual ocasiono que los filtros removieran una gran cantidad del elemento, llegando a su capacidad límite de remoción, a pesar de ello, disminuyeron los niveles de manganeso en los siguientes muestreos para el agua filtrada, exceptuando el muestreo 7 donde el contenido en el agua filtrada es parecido al del agua cruda, lo que podría haber sido por acumulación de residuos de filtrados anteriores (figura 18).

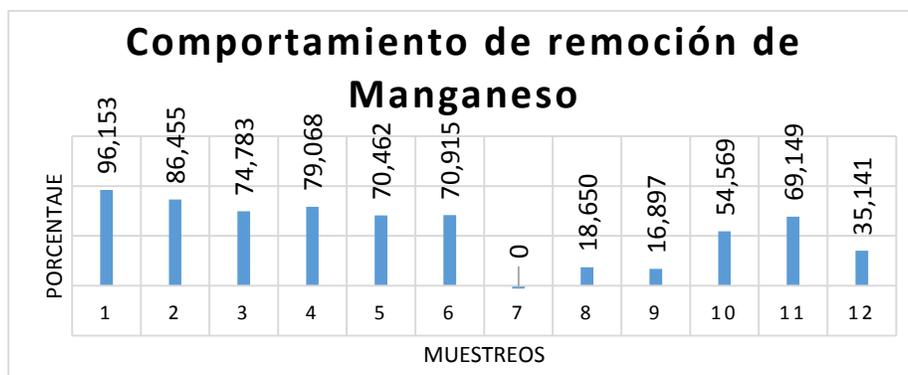


Figura 18. Comportamiento del Manganeso en Ilobasco.

4.5.2. Resultados de Hierro

En el pozo de Ilobasco, todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de Hierro por arriba de la Norma. En el caso del agua filtrada, el 50% de todos los análisis de Hierro cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08, obteniendo porcentajes de remoción de hasta el 98.93% (figura 19), por lo que este tipo de tratamientos con filtros de biocarbón/arcilla es recomendable para la disminución de dicho elemento. Los filtros obtuvieron un promedio de remoción de Hierro de 83.20%.

Cuadro 14. Resultados de análisis de laboratorio de Hierro.

Datos promedio de Hierro (Fe)					
Muestreo	Fecha	Norma (mg/l)	Agua cruda (mg/l)	Agua filtrada (mg/l)	Remoción (%)
1	11/5/2017	0.3	2.58	0.049	98.101
2	12/6/2017	0.3	2.475	0.118	95.232
3	4/7/2017	0.3	1.696	0.564	66.745
4	11/7/2017	0.3	4.046	0.043	98.937
5	26/7/2017	0.3	4.046	0.403	90.040
6	15/8/2017	0.3	4.217	0.142	96.633
7	30/8/2017	0.3	0.477	0.018	96.226
8	13/9/2017	0.3	0.943	0.409	56.628
9	27/9/2017	0.3	0.682	0.134	80.352
10	11/10/2017	0.3	2.277	0.401	82.389
11	25/10/2017	0.3	3.966	0.333	91.604
12	8/11/2017	0.3	2.846	1.549	45.573
Promedio		0.3	2.521	0.347	83.205
Desviación Estándar		0	1.366	0.419	17.795

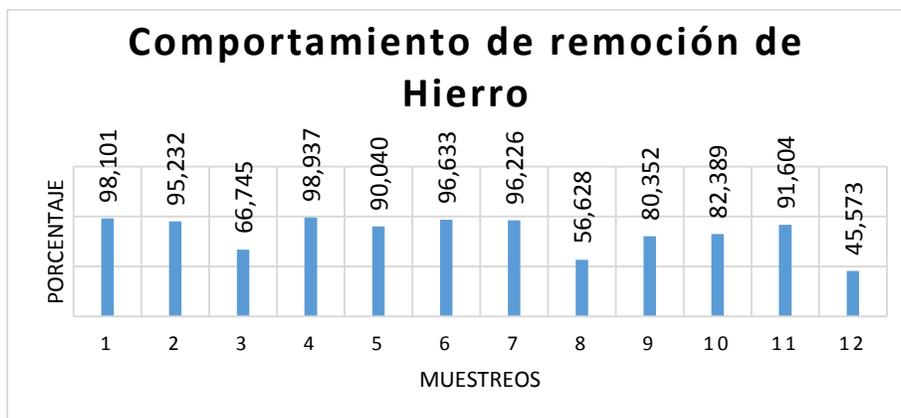


Figura 19. Remoción de Hierro en Ilobasco.

4.6 Resultados Químicos en San Salvador

4.6.1 Resultados de Arsénico

El análisis de arsénico realizado mediante generación de hidruros por absorción atómica, permitió obtener datos más confiables, debido a que se incrementa la sensibilidad, logrando los siguientes resultados:

Cuadro 15. Resultados para Arsénico.

Datos promedio de As					
Muestreo	Fecha	Norma (mg/l)	Agua preparada (mg/l)	Agua filtrada (mg/l)	Remoción (%)
1	11/5/2017	0.01	0.73	0.009	98.767
2	12/6/2017	0.01	0.73	0.108	85.205
3	4/7/2017	0.01	0.504	0.106	78.968
4	11/7/2017	0.01	0.647	0.107	83.462
5	26/7/2017	0.01	0.775	0.106	86.323
6	15/8/2017	0.01	0.835	0.105	87.425
7	30/8/2017	0.01	0.74	0.105	85.811
8	13/9/2017	0.01	0.853	0.099	88.394
9	27/9/2017	0.01	0.955	0.088	90.785
10	11/10/2017	0.01	1.013	0.096	90.523
11	25/10/2017	0.01	0.881	0.093	89.444
12	8/11/2017	0.01	1.045	0.096	90.813
Promedio		0.01	0.809	0.093	87.993
Desviación estándar		0	0.155	0.027	4.844

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

El porcentaje promedio de remoción de arsénico fue de 87.99%, demostrando que el filtro de biocarbón/arcilla es una buena alternativa en la disminución de dicho elemento.



Figura 20. Comportamiento del Arsénico en San Salvador.

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

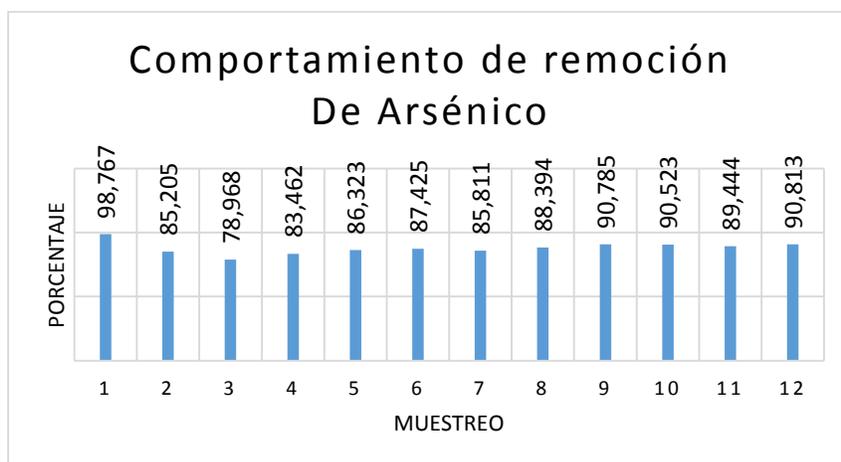


Figura 21. Remoción de arsénico en San Salvador

4.6.2 Resultados de Plomo

Para la realización de los análisis de plomo se utilizó un horno de grafito, obteniendo los siguientes resultados:

Cuadro 16. Resultados para Plomo.

Datos promedio de Plomo (Pb)					
Muestreo	Fecha	Norma (mg/l)	Agua Preparada (mg/l)	Agua Filtrada (mg/l)	Remoción (%)
1	11/5/2017	0.01	0.66	0.001	99.848
2	12/6/2017	0.01	0.65	0.001	99.846
3	4/7/2017	0.01	0.327	0.001	99.694
4	11/7/2017	0.01	0.762	0.001	99.869
5	26/7/2017	0.01	0.86	0.001	99.884
6	15/8/2017	0.01	0.86	0.001	99.884
7	30/8/2017	0.01	0.86	0.002	99.767
8	13/9/2017	0.01	0.832	0.001	99.880
9	27/9/2017	0.01	0.906	0.001	99.890
10	11/10/2017	0.01	1.099	0.001	99.909
11	25/10/2017	0.01	1.003	0.001	99.900
12	8/11/2017	0.01	1.129	0.001	99.911
Promedio		0.01	0.829	0.001	99.857
Desviación estándar		0	0.217	0.000	0.064

En el agua preparada en San Salvador, todos los análisis del agua cruda resultaron con valores de Plomo por arriba de la Norma; y todos los análisis del agua filtrada cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08, ya sus valores

estuvieron por debajo de la Norma; obteniendo porcentajes de remoción de hasta el 99.91%.

El porcentaje promedio de remoción de Plomo fue de 99.86%, demostrando que el filtro de biocarbón/arcilla es una buena alternativa en la disminución de dicho elemento.

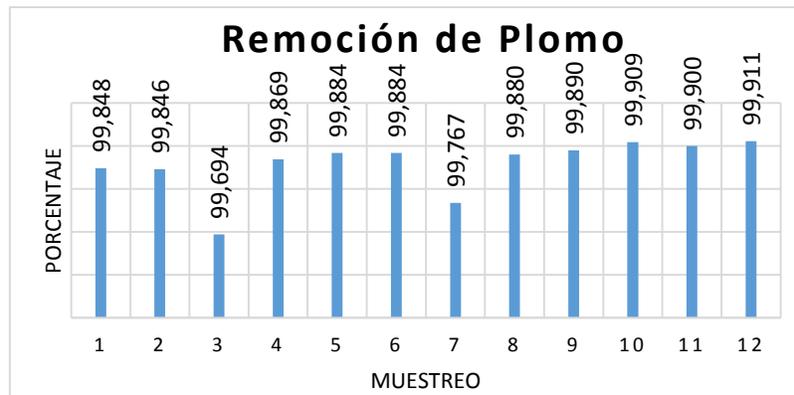


Figura 22. Remoción de Plomo en San Salvador.

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

4.7 Análisis estadístico de los resultados químicos en Ilobasco y San Salvador

Al realizar las comparaciones del agua preparada de San Salvador con los datos de la Norma, se encontró significancia para arsénico y plomo (anexo 15); caso contrario ocurre en el agua cruda de Ilobasco para hierro con un valor de 0.0014 y manganeso de 0.0002, siendo estos valores cercanos al condicionante <0.0001 de rechazo de hipótesis nula.

La prueba “t” de Student permitió verificar que existe una diferencia estadísticamente significativa para arsénico y plomo al comparar el agua preparada de San Salvador antes y después de ser filtrada, es decir, que se obtuvieron valores < 0.0001 ; por otro lado, al realizar la prueba al agua cruda de Ilobasco con el agua filtrada, se observa un valor de

0.0002 para hierro y 0.0077 para manganeso, estando estos datos cerca del rechazo de la hipótesis nula, no obstante, no llegan a tener significancia, porque no cumplen con el condicionante < 0.0001 , lo que concuerda con los datos de remoción, debido a que el hierro y manganeso tienen porcentajes menores que los encontrados para plomo y arsénico.

Al comparar el agua filtrada de San salvador con la Norma, se determinó que existe significancia entre estas medias, tanto para plomo como para arsénico, porque se obtuvieron valores < 0.0001 en la "t" de Student; en el caso de arsénico el resultado es significativo porque el promedio del elemento se encuentra por encima del límite permisible, aun después de haber sido removido un 87.99% de la concentración inicial del agua, y en el plomo el resultado es significativo porque la remoción del elemento es 99.86%, quedando con niveles casi indetectables en el agua, muy por debajo del límite permisible según norma, lo que indica, que los filtros realizaron una remoción eficiente de plomo.

Al realizar la comparación del agua filtrada de Ilobasco con la Norma, se encontró que para Hierro no existe significancia, esto debido a que en promedio el elemento obtuvo 0.347 mg/l y la Norma establece un límite de 0.3 mg/l, siendo estos valores muy cercanos, superando ligeramente los resultados del agua filtrada al límite establecido en la Norma. Los resultados de manganeso obtuvieron significancia porque el promedio de la concentración en el agua filtrada fue de 0.876 mg/l, por lo cual no cumple con lo establecido en la Norma de 0.1 mg/l.

4.8 Resultados de Turbidez para Ilobasco y San Salvador

Los resultados obtenidos de turbidez (en Unidades Nefelométricas de turbidez) para Ilobasco y San Salvador fueron comparados con la Norma Salvadoreña de Agua Potable NSO 13.07.01:08 (cuadro 17).

Cuadro 17. Resultados de turbidez para Ilobasco y San Salvador.

Muestreo/Fecha		Ilobasco				San Salvador		
		Norma (NTU)	Cruda (NTU)	Filtrada (NTU)	Remoción (%)	Preparada (NTU)	Filtrada (NTU)	Remoción (%)
1	11/5/2017	5.00	59.00	1.50	97.46	2.00	1.00	50.00
2	12/6/2017	5.00	60.00	6.00	90.00	2.00	1.00	50.00
3	4/7/2017	5.00	285.00	28.00	90.18	2.00	1.00	50.00
4	11/7/2017	5.00	285.00	3.50	98.77	2.50	1.00	60.00
5	26/7/2017	5.00	285.00	18.50	93.51	2.00	1.00	50.00
6	15/8/2017	5.00	285.00	11.00	96.14	2.00	1.00	50.00
7	30/8/2017	5.00	36.00	7.00	80.56	2.00	1.00	50.00
8	13/9/2017	5.00	46.00	7.50	83.70	3.00	1.00	66.67
9	27/9/2017	5.00	61.50	1.00	98.37	2.00	1.00	50.00
10	11/10/2017	5.00	175.00	16.50	90.57	3.00	1.00	66.67
11	25/10/2017	5.00	183.00	17.50	90.44	2.00	1.00	50.00
12	8/11/2017	5.00	127.50	47.50	62.75	4.00	1.00	75.00
Promedio		5.00	157.33	13.79	89.37	2.38	1.00	55.69

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

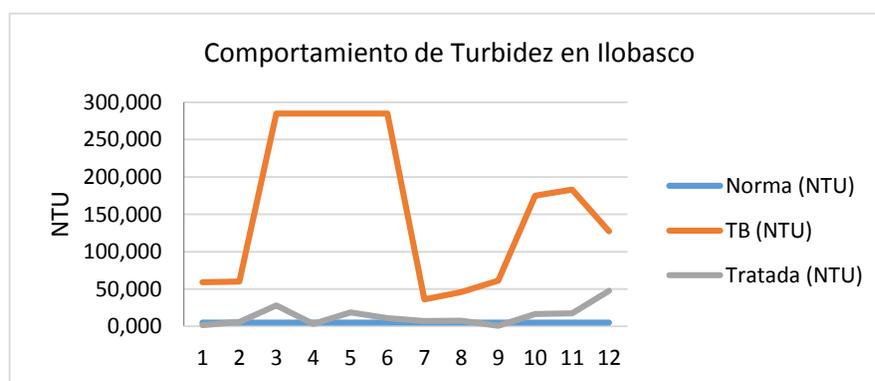


Figura 23. Turbidez en Ilobasco.

En el agua preparada en San Salvador, todos los análisis de Turbidez del agua cruda y del agua filtrada cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08, obteniendo porcentajes de remoción de hasta el 75%.

El porcentaje promedio de remoción de Turbidez fue de 55.69%, menor en comparación con Ilobasco, debido a que el agua presentó menor turbidez los porcentajes de remoción fueron más bajos.

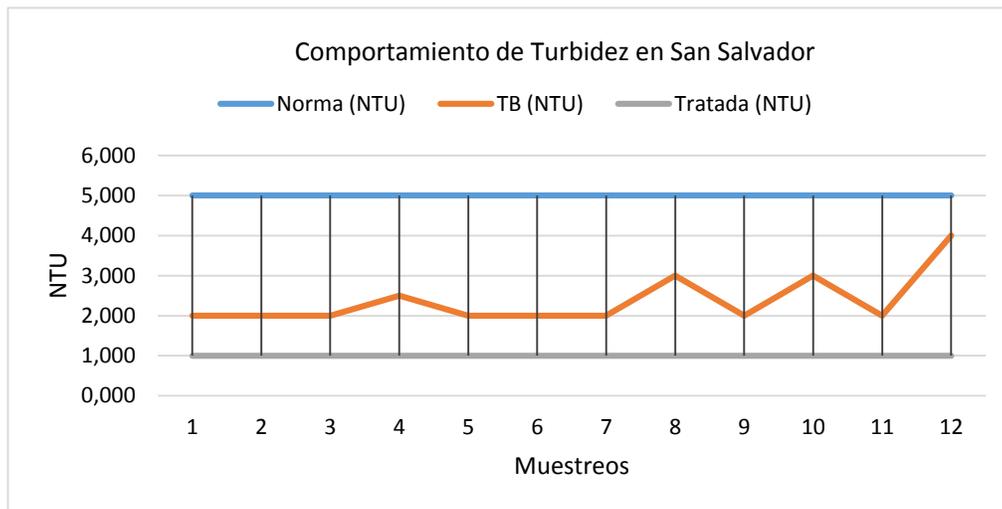


Figura 24. Turbidez en San Salvador.

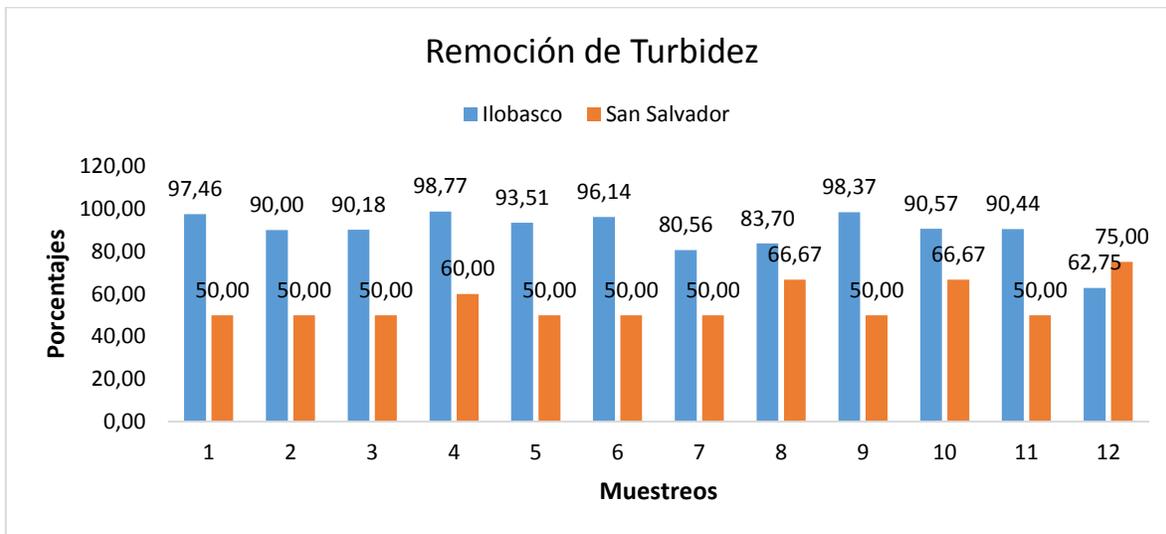


Figura 25. Porcentajes de remoción de turbidez en Ilobasco y en San Salvador.

5. CONCLUSIONES

Los filtros de biocarbón/arcilla obtuvieron un alto porcentaje de remoción para *Pseudomona aeruginosa* y *Escherichia coli* en el municipio de Ilobasco, siendo estos de 72.27% y 95.49%, respectivamente, lo que indica que este tipo de tratamiento es efectivo para disminuir las concentraciones de bacterias en el agua.

Los resultados de remoción de Coliformes Totales en el agua filtrada fueron bajos, sin embargo, las cargas microbianas a las que fueron sometidos los filtros eran altas (2,419.6 NMP/100 ml), lo que supera la capacidad promedio del filtro para inactivación de dichas bacterias.

El mejor porcentaje de remoción de contaminantes por los filtros artesanales fue el obtenido para Plomo en San Salvador, con el 99.9% del total del elemento, el cual se encuentra por debajo del límite permisible de la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08.

Los filtros de biocarbón/arcilla removieron el arsénico hasta en un 87.84% en San Salvador, sin embargo, queda un remanente promedio de 0.09 mg/l, por lo que se hace necesario un tratamiento complementario para el agua filtrada, debido a que el límite permisible para agua de consumo humano es de 0.01 mg/l.

El hierro fue removido en un 83.21%, dejando un remanente de 0.37 mg/l en el agua filtrada, lo cual está cerca del límite permisible por la Norma que es de 0.3 mg/l, aunque el agua no es apta para consumo humano, los filtros artesanales fueron capaces de realizar una reducción importante del hierro.

El manganeso fue removido efectivamente por los filtros, a pesar de que este se comportó de forma fluctuante durante la investigación, ya que el agua cruda variaba sus concentraciones de metales involucrados, lo que ocasiono una variación negativa en los promedios de remoción, obteniendo un promedio final de 55.78%.

Los filtros poseen una gran capacidad de remoción de turbidez, cuando son altos niveles presentes en el agua a tratar, porque en la zona de Ilobasco se obtuvieron valores hasta

de 285 NTU y se calculó una remoción de arriba de 80%, mientras que a niveles más bajos como en la zona de San Salvador, que todos los muestreos resultaron debajo de 5 NTU, la remoción promedio fue de 55.69%.

El mantenimiento y limpieza de los filtros 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 del filtro artesanal.

Los filtros de biocarbón/arcilla son una buena alternativa para filtrar agua para consumo humano, ya que tienen la capacidad de disminuir las concentraciones de contaminantes microbianos como Coliformes Totales, *Pseudomona aeruginosa* y *Escherichia coli*, y de metales pesados como el Manganeseo, Hierro, Plomo y Arsénico.

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

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

La tasa de filtración en los filtros artesanales se ve afectada por la calidad del agua, porque a mayor cantidad de agentes contaminantes, menor es la velocidad de filtrado, por lo que es necesario remover las partículas de mayor tamaño antes de introducir el agua al filtro.

Los filtros de biocarbón/arcilla contribuyen con el cumplimiento del sexto objetivo de desarrollo sostenible que es el de agua limpia y saneamiento, debido a que estos son una alternativa de bajo costo para el tratamiento del agua en países en vías de desarrollo.

6. RECOMENDACIONES

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

Si en las primeras filtraciones se observa el agua de color rojizo, es necesario hacer otro lavado para que se dé la liberación completa de la arcilla y el agua pueda ser apta para consumo humano.

Al hacer uso de los filtros de biocarbón/arcilla es necesario realizar un lavado del bidón por lo menos una vez por semana, aplicando hipoclorito de sodio diluido (2.5% - 5%), con el objetivo de no crear condiciones para un crecimiento bacteriano en el interior del bidón, así mismo, es importante enjuagarlo con abundante agua para que no queden residuos del hipoclorito de sodio.

La unidad filtrante del filtro artesanal debe ser enjuagada al menos una vez por semana con agua estéril o agua hervida, dejar que ésta llegue a temperatura ambiente y con ayuda de un cepillo remover las partículas que han sido acumuladas.

Si el agua a filtrar es de muy baja calidad porque contiene altas concentraciones de contaminantes microbianos y de metales pesados, se pueden utilizar dos filtros, el primero para tratar el agua cruda y el segundo para tratar el agua que ya ha sido filtrada, con el objetivo de remover la mayor cantidad de agentes contaminantes, y que el agua llegue a niveles aceptables de calidad.

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

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

Analizar el agua antes y después de filtrar para conocer los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08.

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. San Salvador, El Salvador. Tesis Maestría. Universidad de El Salvador. 142 p.
- Ahmad, N; Nawaz, M; Usman, A; Shaukat, M. 2010. Microbiología Médica. McGRAW-HILL. Arizona, Estados Unidos. 325 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.
- 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.
- Araujo Chevez, CI. 2010. Cuantificación de Plomo, Mercurio y Cadmio, en Agua de Consumo Humano de cinco comunidades de El Salvador por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Tesis Lic. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador. 133 p.
- Aurazo, M. 2004. Manual para análisis básicos de calidad del agua de bebida (en línea). CEPIS/OPS. Consultado 1 de mayo de 2017. 2013. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/manual.pdf>
- 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.

- Barrenechea, A. 2009. Aspectos físico químicos de la calidad del Agua (en línea). Consultado 29 de Junio de 2017. Disponible en <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/uno.pdf>
- Bonilla, BL. 2015. Diagnóstico de la calidad de los recursos hídricos y diseño de una propuesta para su manejo y sostenibilidad en las cuencas El Jute y San Antonio, La Libertad, El Salvador. Tesis Maestría. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador. 172 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 Water 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.
- Delgado Calderón, SJ; Morales Torres, FA. 2015. Detección de *Pseudomonas aeruginosa* y bacterias heterótrofas de aguas envasadas en botellas y bolsas destinadas al consumo humano, comercializadas en la ciudad de Managua en el período diciembre 2014 a enero 2015. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. 62 p.
- 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.
- Drinan, J; Spellman, FR. 2000. Manual del Agua Potable. Trad. AB Celma. Zaragoza España. Editorial Acribia. 255 p.

Educación Sin Fronteras. 2013. Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) (en línea). Consultado 28 de Junio de 2017. 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.

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

Lerma Arias, D.A. 2007. Filtros cerámicos, una alternativa de agua segura. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. 75 p.

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 del Magdalena. 52 p.

- Miller, J. 2002. Estadística y quimiometría para química analítica (en línea). Consultado 10 de enero de 2017. Disponible en <https://www.casadellibro.com/libro-estadistica-y-quimiometria-para-quimica-analitica-4-ed/9788420535142/847440>
- Miliarium. 2008. Procedencia natural del arsénico (en línea). Consultado 20 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Arsenico/ArsenicoNatural.asp>
- MINSAL (Ministerio de Salud). 2009. Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.02:08: Agua, Agua Envasada. Diario Oficial, San Salvador, El Salvador. 30 p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud, Estados Unidos). 2013. Centro de prensa, Contaminación por arsénico (en línea). Consultado 20 de mayo de 2017. Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/index.html>
- OMS (Organización Mundial para la Salud, Chile). 2006. Guías para la calidad del agua potable (en línea). Consultado 24 jul. 2013. Disponible en http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- 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 2017. Disponible en http://www.bvsde.opsoms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d25/067%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20mejoramiento%20de%20la%20calidad%20del%20agua%20a%20nivel%20casero/guia-mejor_agua_metodocasero.pdf
- 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.

- Ramírez Medina, L; Pérez Duarte, NS. 2000. Uso de filtros lentos para el tratamiento de agua a nivel domiciliario. Pinar del Rio, Cuba. 6 p.
- Rivera, B; Rock, C. 2013. La calidad del agua, *E. coli* y su salud. Arizona, Estados Unidos. University of Arizona. 55 p.
- Shimadzu Corporation. (s.f). Estándar industrial japonés JIS K-102-1993. Métodos de prueba para aguas residuales industriales. Norma ambiental relativa a la contaminación del agua. Absorción Atómica, Determinación de Arsénico y Plomo. 110 p.
- Sierra, CA. 2011. Calidad del agua, evaluación y diagnóstico. Ed. LD López. Bogotá, Colombia. Digiprint. 457 p.
- Troposfera. 2005. Portal temático de contaminación Atmosférica. Plomo (en línea). Consultado 23 de mayo de 2017. Disponible en <http://www.troposfera.org/conceptos/contaminantes-quimicos-de-la-atmosfera/plomo-pb/>
- UNES (Unidad Ecológica Salvadoreña, El Salvador). 2011. El Salvador crisis hídrica (En línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 5 julio de 2017. Disponible en www.unes.org.sv/
- Valencia Espinoza, CE. 2006. Química del Hierro y Manganeso en el agua, Métodos de remoción. Cuenca, Ecuador. Universidad de Cuenca. 52 p.
- Vidal Henao, SM. 2010. Estrategias para disminuir la contaminación por organismos bacterianos patógenos. Pereira, Colombia. 76 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Glosario

Agua potable: aquella apta para el consumo humano y que cumple con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos establecidos en la normativa.

Agua tratada: corresponde al agua cuyas características han sido modificadas por medio de procesos físicos, químicos, biológicos o cualquiera de sus combinaciones.

Parámetro: es aquella característica que es sometida a medición.

Turbidez: es una expresión de la propiedad óptica que causa la luz al ser dispersada, absorbida y transmitida en líneas rectas a través de la muestra, debido a la presencia de sólidos suspendidos en el agua.

NSO 13.07.01:08: Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable.

Unidades Formadoras de Colonias (UFC): expresa el número de colonias originadas a partir de una célula, pares, cadenas o agrupaciones de células.

Número Más Probable (NMP): Este número da un valor estimado de la densidad media de bacterias en una muestra de agua.

Límite Máximo Permisible: es la concentración del parámetro por encima del cual el agua no es potable.

Anexo 2. Cobertura de sistemas de agua potable en El Salvador.

Situación	Población (%)	Cantidad
Con servicio de agua a nivel nacional	77%	4,755,000
ANDA	45%	2,805,000
Descentralizado de ANDA	2%	95,000
Sistemas comunitarios	23%	1,379,000
Administración Municipal	5%	333,000
Privado	2%	143,000

Fuente: ANDA (2016).

Anexo 3. Cálculo de volumen requerido para estándares de Arsénico.

Fórmula: $C_1V_1=C_2V_2$ $V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$

Dónde:

C1: Concentración de la solución madre

V1: Incógnita (volumen de la solución madre a utilizar)

C2: Concentración del estándar

V2: Volumen del estándar

Estándar 0.5 ppb:

$$V = \frac{0.5 \text{ ppb (50 ml)}}{100 \text{ ppb}} = 0.25 \text{ ml}$$

Estándar 1.0 ppb:

$$V = \frac{1.0 \text{ ppb (50 ml)}}{100 \text{ ppb}} = 0.5 \text{ ml}$$

Estándar 2.0 ppb:

$$V = \frac{2.0 \text{ ppb (50 ml)}}{100 \text{ ppb}} = 1.0 \text{ ml}$$

Estándar 5.0 ppb:

$$V = \frac{5.0 \text{ ppb (50 ml)}}{100 \text{ ppb}} = 2.5 \text{ ml}$$

Anexo 4. Cálculo de volumen requerido para estándares de Plomo.

Fórmula: $C_1V_1=C_2V_2$ $V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$

Dónde:

C1: Concentración de la solución madre

V1: Incógnita (volumen de la solución madre a utilizar)

C2: Concentración del estándar

V2: Volumen del estándar

Estándar 2 ppb:

$$V = \frac{2 \text{ ppb (50 ml)}}{100 \text{ ppb}} = 1.0 \text{ ml}$$

Estándar 5.0 ppb:

$$V = \frac{5.0 \text{ ppb (50 ml)}}{100 \text{ ppb}} = 2.5 \text{ ml}$$

Estándar 10.0 ppb:

$$V = \frac{10.0 \text{ ppb (50 ml)}}{100 \text{ ppb}} = 5.0 \text{ ml}$$

Estándar 20.0 ppb:

$$V = \frac{20.0 \text{ ppb (50 ml)}}{100 \text{ ppb}} = 10.0 \text{ ml}$$

Anexo 5. Cálculo de volumen requerido para estándares de Hierro.

Fórmula: $C_1V_1=C_2V_2$ $V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$

Dónde:

C1: Concentración de la solución madre

V1: Incógnita (volumen de la solución madre a utilizar)

C2: Concentración del estándar

V2: Volumen del estándar

Estándar 0.3 ppm:

$$V = \frac{0.3 \text{ ppm (100 ml)}}{100 \text{ ppm}} = 0.3 \text{ ml}$$

Estándar 1.0 ppm:

$$V = \frac{1.0 \text{ ppm (100 ml)}}{100 \text{ ppm}} = 1.0 \text{ ml}$$

Estándar 3.0 ppm:

$$V = \frac{3.0 \text{ ppm (100 ml)}}{100 \text{ ppm}} = 3.0 \text{ ml}$$

Estándar 6.0 ppm:

$$V = \frac{6.0 \text{ ppm (100 ml)}}{100 \text{ ppm}} = 6.0 \text{ ml}$$

Anexo 6. Cuadro Grubbs teórico.

Cantidad de observaciones (n)	5% Nivel de significación	2.5% Nivel de significación	1% Nivel de significación
3	1.15	1.15	1.15
4	1.46	1.48	1.49
5	1.67	1.71	1.75
6	1.82	1.89	1.94
7	1.94	2.02	2.10
8	2.03	2.13	2.22
9	2.11	2.21	2.32
10	2.18	2.29	2.41

Fuente: Miller (2002).

Anexo 7. Resultados microbiológicos de Ilobasco.



Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA
 Centro de Investigación y Desarrollo CIDE-GASCR
 Registro
 Informe de Resultado Microbiológicos de Agua para Consumo Humano

Ciente:	ANDA-UES
Fecha de muestreo:	11/5/17 - 8/11/17
Muestreador:	Juan Francisco Escobar Ponce
Punto de muestreo:	Ilobasco
Fecha de emisión:	22/12/2017
Página:	1 de 1

Fecha	Coliformes Totales			Escherichia coli			Pseudomona aeruginosa		
	ILO cruda	ILO 01	ILO 02	ILO cruda	ILO 01	ILO 02	ILO cruda	ILO 01	ILO 02
11/5/2017	2,419.60	193.50	224.70	2,419.60	82.00	35.00	-	-	-
12/6/2017	2,419.60	1,203.30	13.10	2,419.60	648.80	43.70	2,419.60	3.10	37.30
4/7/2017	2,419.60	517.20	1,986.30	2,419.60	86.20	10.90	2,419.60	<1.00	<1.00
13/7/2017	2,419.60	2,419.60	2,419.60	2,419.60	<1.00	<1.00	2,419.60	4.10	24.60
26/7/2017	2,419.60	59.10	13.10	2,419.60	3.10	1.00	2,419.60	14.80	<1.00
15/8/2017	2,419.60	1,732.90	224.70	117.20	<1.00	<1.00	2,419.60	12.10	1.00
30/8/2017	2,419.60	387.30	135.40	365.40	3.10	6.30	47.30	4.10	1.00
13/9/2017	2,419.60	307.60	20.10	307.60	<1.00	<1.00	2,419.60	<1.00	<1.00
27/9/2017	2,419.60	2,419.60	2,419.60	1,119.90	36.90	13.10	2,419.60	19.70	2,419.60
11/10/2017	2,419.60	2,419.60	2,419.60	30.40	10.80	1.00	100.60	1.00	<1.00
25/10/2017	2,419.60	2,419.60	1,415.60	21.30	2.00	2.00	4.10	5.20	14.60
8/11/2017	2,419.60	770.10	48.00	57.80	<1.00	<1.00	21.30	<1.00	<1.00
Promedio	2,419.60	1,237.45	944.98	1,176.47	73.08	9.75	1,555.50	6.10	227.56
Desviación estándar	0.00	983.47	1,083.73	1,134.75	184.03	14.57	1,199.11	6.47	727.12
Observaciones	Límite permisible por la Norma Salvadoreña Obligatoria de agua potable NSO 13.07.01:08 es de 1.1 NMP/100 ml.						Observaciones: Aún no se encuentra normado este Parámetro en NSO 13.07.01:08		

Analista: 
 Nombre y firma.



Autoriza: 
 Nombre y firma.



Boulevard constitución, Calle El Algodón, CFI-ANDA, San Salvador. Tel:2535-5705

Anexo 8. Resultados microbiológicos de San Salvador.



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

Registro

Informe de Resultado Microbiológicos de Agua para Consumo Humano

Cliente:	ANDA-UES
Fecha de muestreo:	4/7/17 - 8/11/17
Muestrador:	Verónica Sarahí Rodríguez Meza
Punto de muestreo:	San Salvador
Fecha de emisión:	22/12/2017
Página:	1 de 1

RESULTADOS EN NMP (NÚMERO MÁS PROBABLE)/100ml.									
Fecha	Coliformes Totales			Escherichia coli			Pseudomona aeruginosa		
	UES	UES 01	UES 02	UES	UES 01	UES 02	UES	UES 01	UES 02
4/7/2017	14.80	35.50	93.30	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	1.00
11/7/2017	16.00	<1.00	14.60	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
26/7/2017	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
15/8/2017	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
30/8/2017	6.30	179.30	816.40	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
13/9/2017	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
27/9/2017	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
11/10/2017	4.10	21.80	5.20	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
25/10/2017	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
8/11/2017	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
Promedio	4.72	24.36	93.55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Desviación estándar	5.91	55.73	255.59	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00
Observaciones	Límite permisible por la Norma Salvadoreña Obligatoria de agua potable NSO 13.07.01:08 es de 1.1 NMP/100 ml.						Observaciones: Aún no se encuentra normado este Parámetro en NSO 13.07.01:08		

Analista: Verónica Sarahí Rodríguez Meza

Nombre y firma.



Autoriza: Licda. Claudia María Amiana Alfaro

Nombre y firma.



Boulevard constitución, Calle El Algodón, CFI-ANDA, San Salvador. Tel:2535-5705

Anexo 9. Remoción microbiológica en Ilobasco.

Remoción microbiológica en Ilobasco						
Fecha	Coliformes Totales		<i>Escherichia coli</i>		<i>Pseudomona aeruginosa</i>	
	Remoción ILO 01 (%)	Remoción ILO 02 (%)	Remoción ILO 01 (%)	Remoción ILO 02 (%)	Remoción ILO 01 (%)	Remoción ILO 02 (%)
11/5/2017	92.003	90.713	96.611	98.553	-	-
12/6/2017	50.269	99.459	73.186	98.194	99.872	98.458
4/7/2017	78.625	17.908	96.437	99.550	99.959	99.959
13/7/2017	0.000	0.000	99.959	99.959	99.831	98.983
26/7/2017	97.557	99.459	99.872	99.959	99.388	99.959
15/8/2017	28.381	90.713	99.147	99.147	99.500	99.959
30/8/2017	83.993	94.404	99.152	98.276	91.332	97.886
13/9/2017	87.287	99.169	99.675	99.675	99.959	99.959
27/9/2017	0.000	0.000	96.705	98.830	99.186	0.000
11/10/2017	0.000	0.000	64.474	96.711	99.006	99.006
25/10/2017	0.000	41.494	90.610	90.610	0.00	0.00
8/11/2017	68.172	98.016	98.270	98.270	95.305	95.305
PROMEDIO	48.857	60.945	92.842	98.145	86.955	80.85
	54.901		95.493		83.90	

Anexo 10. Remoción microbiológica en San Salvador.

Remoción microbiológica en San Salvador						
Fecha	Coliformes Totales		<i>Escherichia coli</i>		<i>Pseudomona aeruginosa</i>	
	Remoción UES 01 (%)	Remoción UES 02 (%)	Remoción UES 01 (%)	Remoción UES 02 (%)	Remoción UES 01 (%)	Remoción UES 02 (%)
11/5/2017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12/6/2017	93.750	8.750	0.000	0.000	0.000	0.000
4/7/2017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13/7/2017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26/7/2017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15/8/2017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30/8/2017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13/9/2017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
27/9/2017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11/10/2017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Promedio	9.375	0.875	0.00	0.000	0.000	0.000
	5.125		0.000		0.000	

Anexo 11. Resultados de análisis fisicoquímicos de Ilobasco.

AGUA CRUDA DE ILOBASCO								AGUA FILTRADA DE ILOBASCO						
Muestreo	Identificación muestra	Mn	Fe	Tb	STD	Ce	Sn	Identificación muestra	Mn	Fe	Tb	STD	Ce	Sn
		mg/l	mg/l	UNT	mg/l	Ms/cm	‰		mg/l	mg/l	UNT	mg/l	Ms/cm	‰
11/5/2017	Agua cruda a	8.11	2.58	59.00	84.70	181.80	0.00	ILO 1a	0.45	0.06	1.00	81.50	163.00	0.08
	Agua cruda b	8.11	2.58	59.00	84.70	181.80	0.00	ILO 1b	0.43	0.06	1.00	81.50	163.00	0.08
								ILO 2a	0.22	0.06	2.00	74.90	150.00	0.07
								ILO 2b	0.15	0.02	2.00	74.90	150.00	0.07
	Promedio	8.11	2.58	59.000	84.700	181.80	0.00		0.31	0.05	1.50	78.20	156.50	0.08
	Desviación estándar	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00		0.15	0.02	0.58	3.81	7.51	0.01
	% cv	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00		48.53	34.44	38.49	4.87	4.80	7.70
12/6/2017	Agua cruda a	8.10	2.60	60.00	210.00	450.00	0.22	ILO 1a	1.21	0.16	6.00	206.30	425.00	0.20
	Agua cruda b	8.14	2.35	60.00	215.00	463.00	0.23	ILO 1b	1.23	0.17	6.00	206.30	425.00	0.20
								ILO 2a	0.98	0.06	6.00	213.90	443.00	0.21
								ILO 2b	0.98	0.08	6.00	213.90	443.00	0.21
	Promedio	8.12	2.48	60.000	212.500	456.50	0.23		1.10	0.12	6.00	210.10	434.00	0.21
	Desviación estándar	0.03	0.18	0.000	3.536	9.19	0.01		0.14	0.06	0.00	4.39	10.39	0.01
	% cv	0.35	7.14	0.000	1.664	2.01	3.14		12.62	49.37	0.00	2.09	2.40	2.82
4/7/2017	Agua cruda a	2.58	1.73	285.00	134.90	282.00	0.13	ILO 1a	0.60	0.57	26.00	85.50	180.14	0.08
	Agua cruda b	2.48	1.66	285.00	134.90	282.00	0.13	ILO 1b	0.56	0.59	26.00	85.50	180.14	0.08
								ILO 2a	0.72	0.54	30.00	84.20	177.40	0.08
								ILO 2b	0.67	0.55	30.00	84.20	177.40	0.08
	Promedio	2.53	1.70	285.00	134.90	282.00	0.13		0.64	0.56	28.00	84.85	178.77	0.08
	Desviación estándar	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00		0.07	0.02	2.31	0.75	1.58	0.00

4/7/2017	Continuación del cuadro anterior.													
	% cv	2.80	3.06	0.00	0.00	0.00	0.00		11.19	3.53	8.25	0.89	0.89	0.00
13/7/2017	Agua cruda a	4.77	3.96	285.00	233.00	483.00	0.23	ILO 1a	0.99	0.03	3.00	133.30	279.00	0.13
	Agua cruda b	4.67	4.14	285.00	233.00	483.00	0.23	ILO 1b	0.98	0.02	3.00	133.30	279.00	0.13
								ILO 2a	0.99	0.06	4.00	134.70	282.00	0.13
								ILO 2b	0.99	0.07	4.00	134.70	282.00	0.13
	Promedio	4.72	4.05	285.00	233.00	483.00	0.23		0.99	0.04	3.50	134.00	280.50	0.13
	Desviación estándar	0.07	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00		0.01	0.02	0.58	0.81	1.73	0.00
	% cv	1.50	3.10	0.00	0.00	0.00	0.00		0.51	55.94	16.50	0.60	0.62	0.00
26/7/2017	Agua cruda a	4.32	3.96	285.00	233.00	483.00	0.23	ILO 1a	1.39	0.52	23.00	142.00	297.00	0.14
	Agua cruda a	4.55	4.14	285.00	233.00	483.00	0.23	ILO 1b	1.40	0.51	23.00	142.00	297.00	0.14
								ILO 2a	1.28	0.29	14.00	145.50	304.00	0.14
								ILO 2b	1.17	0.30	14.00	145.50	304.00	0.14
	Promedio	4.44	4.05	285.00	233.00	483.00	0.23		1.31	0.40	18.50	143.75	300.50	0.14
	Desviación estándar	0.16	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00		0.11	0.13	5.20	2.02	4.04	0.00
	% cv	3.67	3.10	0.00	0.00	0.00	0.00		8.25	31.72	28.09	1.41	1.35	0.00
15/8/2017	Agua cruda a	4.50	4.31	285.00	233.00	270.00	0.23	ILO 1a	1.47	0.14	11.00	95.80	201.40	0.09
	Agua cruda b	4.68	4.12	285.00	232.00	285.00	0.23	ILO 1b	1.27	0.15	11.00	95.80	201.40	0.09
								ILO 2a	1.31	0.14	11.00	107.40	225.00	0.11
								ILO 2b	1.29	0.14	11.00	107.40	225.00	0.11
	Promedio	4.59	4.22	285.00	232.50	277.50	0.23		1.34	0.14	11.00	101.60	213.20	0.10
	Desviación estándar	0.13	0.13	0.00	0.71	10.61	0.00		0.09	0.01	0.00	6.70	13.63	0.01
	% cv	2.77	3.18	0.00	0.30	3.82	0.00		6.85	4.87	0.00	6.59	6.39	11.55
30/8/2017	Agua cruda a	1.50	0.49	36.00	110.00	245.00	0.11	ILO 1a	1.70	0.00	8.00	107.60	226.00	0.11
	Agua cruda b	1.53	0.47	36.00	112.00	234.00	0.10	ILO 1b	1.61	0.00	8.00	107.00	226.00	0.11
								ILO 2a	1.46	0.04	6.00	104.60	219.60	0.10
								ILO 2b	1.46	0.03	6.00	105.00	220.00	0.11

Continuación del cuadro anterior.														
30/8/2017	Promedio	1.52	0.48	36.00	111.00	239.50	0.11		1.56	0.02	7.00	106.05	222.90	0.11
	Desviación estándar	0.02	0.01	0.00	1.41	7.78	0.01		0.11	0.02	1.16	1.47	3.58	0.01
	% cv	1.40	2.33	0.00	1.27	3.25	6.73		7.60	117.15	16.50	1.39	1.61	4.65
13/9/2017	Agua cruda a	0.87	0.95	46.00	63.60	134.00	0.06	ILO 1a	0.69	0.41	8.00	57.70	122.10	0.06
	Agua cruda b	0.76	0.93	46.00	64.00	134.00	0.07	ILO 1b	0.67	0.41	8.00	58.00	123.00	0.06
								ILO 2a	0.64	0.41	7.00	56.70	120.10	0.06
								ILO 2b	0.65	0.42	7.00	57.00	121.00	0.06
	Promedio	0.82	0.94	46.00	63.80	134.00	0.07		0.66	0.41	7.50	57.35	121.55	0.06
	Desviación estándar	0.08	0.02	0.00	0.28	0.00	0.01		0.02	0.01	0.58	0.60	1.27	0.00
	% cv	9.54	1.77	0.00	0.44	0.00	10.88		3.35	1.46	7.70	1.05	1.04	0.00
27/9/2017	Agua cruda a	0.89	0.69	56.00	65.00	134.00	0.05	ILO 1a	0.74	0.13	< 1.00	60.20	127.40	0.06
	Agua cruda b	0.85	0.68	67.00	67.00	138.00	0.06	ILO 1b	0.74	0.12	< 1.00	61.00	125.00	0.06
								ILO 2a	0.71	0.14	< 1.00	58.00	122.70	0.06
								ILO 2b	0.70	0.15	< 1.00	58.00	122.00	0.06
	Promedio	0.87	0.68	61.50	66.00	136.00	0.06		0.72	0.13	<1.00	59.30	124.28	0.06
	Desviación estándar	0.03	0.01	7.78	1.41	2.83	0.01		0.02	0.01	0.00	1.54	2.45	0.00
	% cv	3.25	0.98	12.65	2.14	2.08	12.86		2.85	8.49	0.00	2.59	1.97	0.00
11/10/2017	Agua cruda a	1.94	2.29	170.00	66.00	125.00	0.05	ILO 1a	0.91	0.54	22.00	53.60	113.40	0.05
	Agua cruda b	1.89	2.27	180.00	68.00	128.00	0.06	ILO 1b	0.95	0.54	23.00	53.60	113.00	0.06
								ILO 2a	0.82	0.27	10.00	63.30	133.80	0.06
								ILO 2b	0.80	0.27	11.00	64.00	134.00	0.06
	Promedio	1.92	2.28	175.00	67.00	126.50	0.06		0.87	0.40	16.50	58.63	123.55	0.06
	Desviación estándar	0.04	0.02	7.07	1.41	2.12	0.01		0.07	0.16	6.95	5.81	11.95	0.01
	% cv	1.85	0.72	4.04	2.11	1.68	12.86		8.24	38.61	42.14	9.91	9.67	8.70
25/10/2017	Agua cruda a	2.18	3.96	187.00	58.70	134.00	0.05	ILO 1a	0.73	0.51	24.00	49.00	103.80	0.05
	Agua cruda b	2.33	3.97	179.00	58.20	136.00	0.05	ILO 1b	0.80	0.51	23.00	49.00	104.80	0.05

Continuación del cuadro anterior.														
25/10/2017								ILO 2a	0.62	0.16	11.00	58.70	123.50	0.06
								ILO 2b	0.63	0.15	12.00	57.00	124.00	0.05
	Promedio	2.26	3.97	183.00	58.45	135.00	0.05		0.70	0.33	17.50	53.43	114.02	0.05
	Desviación estándar	0.10	0.01	5.66	0.35	1.41	0.00		0.09	0.20	6.95	5.16	11.24	0.01
	% cv	4.61	0.26	3.09	0.61	1.05	0.00		12.48	61.34	39.73	9.65	9.86	9.52
8/11/2017	Agua cruda a	0.50	2.84	125.00	55.70	116.00	0.05	ILO 1a	0.23	2.02	56.00	45.70	96.00	0.04
	Agua cruda b	0.50	2.85	130.00	55.30	118.30	0.05	ILO 1b	0.28	2.01	55.00	46.00	97.00	0.05
								ILO 2a	0.38	1.09	38.00	54.60	114.90	0.05
								ILO 2b	0.41	1.07	41.00	55.00	112.50	0.04
	Promedio	0.50	2.85	127.50	55.50	117.15	0.05		0.32	1.55	47.50	50.33	105.10	0.05
	Desviación estándar	0.00	0.00	3.54	0.28	1.63	0.00		0.09	0.54	9.33	5.17	9.99	0.01
	% cv	0.85	0.15	2.77	0.51	1.39	0.00		26.21	34.85	19.64	10.28	9.50	12.83

-Tb: Turbidez –STD: Sólidos Totales Disueltos –Ce: Conductividad eléctrica –Sn: salinidad –%cv: Coeficiente de variación.

Anexo 12. Resultados de análisis fisicoquímicos de San Salvador.

AGUA PREPARADA DE SAN SALVADOR								AGUA FILTRADA DE SAN SALVADOR						
Muestreo	Identificación muestra	As	Pb	Tb	STD	Ce	Sn	Identificación muestra	As	Pb	Tb	STD	Ce	Sn
		mg/l	mg/l	UNT	mg/l	Ms/cm	‰		mg/l	mg/l	UNT	mg/l	Ms/cm	‰
11/5/2017	Agua cruda a	0.743	0.656	2.000	297.000	455.000	0.300	UES 1a	0.009	0.001	1.000	166.20	331.00	0.16
	Agua cruda b	0.722	0.663	2.000	298.000	456.000	0.300	UES 1b	0.009	0.001	1.000	166.00	335.00	0.15
								UES 2a	0.009	0.001	1.000	231.00	458.00	0.23
								UES 2b	0.009	0.001	1.000	231.00	460.00	0.20
	Promedio	0.732	0.660	2.000	297.500	455.500	0.300		0.009	0.001	1.000	198.550	396.000	0.185
	Desviación estándar	0.015	0.005	0.000	0.707	0.707	0.000		0.000	0.000	0.000	37.470	72.769	0.037
	% cv	1.998	0.751	0.000	0.238	0.155	0.000		4.240	0.000	0.000	18.872	18.376	19.98 3
12/6/2017	Agua cruda a	0.733	0.646	2.000	345.000	675.000	0.350	UES 1a	0.108	0.001	1.000	236.00	670.00	0.33
	Agua cruda b	0.732	0.653	2.000	340.000	675.000	0.350	UES 1b	0.103	0.001	1.000	241.00	670.00	0.33
								UES 2a	0.108	0.001	1.000	327.00	672.00	0.33
								UES 2b	0.113	0.001	1.000	320.00	672.00	0.33
	Promedio	0.732	0.650	2.000	342.500	675.000	0.350		0.108	0.001	1.000	281.000	671.000	0.330
	Desviación estándar	0.000	0.005	0.000	3.536	0.000	0.000		0.004	0.000	0.000	49.200	1.155	0.000
	% cv	0.068	0.762	0.000	1.032	0.000	0.000		4.134	0.000	0.000	17.509	0.172	0.000
4/7/2017	Agua cruda a	0.549	0.332	2.000	328.000	674.000	0.330	UES 1a	0.106	0.001	1.000	297.00	611.00	0.30
	Agua cruda b	0.459	0.322	2.000	328.000	674.000	0.330	UES 1b	0.109	0.001	1.000	297.00	610.00	0.30
								UES 2a	0.107	0.001	1.000	305.00	627.00	0.30
								UES 2b	0.103	0.001	1.000	305.00	626.00	0.30
	Promedio	0.504	0.327	2.000	328.000	674.000	0.330		0.106	0.001	1.000	301.000	618.500	0.300
	Desviación estándar	0.064	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000		0.002	0.000	0.000	4.619	9.256	0.000

4/7/2017	Continuación del cuadro anterior.													
	% cv	12.617	2.170	0.000	0.000	0.000	0.000		2.020	0.000	0.000	1.534	1.496	0.000
13/7/2017	Agua cruda a	0.652	0.767	2.000	297.000	611.000	0.300	UES 1a	0.107	0.001	1.000	279.00	575.00	0.28
	Agua cruda b	0.642	0.757	3.000	298.000	610.000	0.300	UES 1b	0.103	0.001	1.000	279.00	575.00	0.28
								UES 2a	0.107	0.001	1.000	281.00	579.00	0.28
								UES 2b	0.109	0.001	1.000	281.00	579.00	0.28
	Promedio	0.647	0.762	2.500	297.500	610.500	0.300		0.107	0.001	1.000	280.000	577.000	0.280
	Desviación estándar	0.007	0.007	0.707	0.707	0.707	0.000		0.003	0.000	0.000	1.155	2.309	0.000
	% cv	1.092	0.946	28.28 4	0.238	0.116	0.000		2.570	0.000	0.000	0.412	0.400	0.000
26/7/2017	Agua cruda a	0.796	0.860	2.000	293.000	603.000	0.290	UES 1a	0.106	0.001	1.000	273.00	563.00	0.27
	Agua cruda b	0.754	0.860	2.000	293.000	603.000	0.290	UES 1b	0.106	0.001	1.000	274.00	564.00	0.27
								UES 2a	0.104	0.001	1.000	283.00	583.00	0.28
								UES 2b	0.108	0.001	1.000	284.00	583.00	0.28
	Promedio	0.775	0.860	2.000	293.000	603.000	0.290		0.106	0.001	1.000	278.500	573.250	0.275
	Desviación estándar	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.002	0.000	0.000	5.802	11.266	0.006
	% cv	3.830	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000		1.562	0.000	0.000	2.083	1.965	2.099
15/8/2017	Agua cruda a	0.826	0.860	2.000	298.000	615.000	0.290	UES 1a	0.105	0.001	1.000	296.00	610.00	0.29
	Agua cruda b	0.843	0.860	2.000	295.000	618.000	0.290	UES 1b	0.107	0.001	1.000	296.00	615.00	0.29
								UES 2a	0.101	0.001	1.000	290.00	597.00	0.29
								UES 2b	0.106	0.001	1.000	290.00	597.00	0.29
	Promedio	0.835	0.860	2.000	296.500	616.500	0.290		0.105	0.001	1.000	293.000	604.750	0.290
	Desviación estándar	0.012	0.000	0.000	2.121	2.121	0.000		0.003	0.000	0.000	3.464	9.179	0.000
	% cv	1.440	0.008	0.000	0.715	0.344	0.000		2.500	0.000	0.000	1.182	1.518	0.000
30/8/2017	Agua cruda a	0.756	0.860	2.000	293.000	603.000	0.290	UES 1a	0.105	0.001	1.000	259.00	535.00	0.26
	Agua cruda b	0.724	0.860	2.000	293.000	603.00	0.290	UES 1b	0.108	0.001	1.000	259.00	538.00	0.26
								UES 2a	0.101	0.002	1.000	267.00	550.00	0.26

Continuación del cuadro anterior.														
30/8/2017								UES 2b	0.104	0.002	1.000	268.00	555.00	0.26
	Promedio	0.740	0.860	2.000	293.000	603.000	0.290		0.105	0.002	1.000	263.250	544.500	0.260
	Desviación estándar	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.003	0.001	0.000	4.924	9.539	0.000
	% cv	3.056	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000		2.737	46.15 4	0.000	1.871	1.752	0.000
13/9/2017	Agua cruda a	0.833	0.843	3.000	303.000	623.000	0.300	UES 1a	0.099	0.001	1.000	277.00	571.00	0.28
	Agua cruda b	0.873	0.821	3.000	304.000	625.000	0.300	UES 1b	0.090	0.001	1.000	276.00	570.00	0.28
								UES 2a	0.102	0.001	1.000	283.00	582.00	0.28
								UES 2b	0.106	0.001	1.000	283.0	584.0	0.28
	Promedio	0.853	0.832	3.000	303.500	624.000	0.300		0.099	0.001	1.000	279.750	576.750	0.280
	Desviación estándar	0.028	0.015	0.000	0.707	1.414	0.000		0.007	0.000	0.000	3.775	7.274	0.000
	% cv	3.318	1.819	0.000	0.233	0.227	0.000		7.185	0.000	0.000	1.349	1.261	0.000
27/9/2017	Agua cruda a	0.954	0.901	2.000	280.000	577.000	0.280	UES 1a	0.081	0.001	1.000	242.00	500.00	0.24
	Agua cruda b	0.957	0.910	2.000	280.000	577.000	0.280	UES 1b	0.080	0.001	1.000	243.00	505.00	0.24
								UES 2a	0.096	0.001	1.000	247.00	509.00	0.24
								UES 2b	0.093	0.001	1.000	247.0	510.00	0.24
	Promedio	0.955	0.906	2.000	280.000	577.000	0.280		0.088	0.001	1.000	244.750	506.000	0.240
	Desviación estándar	0.001	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000		0.008	0.000	0.000	2.630	4.546	0.000
	% cv	0.155	0.732	0.000	0.000	0.000	0.000		9.692	0.000	0.000	1.075	0.898	0.000
11/10/2017	Agua cruda a	1.002	1.095	3.000	310.000	638.000	0.310	UES 1a	0.099	0.001	1.000	271.00	558.00	0.27
	Agua cruda b	1.024	1.102	3.000	315.000	638.000	0.310	UES 1b	0.089	0.001	1.000	275.00	558.00	0.26
								UES 2a	0.097	0.001	1.000	279.00	575.00	0.28
								UES 2b	0.098	0.001	1.000	279.00	576.00	0.28
	Promedio	1.013	1.099	3.000	312.500	638.000	0.310		0.096	0.001	1.000	276.000	566.750	0.273
	Desviación estándar	0.016	0.005	0.000	3.536	0.000	0.000		0.004	0.000	0.000	3.830	10.112	0.010
	% cv	1.536	0.470	0.000	1.131	0.000	0.000		4.633	0.000	0.000	1.388	1.784	3.513

Continuación del cuadro anterior.														
25/10/2017	Agua cruda a	0.878	1.001	2.000	306.000	621.000	0.300	UES 1a	0.098	0.001	1.000	282.00	573.00	0.28
	Agua cruda b	0.885	1.006	2.000	302.000	622.000	0.320	UES 1b	0.085	0.001	1.000	280.00	574.00	0.28
								UES 2a	0.098	0.001	1.000	287.00	581.00	0.29
								UES 2b	0.090	0.001	1.000	287.00	582.00	0.30
	Promedio	0.881	1.003	2.000	304.000	621.500	0.310		0.093	0.001	1.000	284.000	577.500	0.288
	Desviación estándar	0.005	0.004	0.000	2.828	0.707	0.014		0.006	0.000	0.000	3.559	4.655	0.010
	% cv	0.562	0.369	0.000	0.930	0.114	4.562		6.700	0.000	0.000	1.253	0.806	3.330
8/11/2017	Agua cruda a	1.086	1.155	4.000	302.000	611.000	0.300	UES 1a	0.099	0.001	1.000	284.00	571.00	0.28
	Agua cruda b	1.004	1.104	4.000	305.000	610.000	0.300	UES 1b	0.090	0.001	1.000	285.00	572.00	0.28
								UES 2a	0.100	0.001	1.000	293.00	593.00	0.29
								UES 2b	0.095	0.001	1.000	294.00	594.0	0.30
	Promedio	1.045	1.129	4.000	303.500	610.500	0.300		0.096	0.001	1.000	289.000	582.500	0.288
	Desviación estándar	0.058	0.036	0.000	2.121	0.707	0.000		0.005	0.000	0.000	5.228	12.715	0.010
	% cv	5.509	3.162	0.000	0.699	0.116	0.000		4.739	16.44 1	0.000	1.809	2.183	3.330

-Tb: Turbidez –STD: Sólidos Totales Disueltos –Ce: Conductividad eléctrica –Sn: salinidad –%cv: Coeficiente de variación.

Anexo 13. Resultados de turbidez.

Muestreo	Ilobasco				San Salvador		
	Norma (NTU)	TB (NTU)	Tratada (NTU)	Remoción (%)	TB (NTU)	Tratada (NTU)	Remoción (%)
11/5/2017	5.000	59.000	1.500	97.458	2.000	1.000	50.000
12/6/2017	5.000	60.000	6.000	90.000	2.000	1.000	50.000
4/7/2017	5.000	285.000	28.000	90.175	2.000	1.000	50.000
11/7/2017	5.000	285.000	3.500	98.772	2.500	1.000	60.000
26/7/2017	5.000	285.000	18.500	93.509	2.000	1.000	50.000
15/8/2017	5.000	285.000	11.000	96.140	2.000	1.000	50.000
30/8/2017	5.000	36.000	7.000	80.556	2.000	1.000	50.000
13/9/2017	5.000	46.000	7.500	83.696	3.000	1.000	66.667
27/9/2017	5.000	61.500	1.000	98.374	2.000	1.000	50.000
11/10/2017	5.000	175.000	16.500	90.571	3.000	1.000	66.667
25/10/2017	5.000	183.000	17.500	90.437	2.000	1.000	50.000
8/11/2017	5.000	127.500	47.500	62.745	4.000	1.000	75.000
Promedio	5.000	157.333	13.792	89.369	2.375	1.000	55.694

Anexo 14. Transformación logarítmica para Ilobasco y San Salvador.

TRANSFORMACIÓN LOGARÍTMICA PARA ILOBASCO									
Fecha	Coliformes Totales			<i>Escherichia coli</i>			<i>Pseudomona aeruginosa</i>		
	ILO cruda	ILO 01	ILO 02	ILO cruda	ILO 01	ILO 02	ILO cruda	ILO 01	ILO 02
11/5/2017	3.384	2.287	2.352	3.384	1.914	1.544	-	-	-
12/6/2017	3.384	3.080	1.117	3.384	2.812	1.640	3.384	0.491	1.572
4/7/2017	3.384	2.714	3.298	3.384	1.936	1.037	3.384	0.000	0.000
11/7/2017	3.384	3.384	3.384	3.384	0.000	0.000	3.384	0.613	1.391
26/7/2017	3.384	1.772	1.117	3.384	0.491	0.000	3.384	1.170	0.000
15/8/2017	3.384	3.239	2.352	2.069	0.000	0.000	3.384	1.083	0.000
30/8/2017	3.384	2.588	2.132	2.563	0.491	0.799	1.675	0.613	0.000
13/9/2017	3.384	2.488	1.303	2.488	0.000	0.000	3.384	0.000	0.000
27/9/2017	3.384	3.384	3.384	3.049	1.567	1.117	3.384	1.294	3.384
11/10/2017	3.384	3.384	3.384	1.483	1.033	0.000	2.003	0.000	0.000
25/10/2017	3.384	3.384	3.151	1.328	0.301	0.301	0.613	0.716	1.164
8/11/2017	3.384	2.887	1.681	1.762	0.000	0.000	1.328	0.000	0.000
PROMEDIO	3.384	2.882	2.388	2.638	0.879	0.537	2.664	0.544	0.683
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.000	0.525	0.922	0.804	0.960	0.652	1.050	0.497	1.099

TRANSFORMACIÓN LOGARÍTMICA PARA SAN SALVADOR									
Fecha	Coliformes Totales			<i>Escherichia coli</i>			<i>Pseudomona aeruginosa</i>		
	UES	UES 01	UES 02	UES	UES 01	UES 02	UES	UES 01	UES 02
4/7/2017	1.170	1.550	1.970	0.000	0.301	0.000	0.000	0.000	0.000
11/7/2017	1.204	0.000	1.164	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26/7/2017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15/8/2017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30/8/2017	0.799	2.254	2.912	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13/9/2017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
27/9/2017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11/10/2017	0.613	1.338	0.716	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25/10/2017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8/11/2017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Promedio	0.379	0.514	0.676	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000
Desviación estándar	0.516	0.858	1.036	0.000	0.095	0.000	0.000	0.000	0.000

Anexo 15. Prueba t de Student para datos microbiológicos.

Comparación de resultados del Agua cruda de Ilobasco con el filtro 01 (ILO 01) para Coliformes Totales.

Nueva tabla : 8/12/2017 - 5:58:13 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	DE(dif)	T	Bilateral
ILO CT	ILO 01 CT	12	0.50	0.52	3.30	0.0071

Comparación de Agua cruda de Ilobasco con el filtro 02 (ILO 02) para resultados de Coliformes Totales.

Nueva tabla : 8/12/2017 - 6:22:55 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	DE(dif)	T	Bilateral
ILO CT	ILO 02 CT	12	0.99	0.92	3.74	0.0033

Comparación de resultados del Agua cruda de Ilobasco con el filtro 01 (ILO 01 EC) para *E. coli*.

Nueva tabla : 8/12/2017 - 6:24:11 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	DE(dif)	T	Bilateral
ILO EC	ILO 01 EC	12	1.76	0.88	6.91	<0.0001

Comparación de resultados del Agua cruda de Ilobasco con el filtro 02 (ILO 02 EC) para *E. coli*.

Nueva tabla : 8/12/2017 - 6:25:33 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
ILO EC	ILO 02 EC	12	2.10	0.71	10.31	<0.0001

Comparación de resultados del Agua cruda de Ilobasco con el filtro 01 (ILO 01 PA) para *P. aeruginosa*.

Nueva tabla : 8/12/2017 - 6:26:27 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
ILO PA	ILO 01 PA	11	2.12	1.05	6.71	0.0001

Comparación de resultados del Agua cruda de Ilobasco con el filtro 01 (ILO 01 PA) para *P. aeruginosa*.

Nueva tabla : 8/12/2017 - 6:27:37 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
ILO PA	ILO 02 PA	11	1.98	1.37	4.80	0.0007

Comparación de Norma con resultados de *E. coli* en agua cruda de Ilobasco.

Nueva tabla : 8/12/2017 - 6:55:26 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA	ILO EC	12	-2.60	0.80	-11.20	<0.0001

Comparación de Norma con resultados de *P. aeruginosa* en agua cruda de Ilobasco.

Nueva tabla : 8/12/2017 - 6:58:46 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA PA	ILO PA	11	-2.62	1.05	-8.28	<0.0001

Comparación de Norma con resultados de Coliformes Totales en filtro 01 (ILO 01 CT).

Nueva tabla : 8/12/2017 - 6:30:04 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA	ILO 01 CT	12	-2.84	0.52	-18.80	<0.0001

Comparación de Norma con resultados de Coliformes Totales en filtro 02 (ILO 02 CT).

Nueva tabla : 8/12/2017 - 6:53:19 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA	ILO 02 CT	12	-2.35	0.92	-8.82	<0.0001

Comparación del límite permisible de la Norma para *E. coli* con resultados del filtro 01 (ILO 01 EC).

Nueva tabla : 8/12/2017 - 6:56:48 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA	ILO 01 EC	12	-0.84	0.96	-3.02	0.0116

Comparación del límite permisible de la Norma para *E. coli* con resultados del filtro 02 (ILO 02 EC).

Nueva tabla : 8/12/2017 - 6:58:04 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs (1)</u>	<u>Obs (2)</u>	<u>N</u>	<u>media (dif)</u>	<u>DE (dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA	ILO 02 EC	12	-0.50	0.65	-2.64	0.0230

Comparación del límite permisible de la Norma para *P. aeruginosa* con resultados del filtro 01 (ILO 01 PA).

Nueva tabla : 8/12/2017 - 7:02:06 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs (1)</u>	<u>Obs (2)</u>	<u>N</u>	<u>media (dif)</u>	<u>DE (dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA PA	ILO 01 PA	11	-0.50	0.50	-3.36	0.0072

Comparación del límite permisible de la Norma para *P. aeruginosa* con resultados del filtro 02 (ILO 02 PA).

Nueva tabla : 8/12/2017 - 7:04:28 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs (1)</u>	<u>Obs (2)</u>	<u>N</u>	<u>media (dif)</u>	<u>DE (dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA PA	ILO 02 PA	11	-0.64	1.10	-1.94	0.0812

Comparación del límite permisible de la Norma para Coliformes con el agua preparada de San Salvador (UES CT).

Nueva tabla : 8/12/2017 - 7:07:37 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs (1)</u>	<u>Obs (2)</u>	<u>N</u>	<u>media (dif)</u>	<u>DE (dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
Norma	UES CT	9	-0.38	0.53	-2.16	0.0630

Comparación del agua preparada de San Salvador (UES CT) con el filtro 01 de San Salvador (UES 01) respecto a resultados de Coliformes Totales.

Nueva tabla_1 : 8/12/2017 - 7:18:01 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
UES CT	UES 01 CT	10	-0.14	0.67	-0.64	0.5388

Comparación del agua preparada de San Salvador (UES CT) con el filtro 02 de San Salvador (UES 02) respecto a resultados de Coliformes Totales.

Nueva tabla_1 : 8/12/2017 - 7:20:59 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
UES CT	UES 02 CT	10	-0.30	0.69	-1.37	0.2031

Anexo 16. Prueba t de Student para datos de análisis químicos.

Comparación del límite permisible de la Norma respecto a Arsénico con el agua preparada de San Salvador (UES As).

Nueva tabla_1 : 8/12/2017 - 7:23:28 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA As	UES As	12	-0.80	0.15	-17.86	<0.0001

Comparación del límite permisible de la Norma respecto a Plomo con el agua preparada de San Salvador (UES Pb).

C:\Users\Sarahí Rodríguez\Desktop\FQ TESIS.IDB2 : 8/12/2017 - 8:38:15 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA Pb	UES Pb	12	-0.82	0.22	-13.06	<0.0001

Comparación del límite permisible de la Norma respecto a Manganeso con el agua cruda de Ilobasco (ILO Mn).

C:\Users\Sarahí Rodríguez\Desktop\FQ TESIS.IDB2 : 8/12/2017 - 8:39:35 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA Mn	ILO Mn	12	-3.26	2.66	-4.25	0.0014

Comparación del límite permisible de la Norma respecto a Hierro con el agua cruda de Ilobasco (ILO Fe).

C:\Users\Sarahí Rodríguez\Desktop\FQ TESIS.IDB2 : 8/12/2017 - 8:40:54 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA Fe	ILO Fe	12	-2.22	1.37	-5.63	0.0002

Comparación de la Norma con los resultados de Arsénico del agua tratada de San Salvador (UES As TRA).

C:\Users\Sarahí Rodríguez\Desktop\FQ TESIS.IDB2 : 8/12/2017 - 8:42:41 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA As	UES As TRA	12	-0.08	0.03	-10.56	<0.0001

Comparación de la Norma con los resultados de Plomo del agua tratada de San Salvador (UES Pb TRA).

C:\Users\Sarahí Rodríguez\Desktop\FQ TESIS.IDB2 : 8/12/2017 - 8:43:47 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA Pb	UES Pb TRA	12	0.01	2.9E-04	107.00	<0.0001

Comparación de la Norma con los resultados de Manganeso en el agua tratada de Ilobasco (ILO Mn TRA).

C:\Users\Sarahí Rodríguez\Desktop\FQ TESIS.IDB2 : 8/12/2017 - 8:44:59 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA Mn	ILO Mn TRA	12	-0.78	0.39	-6.82	<0.0001

Comparación de la Norma con resultados de Hierro en el agua tratada de Ilobasco (ILO Fe TRA).

C:\Users\Sarahí Rodríguez\Desktop\FQ TESIS.IDB2 : 8/12/2017 - 8:46:36 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA Fe	ILO Fe TRA	12	-0.05	0.42	-0.39	0.7055

Comparación de resultados de Arsénico del agua preparada de San Salvador con agua tratada (UES As TRA).

C:\Users\Sarahí Rodríguez\Desktop\FQ TESIS.IDB2 : 8/12/2017 - 8:47:53 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
UES As	UES As TRA	12	0.72	0.16	15.71	<0.0001

Comparación de resultados de Plomo del agua preparada de San Salvador con agua tratada (UES Pb TRA).

C:\Users\Sarahí Rodríguez\Desktop\FQ TESIS.IDB2 : 8/12/2017 - 8:48:48 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
UES Pb	UES Pb TRA	12	0.83	0.22	13.20	<0.0001

Comparación de resultados de Manganeso en el agua cruda de Ilobasco y agua tratada (ILO Mn TRA).

C:\Users\Sarahí Rodríguez\Desktop\FQ TESIS.IDB2 : 8/12/2017 - 8:51:41 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
ILO Mn	ILO Mn TRA	12	2.49	2.65	3.25	0.0077

Comparación de resultados de Hierro en el agua cruda de Ilobasco y agua tratada (ILO Fe TRA).

C:\Users\Sarahí Rodríguez\Desktop\FQ TESIS.IDB2 : 8/12/2017 - 8:52:34 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
ILO Fe	ILO Fe TRA	12	2.17	1.40	5.37	0.0002

Anexo 17. Prueba t de Student para resultados de turbidez.

Comparación del límite permisible de la Norma con resultados de Ilobasco (TB ILO).

C:\Users\Sarahí Rodríguez\Desktop\TB.IDB2 : 17/12/2017 - 6:57:21 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA TB	TB ILO	12	-152.33	105.53	-5.00	0.0004

Comparación de resultados de agua cruda de Ilobasco (TB ILO) con el agua tratada (TB ILO TRA).

C:\Users\Sarahí Rodríguez\Desktop\TB.IDB2 : 17/12/2017 - 6:59:44 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
TB ILO	TB ILO TRA	12	143.54	102.36	4.86	0.0005

Comparación de límite permisible de la Norma con resultados de agua tratada de Ilobasco (TB ILO TRA).

C:\Users\Sarahí Rodríguez\Desktop\TB.IDB2 : 17/12/2017 - 7:01:08 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA TB	TB ILO TRA	12	-8.79	13.34	-2.28	0.0433

Comparación del límite permisible de la Norma con resultados del agua filtrada (TB UES TRA).

C:\Users\Sarahí Rodríguez\Desktop\TB.IDB2 : 17/12/2017 - 7:02:25 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media(dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
NORMA TB	TB UES	12	2.63	0.64	14.12	<0.0001

Comparación de agua preparada de San Salvador (TB UES) con resultados del agua filtrada (TB UES TRA).

C:\Users\Sarahí Rodríguez\Desktop\TB.IDB2 : 17/12/2017 - 7:03:33 p. m. - [Versión : 11/9/2017]

Prueba T (muestras apareadas)

<u>Obs(1)</u>	<u>Obs(2)</u>	<u>N</u>	<u>media (dif)</u>	<u>DE(dif)</u>	<u>T</u>	<u>Bilateral</u>
TB UES	TB UES TRA	12	1.38	0.64	7.40	<0.0001