Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial

(nombre del programa universitario de investigación de la Digi)

Evaluación de biocarbón de bambú (*Dendrocalamus asper*), en elementos filtrantes de cerámica para tratamiento de agua de consumo humano

nombre del proyecto de investigación

DES5-2021

código del proyecto de investigación

Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC

unidad académica o centro no adscrito a unidad académica avaladora

Ing. Mauricio Valentino Rivera Tello
Inga. Vera Lucia Tatuaca Rosales

nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por Digi

Guatemala, 25 de noviembre del 2021

lugar y fecha de presentación del informe final

Contraportada

Autoridades

Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Pérez
Coordinador General de Programas

Inga. Liuba María Cabrera Ovalle de Villagrán
Coordinadora del Programa de Investigación

Autores

Ing. Mauricio Valentino Rivera Tello
Coordinador del proyecto

Inga. Vera Lucia Tatuaca Rosales

Colaboradores:
Ing. Fredy A. Contreras, Centro de Investigaciones de Ingeniería USAC
Jesiel S. Enríquez, Centro de Investigaciones de Ingeniería USAC

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2021. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de del código DES5-2021 en el Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.

FORMATO DE INFORME FINAL

1 Índice general

1 Índice general (incluir índice de tablas y figuras) 3
2 Resumen y palabras claves 5
3 Introducción 6
4 Planteamiento del problema 8
5 Delimitación en tiempo y espacio 10
5.1 Delimitación en tiempo 10
5.2 Delimitación espacial 10
6 Marco teórico 10
7 Estado del arte 20
8 Objetivos 23
8.1 General 23
8.2 Específicos 23
9 Hipótesis 23
10 Materiales y métodos 24
11. Resultados y discusión 36
11.1 Resultados: 36
11.2 **Discusión de resultados:** 45
12. Referencias 52
13. Apéndice 56
14. Aspectos éticos y legales 87
15. Vinculación 88
16. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual 88
17. Aporte de la propuesta de investigación a los ODS: 89

18. Orden de pago final.....92

19. Declaración del coordinador(a) del proyecto de investigación 92

20. Aval de la directora del centro de investigación 93

21. Visado de la Dirección General de Investigación.....93

Índice de ilustraciones

Figura No. 1 Casos de enfermedades transmitidas por agua y/o alimentos contaminados. 11
Figura No. 2 Principales causas de morbilidad general, año 2019. 11
Figura No. 3 Distribución porcentual de los hogares según su principal fuente para consumo del hogar. ……12
Figura No. 4 Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano ……13
Figura No. 5 Características químicas para el agua potable. 13
Figura No. 6 Parámetros microbiológicos para el agua potable. 14
Figura No. 7 Tipo de tratamiento que le dan al agua para beber. 15
Figura No. 8 Filtros disponibles en el mercado 19
Figura No. 9 Resultados de la prueba de potencial de hidrogeno a las unidades filtrantes y filtro comercial ……38
Figura No. 10 Resultados de la prueba de Conductividad de las unidades filtrantes y filtro comercial ……38
Figura No. 11 Resultados de la prueba de Solidos Disueltos a las unidades filtrantes y filtro comercial ……39
Figura No. 12 Resultados de la prueba de Salinidad a las unidades filtrantes y filtro comercial 39
Figura No. 13 Resultados de la prueba de Dureza de las unidades filtrantes y filtro comercial . 40
Figura No. 14 Resultados de la prueba de Fosfatos a las unidades filtrantes y filtro comercial . 40
Figura No. 15 Resultados de la prueba de Alcalinidad a las unidades filtrantes y filtro comercial ……41
Figura No. 16 Resultados de la prueba de Cloro libre a las unidades filtrantes y filtro comercial ……41
Figura No. 17 Resultados de la prueba de Cloro total a las unidades filtrantes y filtro comercial 42
Figura No. 18 Resultados de la prueba Microbiológica de E. Coli a las unidades filtrantes y filtro comercial ……42
Figura No. 19 Resultados de la prueba Microbiológica de Coliformes totales a las unidades filtrantes y filtro comercial..... 43
Figura No. 20 Resultados de la prueba Microbiológica de Enterobacterias a las unidades filtrantes y filtro comercial..... 43

Tablas

Tabla. 2 Parámetros en la elaboración de las unidades filtrantes 28
Tabla. 2 Constitución de los elementos de ensayo. 32
Tabla. 3 Operacionalización de las variables o unidades de análisis 33
Tabla. 4 Codificación de las unidades filtrantes 36
Tabla. 5 Caracterización física de las unidades filtrantes fabricadas a partir de desechos del laminado de bambú 37
Tabla. 6 Análisis de la influencia de la formulación sobre las propiedades de las unidades filtrantes análisis ANOVA 44
Tabla. 7 Análisis de la influencia del diámetro de partícula sobre las propiedades de las unidades filtrantes análisis ANOVA 44
Tabla. 8 Análisis de la influencia del recubrimiento de plata coloidal sobre las propiedades de las unidades filtrantes análisis ANOVA 45

2 Resumen y palabras claves

Se buscó fabricar elementos constituidos de arcilla y biocarbon de bambú de la especie *Dendrocalamus asper* para fabricar elementos filtrantes que puedan ser utilizados para construir un filtro de agua que cumpla con los parámetros de calidad de agua para el consumo humano.

Se tuvo como objetivo estudiar el efecto de la variación del diámetro de partícula de la arcilla y de la fibras de bambú sobre las capacidades filtrantes del material, se evaluaron tres tipos de formulaciones con la arcilla y bambú y como afecta las propiedades fisicoquímicas del agua, y el efecto que puede tener el nitrato de plata sobre las propiedades desinfectantes o bactericidas del material sobre el agua con el objetico de poder desarrollar un filtro de agua que cumpla con los requerimientos de la norma Coguanor sobre el agua potable. El agua que pasó sobre los elementos filtrantes fue evaluada para determinar el contenido de cloro, fosfatos, alcalinidad, pH, dureza, y se comparó con los mismos parámetros del agua de entrada al filtro y se determinó el efecto que tiene sobre estos parámetros, se evaluó también el contenido microbiológico del agua de entrada y el agua que sale a través del elemento filtrante y se determinó el efecto del elemento con nitrato de plata a 3 diferentes concentraciones mezclada con la arcilla antes de meterla al horno, con estos resultados se construyó un filtro de agua y se evaluó la capacidad de filtración en función del tiempo.

Palabras clave: calidad, microbiológico, filtro, salud, ambiente

Abstract and keyword

It was sought to manufacture elements made of clay and bamboo biocarbon of the Dendrocalamus asper species to manufacture filter elements that can be used to build a water filter that meets the parameters of water quality for human consumption.

The objective was to study the effect of the variation of the particle diameter of clay and bamboo fibers on the filtering capacities of the material, three types of formulations with clay and bamboo were evaluated and how it affects the physicochemical properties of water. and the effect that silver nitrate can have on the disinfectant or bactericidal properties of the material on water in order to develop a water filter that meets the requirements of the Coguanor standard for drinking water. The water that passed over the filter elements was evaluated to determine the content of chlorine, phosphates, alkalinity, pH, hardness, and it was compared with the same parameters of the water entering the filter and the effect it has on these parameters was determined. also evaluated the microbiological content of the inlet water and the water that comes out through the filter element and the effect of the element was determined with silver nitrate at 3 different concentrations mixed with the clay before putting it in the oven, with these results a water filter and the filtration capacity was evaluated as a function of time.

Keywords: quality, microbiological, filter, health, environment

3 Introducción

A pesar que Guatemala cuenta con las condiciones naturales favorables que le permiten disponer de abundante agua para las personas, el ambiente y la productividad económica, uno de los problemas más graves a los que se enfrenta la población, sobre todo la de escasos recursos es el acceso al agua potable.

Según la Organización Panamericana de la salud, OPS por sus siglas, de los 97 mil millones de m^3 de agua producida en el país, solo 10% es aprovechada, siendo uno de los inconvenientes más grandes la cobertura de este servicio, teniendo un déficit de 76.7% para la zona urbana y 83% en la zona rural. En cuanto a la calidad de esta agua, para el año 2013 al menos 40% del

agua disponible recibía desinfección en las áreas urbanas mientras que en las zonas rurales el agua es captada directamente de ríos y otros cuerpos de agua y distribuida sin tratamiento alguno. Lo anterior produce una alta incidencia en enfermedades gastrointestinales, representando una de las 5 causas más importantes de morbilidad y mortalidad en el país. Estos factores se ven muy influenciados por eventos externos tal como la crisis económica y el cambio climático. (PAHO y WHO, 2015) se estima que la décima parte de enfermedades bacterianas y virales ocasionadas por agentes infecciosos transportados al ser humano provienen del consumo de agua no apta y que podrían prevenirse al realizar procesos adecuados de tratamiento, abastecimiento, saneamiento, higiene y gestión de los recursos hídricos. la cloración del agua no elimina parásitos y para su aplicación se deben realizar estudio sobre su viabilidad y efectividad como causantes de enfermedades gastrointestinales (Mendoza, 2019).

A nivel mundial se han desarrollado un sin número de técnicas para poder purificar agua con tecnologías sencillas, prácticas y de fácil acceso. Una de estas tecnologías es el filtro de cerámica porosa cuyo concepto se remonta a épocas precolombinas. El filtro de cerámica moderno se basa en una mezcla de arcilla, carbón activado y plata coloidal como medio de desinfección microbiológica y, aunque se conoce desde 1930, fue en 1981 que fue perfeccionado y patentado por el Lic. Fernando Mazariegos y la Licda. Julia Amado, ambos científicos pertenecientes al entonces Instituto Centroamericano de Tecnología Industrial (Cartagena, 2001). En la actualidad se comercializa a nivel centroamericano con la marca ECOFILTRO y es utilizado en diferentes proyectos de proyección social por organizaciones internacionales como Ceramistas por la Paz (Potters for peace,2010).

A pesar de que se han hecho algunos estudios comprobando el buen desempeño del filtro a base de cerámica porosa, todavía no son eficientes en la remoción de contaminantes químicos tales como fosfatos, sulfatos y nitratos, presentes en el agua y que provienen del uso de algunos productos agroquímicos (Yakub, 2012). Este problema podría resolverse investigando más sobre las propiedades adsorbentes del carbón activado que es uno de los componentes de la formulación de la cerámica del filtro. Otro problema que se presenta con los filtros lo constituye la pobre retención de la plata coloidal en el material cerámico ((Jackson & Smith, 2018). Esto

representa dos importantes problemas de funcionamiento, el primero es la disminución de la vida útil del filtro, el segundo problema es el nivel de plata presente en el agua filtrada. En el presente proyecto de investigación se propone el mejoramiento de la capacidad adsorbente del carbón activado, utilizando fibras naturales de bambú, el cual es un material que presenta una muy buena capacidad de adsorción (Aguilar, García, & Wasserman, 2008), es de bajo costo y muy disponible en el país. Otro parámetro a investigar es el tamaño de partícula, esto debido a que este parámetro influye directamente en la porosidad del medio filtrante. El agente desinfectante que se utiliza comúnmente está presente en una fina película de plata coloidal. Esta película se aplica al filtro cerámico después del horneado. La plata coloidal presenta varios inconvenientes entre ellos la retención en el elemento cerámico, el costo y la disponibilidad. Se ha reportado en investigaciones ((Jackson & Smith, 2018) un muy buen desempeño del nitrato de plata como sustituto de la plata coloidal en filtros de cerámica porosa para tratamiento de agua en el punto de uso. Con el objetivo de obtener un elemento filtrante con características mejoradas, se evaluará el efecto de la cantidad de nitrato de plata en la formulación de la cerámica del filtro sobre el poder de desinfección del mismo. Por último, se construirá un prototipo de filtro para evaluar el funcionamiento y la posible comercialización del mismo.

4 Planteamiento del problema

¿Qué efecto tienen tanto las fibras naturales de bambú como el nitrato de plata en la formulación de la cerámica de un filtro poroso para agua, sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua filtrada?

Las fibras naturales de bambú presentan una alternativa viable y económica para gran potencial como materia prima para la obtención de carbón activado con un alto poder de adsorción (Aguilar, García, & Wasserman, 2008). Lo anterior le otorga al bambú un buen potencial como material constituyente y una alternativa a la utilización del aserrín de madera en la formulación de filtros de cerámica porosa. Sin embargo, se desconoce cómo afectará el desempeño del filtro ya que sus fibras no solo son las encargadas de adsorber los olores y colores del agua a tratar, sino que también juega un papel fundamental en la formación de los poros del filtro, así como en la resistencia mecánica del mismo (Yakub, 2012). Por otra parte, se ha reportado en la

literatura que la utilización del nitrato de plata representa ventajas tanto económicas como operacionales sobre la plata coloidal, misma que se ha estado utilizando como medio de desinfección desde hace algún tiempo (Jackson & Smith, 2018).

¿Por qué utilizar fibras naturales de bambú y nitrato de plata en la formulación de la cerámica de un filtro poroso para gua?

Al incluir las fibras naturales de bambú en la formulación del filtro de cerámica porosa se brindará una alternativa para la utilización de los residuos provenientes de esta agroindustria. Por otra parte, el usar nitrato de plata como parte de la formulación del filtro representa una alternativa económica a la utilización de la plata coloidal como medio desinfectante. Se ha reportado en la literatura que el nitrato de plata alarga la vida útil del filtro y disminuye la presencia de iones plata en el agua filtrada ((Jackson & Smith, 2018).

¿Para qué un filtro de cerámica porosa con fibras naturales de bambú y nitrato de plata en la formulación?

A pesar que Guatemala produce una gran cantidad de agua (PAHO y WHO, 2015) el acceso al agua potable es muy limitado además existen problemas por la contaminación hídrica, lo que deriva en enfermedades por un inadecuado saneamiento de las fuentes de agua. El impacto de la falta de servicios de agua potable y saneamiento recae, principalmente, sobre los sectores con mayor pobreza y establece un vínculo entre la falta de dichos servicios y las dimensiones de la pobreza, salud, educación, género e inclusión social, el ingreso y el consumo. Una de las tecnologías con más éxito para lograr el acceso de la población rural al agua potable por medio de programas sociales lo constituye el filtro cerámico poroso (Potters for peace, 2010). A pesar de este tipo de filtro ha funcionado comercialmente desde la década de 1980 con un éxito razonable, el diseño es susceptible de ser mejorado tanto en aspectos técnicos, como en aspectos económicos. Lo anterior podría resultar en un producto con mayor alcance dentro de la población con problemas de acceso al agua potable.

5 Delimitación en tiempo y espacio

5.1 Delimitación en tiempo

La presente investigación tuvo una duración de 10 meses, inició el 2 de febrero de 2021, y finalizó el 30 de noviembre de 2021.

5.2 Delimitación espacial

Sección de Tecnología de la Madera Centro de Investigaciones de Ingeniería Campus Central, Ciudad Universitaria zona 12, Universidad de San Carlos de Guatemala.

6 Marco teórico

Agua para consumo humano

El agua ha sido uno de los elementos importantes para la existencia de todas las entidades vivientes en el mundo, la misma se encuentra en los mares, ríos quebradas, manantiales, lluvias y otros espacios dentro del globo terráqueo (Willmer, 2017) El agua para consumo humano ha sido definida en las Guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS), como aquella "adecuada para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal".

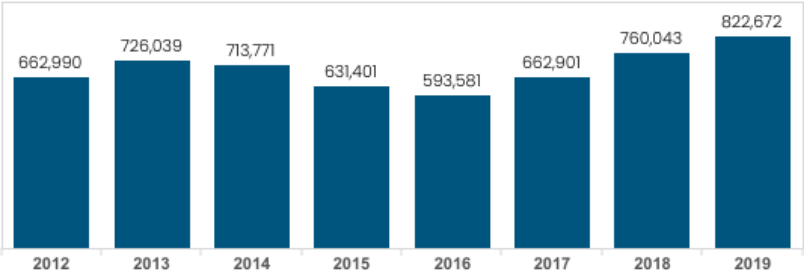
El agua es un recurso vital e imprescindible en el ser humano, pero también es el vehículo de muchas enfermedades que a su vez están afectadas por las faltas de acceso y saneamiento, causadas por presencia de baterías, virus, protozoarios y helmintos, con síntomas que van de ligeras gastroenteritis hasta enfermedades graves y fatales de carácter epidémico, en la que la población más afectada son los menores de cinco años según Ministerio de salud pública y asistencia social 2018 protocolo de vigilancia epidemiológica enfermedades transmitidas por el agua y alimentos.

Enfermedades asociadas por la contaminación del agua

En la lista de agentes transmitidos por el agua que constituyen un problema mundial y que pueden producir efectos adversos a la salud. Entre los agentes microbiológicos están las bacterias, como el Vibrio cholerae, Salmonella y Shigella; los virus, como el de la hepatitis A y E; y los protozoos como la Giardia y el Cryptosporidium. Entre los agentes químicos están los componentes inorgánicos, como nitratos, flúor y arsénico; metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio; y

los componentes orgánicos como las sustancias de uso industrial, los agros tóxicos y los productos secundarios de la desinfección Ministerio de salud pública y asistencia social 2018 protocolo de vigilancia epidemiológica enfermedades transmitidas por el agua y alimentos.

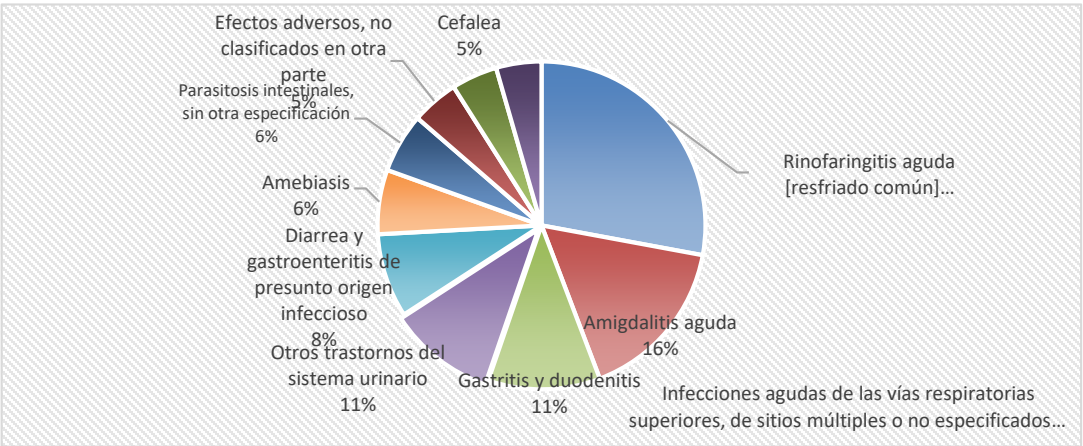
Figura No. 1 Casos de enfermedades transmitidas por agua y/o alimentos contaminados.



Fuente: SIGSA.

Datos del Sistema de Información Gerencial en Salud (SIGSA), indican que, durante el año 2019, los eventos que ocupan el mayor número de primeras consultas por morbilidad en la mayoría de los casos estas enfermedades son prevenibles, a través de mejorar lo relacionado con la higiene, el hacinamiento, el agua limpia y segura y los servicios de saneamiento, entre otros. Los servicios de abastecimiento de agua, el saneamiento y la higiene contribuyen a la reducción en la frecuencia de la enfermedad diarreica. Como se aprecia en la Figura 2, de las 10 principales causas de morbilidad en la población guatemalteca, un 18% son derivadas de la calidad del agua, expresadas como afecciones gastrointestinales, el 8% es por diarrea y gastroenteritis, 6% de parasitosis intestinal, 6% amebiasis y un 3% de infección intestinal bacteriana.

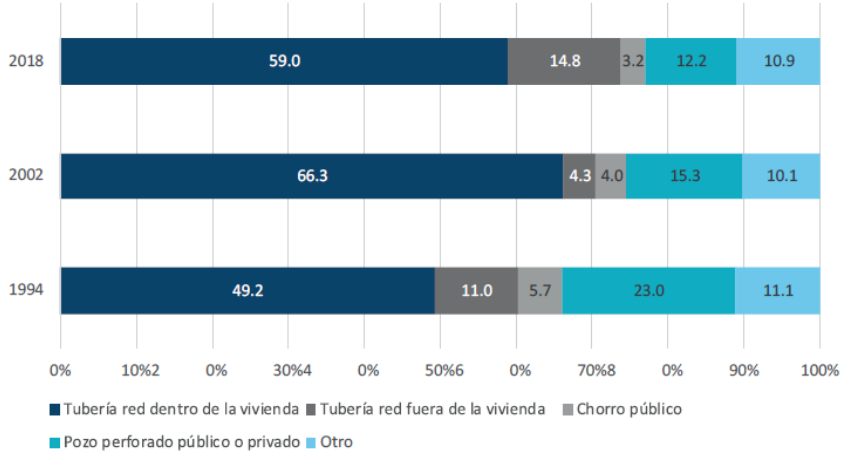
Figura No. 2 Principales causas de morbilidad general, año 2019.



Acceso al Agua en Guatemala

Guatemala cuenta con las condiciones naturales favorables que le permiten disponer de abundante agua para las personas, el ambiente y la productividad económica; Sin embargo durante el último censo realizado en Guatemala, en el año 2018, se recolectaron los siguientes datos de la población en materia del acceso de agua: El 59.0 % de los hogares obtuvo el agua para consumo por tubería red dentro de la vivienda y 14.8 % por tubería red fuera de la vivienda, pero en el terreno; el 3.2 % señaló como fuente de agua chorro público; el 12.2 % la consiguió a través de pozo perforado público o privado; y 10.9 % de los hogares lo hizo por otro medio, como agua de lluvia, de un río, lago, manantial o nacimiento, de camión o tonel u otra fuente según el instituto nacional de estadística.

Figura No. 3 Distribución porcentual de los hogares según su principal fuente para consumo del hogar.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística.

Estos resultados están descritos en el informe del Instituto Nacional de Estadística de Guatemala (INE), en el cual se puede categorizar de manera porcentual que el consumo de agua para el hogar se establece de la siguiente manera:

La Norma Técnica Guatemalteca (NTG 29001)

es aplicable en todo el territorio Nacional y toma a consideración las redes de distribución municipales y privados. En él se incluye todo lo relativo a la prevención y control de la

contaminación de las aguas. El agua debe garantizar que no es un transmisor de enfermedades por lo cual es necesario establecer parámetros y su LMP (límites máximos permisibles), para evaluar de manera previa a su consumo y conocer la calidad del agua que se está distribuyendo. A continuación, se muestran los parámetros físicos y químicos según la Norma:

Figura No. 4 Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano

Características	LMA	LMP
Color	5,0 u	35,0 u [(a)]
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT [(b)]
Conductividad eléctrica	750 µS/cm	1500 µS/cm [(d)]
Potencial de hidrógeno	7,0-7,5	6,5-8,5 [(c) (d)]
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L

(a) Unidades de color en la escala de platino-cobalto
(b) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).
(c) En unidades de pH
(d) Límites establecidos a una temperatura de 25°C.

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca 29001.

Figura No. 5 Características químicas para el agua potable.

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Cloro residual libre[(a)]	0,5	1,0
Cloruro (Cl^-)	100,0	250,0
Dureza Total ($CaCO_3$)	100,0	500,0
Sulfato ($S0_4^{--}$)	100,0	250,0
Aluminio (Al)	0,050	0,100
Calcio (Ca)	75,0	150,0
Cinc (Zn)	3,0	70,0
Cobre (Cu)	0,050	1,500
Magnesio (Mg)	50,0	100,0
Manganeso total (Mn)	0,1	0,4
Hierro total (Fe) [(b)]	0,3	-----

a) El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social será el ente encargado de indicar los límites mínimos y máximos de cloro residual libre según sea necesario o en caso de emergencia.
b) No se incluye el LMP porque la OMS establece que no es un riesgo para la salud del consumidor a las concentraciones normales en el agua para consumo humano, sin embargo el gusto y apariencia del agua pueden verse afectados a concentraciones superiores al LMA.

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca 29001.

Figura No. 6 Parámetros microbiológicos para el agua potable.

Microorganismos	Límite Máximo Permisible
Agua para consumo directo Coliformes totales *y E. coli*	No deben ser detectables en 100mL de agua
Agua tratada que entra al sistema de distribución Coliformes totales *y E. coli*	No deben ser detectables en 100mL de agua
Agua tratada en el sistema de distribución Coliformes totales *y E. coli*	No deben ser detectables en 100mL de agua

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca 29001.

Cuando se encuentre una anormalidad en los anteriores parámetros, se deberá establecer las acciones correctivas necesarias y realizar las pruebas pertinentes para la comprobación de las mismas.

Calidad del Agua en Guatemala

El Ministerio de Salud y Asistencia Social (MSPAS), a través del Sistema de Atención en Salud (SIAS), cuenta con un cuerpo de inspectores que entre otras tareas realizan el control de calidad de agua suministrada. Sin embargo, la escasez de los recursos y la débil capacidad de sanción han llevado a que el sistema prácticamente carezca de efectividad.

En algunas zonas del país, se tienen marcadas deficiencias hídricas, en especial para el abastecimiento de agua potable de los principales centros urbanos, lo que motiva a conflictos con el riego de las regiones del altiplano y en las áreas costeras entre los grandes y pequeños usuarios del riego que utilizan una misma fuente.

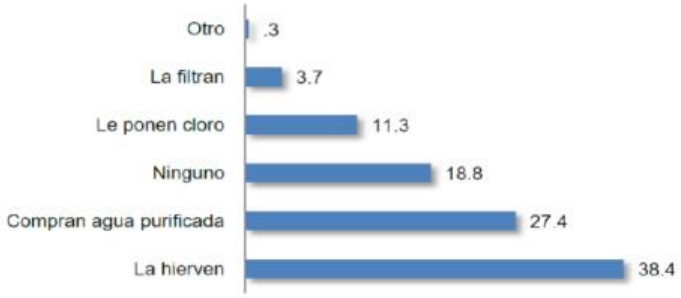
La provisión de los servicios de agua por red y saneamiento en Guatemala es descentralizada bajo la responsabilidad de los municipios. Cada uno de ellos ha establecido su propia forma de gestión de los servicios. Algunos de ellos se han asociado o han constituido mancomunidades para operar respectivos servicios de manera conjunta. Esto provoca un déficit en el control y seguimiento de la calidad de las aguas nacionales al no disponer de datos precisos sobre niveles y tipos de contaminación, impacto ambiental ni control de químicos de las diversas actividades industriales.

El Código de Salud, además, en el Artículo 78, establece que el Estado, a través del MSPAS, en coordinación con el INFOM y otras instituciones del sector, debe impulsar una Política prioritaria y de necesidad pública, que garantice el acceso y cobertura universal de la población a los servicios de agua potable. De igual manera, en el artículo 93 se indica que el MSPAS, de manera conjunta con las instituciones del Sector, las Municipalidades y la comunidad organizada, promoverá la cobertura universal de la población a servicios para la disposición final de excretas, la conducción y tratamiento de aguas residuales y fomentará acciones de educación sanitaria para el correcto uso de las mismas.

Las aguas procedentes de los ríos, necesitan un tratamiento complejo y caro antes de ser suministradas a los consumidores, debido a que las precipitaciones traen cantidades apreciables de materia sólida a la tierra como el polvo, polen, bacterias, esporas, e incluso, organismos mayores.
La población que accede a agua entubada no tiene una garantía de consumir agua potable. De 18,800 sistemas de provisión de agua entubada muestreados en un programa de vigilancia de calidad del agua en 2009, más de la mitad no tuvieron un nivel adecuado de cloro y la cuarta parte presentó contaminación bacteriológica.

La baja calidad en el agua conlleva que las familias realicen acciones complementarias para suplir esta carencia, en el año 2014, según ENCOVI, el 38,4% hierve el agua, 27,4 compra agua purificada, el 11,3% le coloca cloro, 3,7% la filtra y el 0,3% realiza otro método, mientras que el 18,8% no realiza ninguna acción. Asimismo, la discontinuidad y la falta de presión de los servicios pueden agravar los problemas de calidad de agua. Prácticamente la totalidad de los servicios de agua del país se presentan de manera intermitente, entre 6 y 12 horas por día.

Figura No. 7 Tipo de tratamiento que le dan al agua para beber.



De acuerdo a la Política Nacional del Sector de Agua Potable y Saneamiento del Gobierno de Guatemala, el uso doméstico del agua en el año 2011, se producen 668 millones de m3 de aguas residuales y de esta cantidad solo el 10% es tratado a través de las redes de alcantarillado.

De acuerdo al Plan Nacional de Agua y saneamiento el Ministerio de Salud del año 2015, un análisis realizado en el 2014 solamente un 40% de las muestras de agua analizadas para determinar cloro residual en agua cumplían con la normativa nacional; para el año 2013 al menos del 40% del agua de consumo humano recibió desinfección en las áreas urbanas; en muchos casos el agua se capta directamente del río o lago y se distribuye directamente sin realizar tratamiento alguno. Los niveles de bacterias del grupo coliforme y de bacterias patógenas son elevados y son característicos de aguas residuales sin tratamiento, más que de agua de río, lo que pone en riesgo la salud de la población.

Arcilla

La arcilla ha sido un material de gran importancia a lo largo de la historia; el mismo origen del hombre está asociado a un cuerpo cerámico de barro y un soplo divino de vida (Ramírez, 2002). Es un término difícil de precisar, en edafología y sedimentología frecuentemente se usa como un tamaño menor de dos micras, que identifica un material heterogéneo, compuesto de minerales propios de la arcilla con minerales, y otras sustancias, incluyendo fragmentos de rocas, óxidos hidratados, geles, y sustancias orgánicas, petrográficamente se le denomina arcilla a una gran cantidad de materiales sedimentarios, de granulometría fina, y mineralógicamente poco definidos. En cuanto a los tamaños se caracterizas por gruesas aquellas que se encuentran entre 2 y 0.2 micras, para la arcilla media el tamaño corresponde entre 0.2 y 0.08 micras y finalmente para las finas menores de 8 micras (Willmer, 2017)

.

En cuanto a la naturaleza de la arcilla se definen la arcilla como un suelo o roca sedimentaria Constituido por agregados de silicatos de aluminio hidratados, provenientes de la desfragmentación de rocas que contienen feldespato, como el granito. De acuerdo a su coloración, se consideran según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura. Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. Químicamente es una alúmina, que lleva por fórmula es: $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$.posee plasticidad al ser mezclada con agua

y también sonoridad y dureza al pasar por un calentamiento por encima de 800 °C. La arcilla alcanza la solidificación al ser expuesta al fuego.se caracteriza por ser uno de los materiales más baratos y de uso más amplio. De la familia de las arcillas se puede presentar de la siguiente manera: Caolinita, Illita, Esméctica (Montmorillonita, Beidellita, Bentonita), Vermiculita, Clorita. Attapulgita. Sepiolita (Willmer, 2017).

Sistemas de filtración utilizados actualmente

Existen muchos sistemas para tratar el agua donde podemos encontrar filtros lentos de arena y una de las más antiguas que se tenga registro (Parada, 2016). Un filtro de arena está formado de cuatro capas de material granular filtrante; capa de drenaje, capa de separación, capa de filtración y capa superior de filtración. Todas estas capas son colocadas dentro de tubería de PVC de dos pulgadas de diámetro, o dentro de buretas graduadas de 250 ml, siempre respetando las alturas de cada capa recomendadas (Pérez, 2009).

Los filtros de cerámica son de bajo costo para uso doméstico en comunidades urbanas y rurales que trata el agua contaminada para el consumo directo. Está hecho de una mezcla de arcilla y aserrín —este último elemento es el que da la porosidad—. El filtro es frotado con una solución de plata coloidal y en algunos casos es colocado dentro de un recipiente. Puede ser construido por alfareros locales usando materiales propios de la zona y no requiere de electricidad o tecnología avanzada (Parada, 2016)

Loa filtros de vela portátil compuesto por dos baldes de polietileno de alta densidad con una capacidad de 20 litros cada uno. Se ubica un balde encima del otro: el primero contiene una o dos velas de cerámica compuestas por materiales micro porosos que permiten la retención de partículas sólidas y microorganismos; el segundo balde pasa el agua filtrada saludable para el consumo (Parada, 2016)
Filtro de carbón este tipo de filtración utiliza carbón para la remoción de algunos sabores, olores y colores. Se puede usar el carbón común disponible localmente o carbón activado que, aunque es más efectivo, puede aumentar los costos (Parada, 2016).

Filtro de ultrafiltración utiliza filtros de membrana con tamaños de poros habituales de 1 a 10 nm, los cuales pueden eliminar partículas tan pequeñas como las macromoléculas de proteínas. La ultra-filtración (Parada, 2016)

Plata coloidal

La plata coloidal actúa como un elemento inhibidor de la actividad bacteriana, La plata coloidal impregnada en el 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. La plata reacciona con el grupo Tiol (Sulfidrilo) de las células, causa cambios estructurales en las membranas de las bacterias, interactúa con los ácidos nucleicos y es un inhibidor enzimático dando como resultado 99,99% de remoción de coliformes totales y un 100% de coliformes fecales (Viscarret, 2017)

Filtros de Agua disponibles en el mercado guatemalteco

En el mercado guatemalteco existen una gran variedad de filtros a base de arcilla/barro con una capa de plata coloidal ofrecen una alternativa para la potabilización del agua además qué, es una buena opción para el tratamiento del agua, luego de su distribución en la red municipal. Existen diversos precios en el mercado, los cuales están accesibles en comparación de filtros más sofisticados, no es necesario las instalaciones o modificaciones en el hogar para su adaptabilidad, pero sí requieren el mantenimiento desde 3 meses a 2 años, claro, dependerá del uso que en éste se efectué para su efectividad. A continuación, se presentan algunos filtros en el mercado de Guatemala, Helps International ONIL, Filtro Utz Ja´, Stéfani Purificadores, Kohler Clarity Filtros, Filtro Puritec, Ecofiltro

Figura No. 8 Filtros disponibles en el mercado

Fuente: catálogo de ecofiltro

Biocarbon

Es un tipo de carbón producido durante la combustión de materia orgánica (principalmente residuos forestales) mediante pirolisis a temperaturas menores a 700°C, con un mínimo de oxigeno (Pezo, Muschler, Tobar, & Pulido, 2019). Los métodos de producción incluyen pirolisis, carbonización hidrotermica, gasificación y calentamiento por microondas, variando entre cada método la temperatura, así como el tiempo de reacción (González et al., 2017; Fang et al., 2018).

El interés principal en la generación de este material radica en el almacenamiento de carbón en una forma estable, evitando su liberación hacia la atmosfera por degradación o combustión descontrolada de biomasa (Creamer and Gao, 2016) y de manera paralela generar un adsorbente de bajo costo y alta efectividad. Las propiedades adsorbentes están relacionadas con el área superficial del material a escala microscópica, así como los múltiples grupos funcionales que presenta en su estructura, entre los que destacan estructuras aromáticas y carbonos heterocíclicos (Li et al., 2013; Wang et al., 2017a). El biocarbon ha sido ampliamente utilizado en la remoción de metales pesados (Agrafioti et al., 2013), en la purificación de mediante filtros compuestos de grava y arena (Palansooriya et al., 2019) así como remediación de suelos, aumentando la fertilidad de suelos de cultivo y mejorando la producción de granos de consumo básico (Yoo et al., 2018).

7 Estado del arte

Araníbar, H. (2018). Realizó un estudio donde se utilizó arcilla natural para absorción de metales pesados de afluentes minero para la realización de las pruebas se recolectaron muestras durante 5 días muestras de agua antes y después de ser filtradas del afluente las muestras de agua se tomaron en contenedores de acuerdo a la norma ASTM d 3997, y se concluyó que las arcillas modificadas tienen la capacidad de retener minerales disueltos y totales y reducir el pH del afluente de agua y donde se recomienda realizar más estudios para determinar la capacidad de adsorción de metales pesados,

Viscarret, A., (2017) en esta investigación se compararon diferentes mesclas de arcillas con el objetivo de disminuir la concentración de arsénico en aguas de consumo. Para lograrlo se fabricaron filtros cilíndricos en forma de pastilla con diferentes mezclas de arcillas, a las pastillas cilíndricas se les impregno plata coloidal para evaluar el efecto bactericida;

Parada, J., & Ramírez, C. (2016) se aborda el tema del consumo de agua potable que se ha incrementado rápidamente teniendo en cuenta que sólo el 0.01% del agua existente en la Tierra se puede usar para las actividades y propone que para darle respuesta al problema de la falta de agua potable a nivel mundial se han planteado diferentes estrategias de manejo y aplicación de filtros potabilizadores de agua. Ésta es una medida de acción a la problemática actual que se presenta por los desastres naturales, el cambio climático y las zonas de conflicto, donde el agua no tiene las mejores cualidades para el consumo humano, y establece que existen métodos que se encuentran al alcance de todos y pueden proporcionar una mejor calidad del recurso hídrico a las comunidades que lo necesitan. Estos métodos se basan en el principio de la filtración**,** un proceso en el que se retiene, por un medio poroso, la materia en suspensión contenida en un fluido, y se concluye que, el uso de filtros es una alternativa viable en las comunidades que no tienen acceso a agua potable en condiciones donde se tiene un deficiente o nulo sistema de acueducto o en situaciones de emergencia y en los estudios se evidenció una variedad de filtros que son utilizados para satisfacer la necesidad de acceso a agua potable de las comunidades, Los filtros más utilizados fueron los de arcilla con baño de plata coloidal y los de arena lentos, pues son de accesibles tanto a nivel económico como a nivel de repuestos y mantenimiento, lo cual

posibilita una alternativa para dar respuesta a las comunidades que no cuentan con acceso a agua potable o para mejorar las características del recurso hídrico.

Hermosín, M. (2014). En esta investigación se presentan ensayos con diferentes tipos de arcilla y determinar el comportamiento para eliminar pesticidas al ser usados como un medio filtrante en aguas contaminadas con filtros de flujos continuo, estático o lecho fluidizado

Undabeytia, T. (2014). Menciona que el material más usado en filtración es carbón activo granular, este material tiene paca efectividad en la eliminación de patógenos. Y plantea una investigación con una síntesis de nuevos materiales compuestos para su uso en la eliminación de microorganismos y para ello se desarrollaron compuestos poliméricos minerales de arcilla que presentan propiedades antimicrobianas de gran eficacia en la eliminación de microorganismos en aguas contaminadas mediante procesos de filtración.

Kou, M. (2007). En su artículo "Preparación de filtros de adsorción a base de arcillas modificadas. Se fabricaron filtros, donde se varió los componentes de la suspendió cerámica así como del tratamiento térmico para su conformación los filtro cerámico tuvieron una geometría circular diámetro 25 milímetros y para calcinar los filtros se usaron rangos de temperaturas de 600 a 800 °C y donde se concluyó que Es posible fabricar filtros porosos a base de arcilla bentonita empleando el método de la esponja polimérica y Se determinó que existe un límite superior para la temperatura de sinterización de los filtros, a partir de la cual se producen cambios estructurales (formación de nuevas fases) en la arcilla, que disminuye su capacidad de adsorción.

Lazo, J., & Llanos, B. (2007) en este estudio Se determinó el valor potencial de bentonitas modificadas con sales de amonio como adsorbentes de fenol presente en soluciones acuosas. Los resultados muestran que la adsorción está influenciada por el pH de la solución y por el tipo de sal de amonio con la que se ha intercambiado la arcilla, observando variados pH óptimos de acuerdo a la modificación de la bentonita. También se observó una mayor adsorción a mayores masas de bentonita como producto del aumento de centros de adsorción.

Cortez, M., & Cárdenas, S. (2012). En este trabajo se estudió La capacidad de las arcillas orgánicas de adsorber compuestos orgánicos volátiles es debida al carácter hidrofóbico generado cuando la arcilla natural es modificada con moléculas orgánicas. En este estudio se construyó una unidad de pruebas de filtros para poder filtrar aire contaminado de tolueno al ser pasado por un filtro y Los resultados obtenidos demuestran que se logró disminuir la concentración de tolueno a límites máximos permisibles

Gallardo, T., (2003) se prepararon Arcillas Porosas de estructura heterogénea utilizando como base una arcilla natural mexicana. Este material se preparó con la combinación de procedimientos de síntesis de arcillas utilizando intercambio ionico, al analizarlas se mostró un incremento en el espacio interlaminar de 13.7 Å con respecto al de la arcilla original 3.1Å. mejorando sus propiedades al ser utilizada como filtro

Hernández, M., (2003). Estudio las propiedades cristaloquímicas que exhiben las arcillas y la relacionadas con las diferentes fases cristalinas que las constituyen, Los sólidos porosos son estructuras no fluidas que están constituidos de una parte hueca y una parte sólida. A las entidades huecas se les ha denominado, en forma artificial, como: poros, huecos, antros, cavidades, y confirman las estructuras porosas distintas, atribuibles a fases cristalinas que constituyen las arcillas.

Ramírez, E. R., Andrade, J. J. G., Juárez, M. C. S., & Ortega, Y. G. (2002). Caracterizo arcilla de varios yacimientos de arcillas ya que la arcilla no es un material específicamente definido, ya que se encuentra constituido por varios tipos de minerales en diversas proporciones, lo que hace necesario su caracterización para establecer la formulación de pastas que cumplan los requisitos físicos, químicos y mineralógicos considerados en los procesos cerámicos. Y es fuente de materia prima para la industria de la cerámica.

8 Objetivos

8.1 General

Evaluar el biocarbón de bambú (Dendrocalamus asper), en elementos filtrantes de cerámica para tratamiento de agua de consumo humano.

8.2 Específicos

8.2.1 Evaluar el efecto de la cantidad de fibras naturales de bambú en la formulación del elemento filtrante sobre las propiedades fisicoquímicas del agua a través de él.

8.2.2 Evaluar el efecto del tamaño de partícula de las fibras naturales de bambú del elemento filtrante sobre las propiedades fisicoquímicas del agua a través de él.

8.2.3 Evaluar el efecto del nitrato de plata en los elementos filtrantes constituidos por fibras de bambú y cerámica sobre las propiedades desinfectantes.

8.2.4 Construir un prototipo de filtro con los mejores resultados de las diferentes pruebas fisicoquímicas y microbiológicas de los elementos filtrantes constituidos por fibras de bambú y cerámica.

9 Hipótesis

H1: No existe diferencia significativa al variar la cantidad de fibras de bambú para producir biocarbon en los elementos filtrantes sobre las propiedades fisicoquímica del agua filtrada.

H2: No existe diferencia significativa al variar el tamaño de las fibras de bambú para producir biocarbon en los elementos filtrantes sobre las propiedades fisicoquímica del agua filtrada.

H3: No existe diferencia significativa al variar el contenido de nitrato de plata en la fabricación de los elementos filtrantes en las propiedades microbiológicas del agua filtrada.

H4: No es posible utilizar uno de los materiales filtrantes para construir un filtro de agua que pueda filtrar agua para el consumo humano.

$\mu 1 = \mu 2 = \mu 3$

Hipótesis alternativa

H1a: Existe diferencia significativa al variar la cantidad de fibras de bambú para producir biocarbon en los elementos filtrantes sobre las propiedades fisicoquímica del agua filtrada.

H2a: Existe diferencia significativa al variar el tamaño de las fibras de bambú para producir biocarbon en los elementos filtrantes sobre las propiedades fisicoquímica del agua filtrada.

H3a: Existe diferencia significativa al variar el contenido de nitrato de plata en la fabricación de los elementos filtrantes en las propiedades microbiológicas del agua filtrada.

H4a: Es posible utilizar uno de los materiales filtrantes para construir un filtro de agua que pueda filtrar agua para el consumo humano.

10 Materiales y métodos

10.1 Enfoque de la investigación

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo

10.2 Método

Se utilizó el método científico, pruebas de hipótesis y se comprobó experimentalmente por medio de recopilación de datos, para la realización de las pruebas se utilizó la siguiente metodología.

Modelo 5B HACH para dureza

1. Se recolectó una muestra a analizar de 50 ml (agua filtrada / no filtrada).
2. Se llenó el tubo de ensayo del Kit hasta el borde con la muestra a analizar.
3. Se vertió la muestra en la botella de mezclar.
4. Se agregó una cucharada (medida calibrada) de reactivo para Dureza. Se hizo girar la muestra para mezclar.
5. Se agregó la solución tituladora a la botella de mezclar, gota a gota, al tiempo que se revolviera circularmente. Cuando el color de la muestra cambió de rosado a azul, se anotó el número de gotas que se agregaron.
6. Numero de gotas= Dureza total de la muestra en granos por galón como carbonato de calcio.

Cloro libre y total, Test Kit HACH

1. Se recolectó una muestra a analizar de 50 ml (agua filtrada / no filtrada).
2. Se llenaron los dos tubos del Kit con 5 ml de muestra.
3. Se colocó el primer tubo en la punta izquierda de la caja del comparador de color (escala calibrada de colores).

4. Se adicionó una almohadilla de reactivo DPD (cloro libre o total) al segundo tubo.
5. Se hizo girar el tubo para mezclar, al mezclar se tornó de color rosa.
6. Se colocó el segundo tubo en la caja del comparador de color.
7. Para cloro libre se leyó el resultado en el intervalo de un minuto.
8. Para cloro total se esperaron tres minutos y se leyó el resultado, no sobrepasando los cinco minutos.

Solidos disueltos, Multi-ParameterTestr

1. Se recolectó una muestra a analizar de 50 ml (agua filtrada / no filtrada).
2. Se introdujo el medidor, previamente calibrado, en la muestra.
3. Se fijó en el medidor la opción de sólidos disueltos para obtener la medición directa.

pH, Multi-ParameterTestr

1. Se recolectó una muestra a analizar de 50 ml (agua filtrada / no filtrada).
2. Se introdujo el medidor, previamente calibrado, en la muestra.
3. Se fijó en el medidor la opción de PH para obtener la medición directa.

Conductividad Eléctrica, Multi-ParameterTestr

1. Se recolectó una muestra a analizar de 50 ml (agua filtrada / no filtrada).
2. Se introdujo el medidor, previamente calibrado, en la muestra.
3. Se fijó en el medidor la opción de conductividad eléctrica para obtener la medición directa.

Salinidad, Multi-ParameterTestr

1. Se recolectó una muestra a analizar de 50 mL (agua filtrada / no filtrada).
2. Se introdujo el medidor en la muestra.
3. Se fijó en el medidor la opción de salinidad para obtener la medición directa.
4. El dato que se obtuvo fue el resultado de todas las sales disueltas.

Tiras de cloro Libre o total Aquachek 0 a 10 ppm

Se sumergió la tira en agua y se movió hacia adelante y hacia atrás durante 30 segundos. Se comparó el cloro total y las almohadillas de cloro libre con la tabla de colores. Se estimó el resultado si el color en la almohadilla de prueba está entre dos bloques de color en la etiqueta.

Tiras de cloro Libre Aquachek 0 a 600 mg/L

Se sumergió la cinta de análisis en la muestra de agua y se retiró inmediatamente, se sostuvo la cinta nivelada, con las almohadillas hacia arriba durante 30 segundos. Se comparó la almohadilla de la cinta con la carta de colores de cloro libre en la etiqueta

Fosfatos, Test Kit HACH

1. Se recolectó una muestra a analizar de 50 ml (agua filtrada / no filtrada).
2. Se llenó el primer tubo del Kit de prueba con 5 ml de muestra.
3. Se colocó el primer tubo en la punta izquierda de la caja del comparador de color.
4. Se agregó al segundo tubo 0.5 ml de muestra a analizar y se aforó con agua destilada hasta obtener 5 ml.
5. Se adicionó una almohadilla de reactivo para la detección de fosfatos al segundo tubo.
6. Se hizo girar el tubo para mezclar.
7. Se colocó el segundo tubo en la caja del comparador de color.
8. Se leyó el resultado en el intervalo de tres a cinco minutos.

Alcalinidad

1. Se adicionó 50 ml de la muestra a analizar en un Beacker.
2. Se verificó que la tira a sumergir estuviera limpia.
3. Se sumergió la tira en el Becker.
4. Se verificó que el indicador (color gris) estuviera totalmente sumergido en la muestra.
5. Se sumergió la tira durante 1 segundo.
6. Se retiró la tira de la muestra y se agitó durante 15 segundos.
7. Se leyó el resultado comparándola con la escala de colores calibrada.

Placas Petrifilm para el recuento de E. coli y coliformes totales

1. Se identificaron tres recipientes:
   1. muestra a analizar (50 mL).
   2. Primera dilución (probeta, capacidad 100 mL).
   3. segunda dilución. (probeta, capacidad 100 mL).
2. Se verificó que el área a utilizar estuviera limpia, se esterilizó el área con alcohol al 60 por ciento, se encendió el mechero para la esterilización del aire (el mechero estuvo encendido desde el inicio de la prueba hasta que se colocaron las placas en la incubadora).
3. Se agregó 90 mililitros de agua destilada al segundo y tercer recipiente.
4. Se adicionó 10 mililitros de la muestra al segundo recipiente.
5. Se agregó 10 mililitros del segundo recipiente al tercer recipiente. Para obtener dos muestras con concentraciones 1/10 y 1/100.
6. Se identificaron las placas petrifilm para el recuento de E. coli y coliformes totales.
7. Se colocó la placa petrifilm sobre una superficie plana y se levantó la película superior de la placa.
8. En forma perpendicular a la placa petrifilm, se adicionó 1 mL de la dilución en el centro de la película cuadriculada inferior con una pipeta.
9. Se descendió con cuidado la película superior para evitar que se atraparan burbujas de aire.
10. Se humectó el ambiente de la incubadora con un pequeño recipiente de agua para minimizar la perdida de humedad.
11. Se colocaron las placas en una rejilla.
12. Se incubaron las placas durante 24 horas. Temperatura: 37 grados centígrados.
13. Las placas petrifilm se contaron en un contador de colonias.
14. El color azul en una colonia indicó la presencia de E.coli.
15. El color marrón en una colonia indicó la presencia de coliformes totales.
16. No se contaron las burbujas de aire que no estuvieron asociadas con una colonia.

Placas Petrifilm para el recuento de Enterobacterias

1. Se identificaron tres recipientes:
   1. muestra a analizar (50 ml.).
   2. Primera dilución (probeta, capacidad 100 ml).
   3. segunda dilución. (probeta, capacidad 100 ml).
2. Se verificó que el área a utilizar estuviera limpia, se esterilizó el área con alcohol al 60 por ciento, se encendió el mechero para la esterilización del aire (el mechero estuvo encendido desde el inicio de la prueba hasta que se colocaron las placas en la incubadora).
3. Se agregó 90 mililitros de agua destilada al segundo y tercer recipiente.
4. Se adicionó 10 mililitros de la muestra al segundo recipiente.
5. Se agregó 10 mililitros del segundo recipiente al tercer recipiente.
6. Se identificaron las placas petrifilm para el recuento de Enterobacterias.
7. Se colocó la placa petrifilm sobre una superficie plana y se levantó la película superior de la placa.
8. En forma perpendicular a la placa petrifilm, se adicionó 1 mL de la dilución en el centro de la película cuadriculada inferior con una pipeta.
9. Se descendió con cuidado la película superior para evitar que se atraparan burbujas de aire.
10. Se humectó el ambiente de la incubadora con un pequeño recipiente de agua para minimizar la perdida de humedad.
11. Se colocaron las placas en una rejilla.
12. Se incubaron las placas durante 24 horas. Temperatura: 37 grados centígrados.
13. Las placas petrifilm se contaron en un contador de colonias.
14. No se contaron las burbujas de aire que no estuvieron asociadas con una colonia.

Tabla. 1 Parámetros en la elaboración de las unidades filtrantes

Código	Aserrín (g)	Arcilla (g)	Agua(mL)	Grosor (cm)	Humedad de la arcilla %
70/30-10	175	75	145	1	22.522
75/25-10	187.5	62.5	135		
80/20-10	250	50	125		
70/30-40	210	90	140		
75/25-40	225	75	140		
80/20-40	240	60	140		
70/30-100	210	90	175		
75/25-100	225	75	140		
80/20-100	240	60	130		

1. El aserrín de bambú se obtuvo del residuo del laminado de bambú, el cual fue recolectado por medio de un extractor.
2. Se tamizó el aserrín de bambú para obtener los diámetros de partículas requeridos (tamiz No.10, tamiz No.40 y tamiz No.100).
3. Se pulverizó la arcilla y se determinó su contenido de humedad.
4. Se pesaron los porcentajes de arcilla y aserrín descritos en la tabla 1
5. Se realizó la mezcla de arcilla y aserrín.
6. Se adicionó agua a la mezcla como aglomerante descritos en la tabla 1.
7. Se amasó la mezcla hasta obtener la consistencia plástica requerida.
8. Se armó el sistema de embudo y contra molde adicionando la mezcla entre ellos.
9. Se aplicó presión al sistema mediante una prensa hidráulica, con una presión menor a una tonelada hasta que se conformó la unidad filtrante.
10. Después de tres a cinco minutos se procedió a desenmoldar la unidad filtrante, para colocarla en el área de secado.
11. Las unidades filtrantes se secaron durante un lapso de tiempo de 10 días, al aire libre en un lugar que no tuvieron contacto con la luz directa del sol, pero con bastante ventilación.
12. Transcurridos los diez días se procedió a mover los filtros a un lugar donde tuvieron contacto con la luz directa del sol, para un último secado.

13. Se colocaron las unidades filtrantes dentro del horno, donde estuvieron ocho horas, a una temperatura promedio de 800 grados centígrados.
14. Se esperó 12 horas para que se enfriaran las piezas y luego se retiraron las unidades filtrantes.
15. Se lavaron las unidades filtrantes con agua destilada, para eliminar impurezas.
16. Se etiquetó las unidades filtrantes de acuerdo al diámetro y formulaciones.
17. Se les aplicó una capa de plata coloidal, con dos concentraciones diferentes a un lote de unidades filtrantes de acuerdo al diseño experimental.
18. Se colocaron las unidades filtrantes en una base de madera, para el filtrado de agua y recolección de muestras.

Procedimiento de filtrado

1. Se prepararon muestras de agua contaminadas con bacterias, sales y cloro para poder analizarlas.
2. Se caracterizó el agua de muestra bajo todas las variables que se analizaron.
3. Se agregó agua a las unidades filtrantes y a los filtros comerciales.
4. Se recolectó una muestra de agua filtrada de cada unidad filtrante para analizarla.

Obtención de Plata Coloidal a partir de Nitrato de Plata

1. Se preparó una solución 2 mM de Nitrato de Plata.
2. Se preparó una solución de Citrato de sodio 7 mM.
3. Se colocó 50 ml de la solución de citrato de sodio preparada, en baño María, a temperatura de ebullición de agua.
4. Cuando se alcanzó la temperatura de ebullición se agregó 8.8 ml de la solución de nitrato de plata ya preparada, gota a gota de manera constante, bajo régimen de agitación continua.
5. Al finalizar la adición de nitrato de plata se dejó la solución con agitación y a la temperatura de ebullición.
6. Transcurrido ese tiempo se dejó enfriar la solución.

Aplicación de Plata coloidal a las unidades filtrantes

1. Se diluyó la solución de plata coloidal preparada de acuerdo a las concentraciones requeridas.
2. Se colocó un lote de unidades filtrantes en la base de madera.
3. Se aplicó una capa de plata coloidal a las unidades filtrantes utilizando una brocha.
4. Se midió la cantidad de solución de plata aplicada con relación al área interna de las unidades filtrantes.

Dureza

1. Se colocó el filtro en una superficie sólida.
2. Se presionó suavemente el instrumento a 90 grados contra los filtros de manera que la aguja presentó un valor medible.
3. Se tomaron tres valores en el centro del filtro, parte media y periferia del mismo.
4. Se reportó el valor promedio.

10.3 Recolección de información

Se estudió las fibras naturales de una sola especie de bambú (*dendrocalamus asper*) debido a que es una de las especies más comerciales en el mercado, por otra parte, en la actualidad tiene un incentivo especial en cuanto a su cultivo parte de la Universidad de San Carlos y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. La fase experimental del proyecto se llevó a cabo en el Laboratorio Multipropósito de la Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería. Se realizó un experimento multifactorial de tres factores: cantidad de fibras de bambú en la formulación del filtro, cantidad de nitrato de plata y tamaño de partícula de las fibras de bambú. Para el factor cantidad de fibras de bambú se analizaron tres niveles lo que implica tres diferentes porcentajes de fibra en la formulación, para la cantidad de nitrato de plata como agente desinfectante también se evaluó tres diferentes porcentajes en la formulación, en cuanto el tamaño de partícula se investigaron tres diferentes tamaños de partícula. Por conveniencia de la disponibilidad de recursos, se realizó cinco repeticiones lo que resultó en un experimento con 135 unidades experimentales.

10.4 Técnicas e instrumentos

En cuanto a la fabricación de los elementos filtrantes:

- El tamaño de partícula se obtuvo, en principio realizando la operación de molienda y luego tamizado, con esto se determinó el tamaño máximo, dado por el número del tamiz. La relación entre las fibras naturales, la arcilla y el nitrato de plata se basó en la proporción másica de las materias.

- Se realizaron mezclas de los materiales involucrados, produciendo una masa moldeable, la cual se colocó en un molde circular y se sometió a presión obteniendo un disco circular con masa compactada. Estos discos se sometieron a secado y horneado a temperatura de 900°C por 3 horas (1). De esta manera se obtuvieron los elementos filtrantes que posteriormente fueron sometidos a pruebas para evaluar su desempeño durante la filtración de agua.

- Los elementos filtrantes se sometieron a pruebas en una celda de permeabilidad, evaluándose tanto las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas del agua filtrada obtenida, así como las características de funcionamiento de los elementos filtrantes. La celda de permeabilidad para las pruebas fue construida con partes impresas en impresora 3D. Cada disco cerámico fabricado, constituyó un elemento de ensayo al cual se refirió como elemento filtrante.

Tabla. 2 Constitución de los elementos de ensayo.

Parámetros del elemento filtrante			**Total elemen-tos filtrantes por tipo**
Formulación fibras naturales de bambú (% masa)	**Formulación $agno_3$ (% masa)**	**Tamaño de partícula (μm)**	
FB1%	FAG1% FAG2% FAG3%	TP1 TP2 TP3	9
FB2%	FAG1% FAG2% FAG3%	TP1 TP2 TP3	9
FB3%	FAG1% FAG2% FAG3%	TP1 TP2 TP3	9
TOTAL			**27**

- El número de repeticiones fue de 5, basándose en la cantidad de recursos y tiempo disponible, por lo tanto, se obtuvo un número total de 135 unidades experimentales.

Tabla. 3 Operacionalización de las variables o unidades de análisis

Obj.	Variable	Definición teórica de la variable	Definición operativa	Técnica	Instrumento	Escala	Dimensión
1	Composición porcentual de fibras de bambú	Proporción porcentual en la que se encuentran los componentes en una mezcla.	Cantidad con la que se mide la proporción de fibras naturales en la formulación del filtro.	Pesaje	Balanza	Porcentaje	Adimensional
	pH	Potencial de concentración de iones hidronio.	Grado de acidez o alcalinidad en el agua	Medición directa	Papel Ph	Intervalo	Adimensional
	Turbidez	Medida en la que el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión.	Transparencia resultante del agua tratada.	Medición directa	Turbidímetro	Intervalo	NTU
	Cloro libre	El cloro libre residual es la cantidad de cloro presente en el agua en forma de hipoclorito.	Medida de la capacidad desinfectante	Medición directa	Kit de análisis rápido	Intervalo	ppm
	Cloro total	Suma de cloro libre y cloro combinado	Medida de la capacidad desinfectante	Medición directa	Kit de análisis rápido	Intervalo	ppm
	Dureza total	Suma de las durezas individuales de los iones calcio y magnesio en el agua	Parámetro de calidad del agua	Medición directa	Kit de análisis rápido	Intervalo	ppm
	fosfatos	Compuestos a base de azufre presentes en el agua	Parámetro de calidad del agua	Medición directa	Kit de análisis rápido	Intervalo	ppm
	Nitrato	Compuestos a base de nitrógeno presentes en el agua	Parámetro de calidad del agua	Medición directa	Kit de análisis rápido	Intervalo	ppm
	Fosfato	Compuestos a base de fósforo presentes en el agua	Parámetro de calidad del agua	Medición directa	Kit de análisis rápido	Intervalo	ppm
2	Tamaño de partícula de las fibras de bambú	Noción de las dimensiones de los sólidos particulados se considera como diámetro de las esferas que poseen el mismo volumen de la partícula que se desea caracterizar	Diámetro promedio de una partícula de fibra de bambú.	Tamizaje	Tamiz	Intervalo	μm
	pH	Potencial de concentración de iones hidronio.	Grado de acidez o alcalinidad en el agua	Medición directa	Papel Ph	Intervalo	Adimensional
	Turbidez	Medida en la que el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión.	Transparencia resultante del agua tratada.	Medición directa	Turbidímetro	Intervalo	NTU
	Cloro libre	El cloro libre residual es la cantidad de cloro presente en el agua en forma de hipoclorito.	Medida de la capacidad desinfectante	Medición directa	Kit de análisis rápido	Intervalo	ppm

Obj.	Variable	Definición teórica de la variable	Definición operativa	Técnica	Instrumento	Escala	Dimensión
2	Cloro total	Suma de cloro libre y cloro combinado	Medida de la capacidad desinfectante	Medición directa	Kit de análisis rápido	Intervalo	ppm
	Dureza total	Suma de las durezas individuales de los iones calcio y magnesio en el agua	Parámetro de calidad del agua	Medición directa	Kit de análisis rápido	Intervalo	ppm
	fosfatos	Compuestos a base de azufre presentes en el agua	Parámetro de calidad del agua	Medición directa	Kit de análisis rápido	Intervalo	ppm
	Nitrato	Compuestos a base de nitrógeno presentes en el agua	Parámetro de calidad del agua	Medición directa	Kit de análisis rápido	Intervalo	ppm
	Fosfato	Compuestos a base de fósforo presentes en el agua	Parámetro de calidad del agua	Medición directa	Kit de análisis rápido	Intervalo	ppm
3	Composición porcentual de Nitrato de plata	Proporción porcentual en la que se encuentran los componentes en una mezcla..	Cantidad con la que se mide la proporción de nitrato de plata en la formulación del filtro.	Pesaje	Balanza	Porcentaje	Adimensional
	E.colli/Coliformes	Grupo específico de bacterias que se encuentran principalmente en el intestino y las heces de los seres humanos y los animales.	Medida de contaminación del agua por heces fecales	Conteo de colonias	Kit de análisis	Intervalo	Numero de colonias
	Bacterias aerobias	Grupo de bacterias presentes a nuestro alrededor y que producen enfermedades	Medida de contaminación microbiana del agua	Conteo de colonias	Kit de análisis	Intervalo	Numero de colonias
	Enterobacterias	Grupo de bacterias presentes a nuestro alrededor y que producen enfermedades	Medida de contaminación microbiana del agua	Conteo de colonias	Kit de análisis	Intervalo	Numero de colonias
	Estafilococo áureo	Grupo de bacterias presentes a nuestro alrededor y que producen enfermedades	Medida de contaminación microbiana del agua	Conteo de colonias	Kit de análisis	Intervalo	Numero de colonias
4	Porosidad	Es una medida de los espacios vacíos en un material	Parámetro que caracteriza a los medios filtrantes	Medición indirecta	Balanza	Intervalo	%
	Rendimiento de agua	Cantidad de agua producida por el filtro	Cantidad de agua producida por el filtro	Medición directa	Probeta	Intervalo	Litros
	Eficiencia de desinfección	Capacidad de remoción de bacterias	Parámetro de caracterización del filtro	Medición indirecta	Fórmula	Intervalo	%

10.5 Procesamiento y análisis de la información

Los resultados obtenidos de acuerdo a los diferentes procedimientos y metodologías descritos en la sección de métodos fueron después tabulados y ordenados de acuerdo al diámetro de partícula, formulación y recubrimiento de plata coloidal, para su análisis y comparación con valores de normas en los cuales se comparó el límite máximo aceptable y en algunos el límite máximo permisible

A cada uno de los parámetros evaluados, conductividad eléctrica, potencial de hidrogeno, solidos totales disueltos, cloro libre, cloro total, salinidad, alcalinidad, fosfatos, dureza, E. coli, coliformes totales y enterobacterias, se realizaron 5 repeticiones de cada parámetro a muestras diferentes de agua filtrada, a la misma unidad filtrante, y 3 repeticiones a diferentes unidades filtrantes. Toda el agua que se utilizó para la filtración en las unidades filtrantes se acondiciono para que toda tuviera los mismos parámetros de entrada en todas las unidades filtrantes, evaluadas cada día antes de la filtración para asegurar que se mantenían la misma concentración.

Estos valores se les calculo la media aritmética y desviación estándar para poder realizar un análisis ANOVA y determinar la influencia delas variables de fabricación de los elementos filtrantes, y se compararon con los valores requeridos para estos parámetros en la norma Coguanor 29001 en donde se graficó el tipo de unidad filtrante fabricado contra las propiedades a evaluar y los valores recomendados por la organización panamericana de la salud para agua potable. Y también se realizaron la comparación de medias con valores de filtros comerciales de cerámica.

11. Resultados y discusión

11.1 Resultados:

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas realizadas a 27 unidades filtrantes fabricadas con formulaciones de fibra 30, 25 y 20 y con diferentes diámetros de partícula pasados los tamices 10, 40 y 100 y con recubrimiento de plata coloidal con concentraciones de 0, 15 y 25 partes por millón

Tabla. 4 Codificación de las unidades filtrantes

Diámetro de partícula que paso el tamiz	Partes por millón de plata coloidal	porcentaje de arcilla	código
10	0	70%	D10F70P0
		75%	D10F75P0
		80%	D10F80P0
	15	70%	D10F70P15
		75%	D10F75P15
		80%	D10F80P15
	25	70%	D10F70P25
		75%	D10F75P25
		80%	D10F80P25
40	0	70%	D40F70P0
		75%	D40F75P0
		80%	D40F80P0
	15	70%	D40F70P15
		75%	D40F75P15
		80%	D40F80P15
	25	70%	D40F70P25
		75%	D40F75P25
		80%	D40F80P25
100	0	70%	D100F70P0
		75%	D100F75P0
		80%	D100F80P0
	15	70%	D100F70P15
		75%	D100F75P15
		80%	D100F80P15
	25	70%	D100F70P25
		75%	D100F75P25
		80%	D100F80P25

Como parte de la elaboración de las unidades filtrantes se realizó una caracterización física de ellas

Tabla. 5 Caracterización física de las unidades filtrantes fabricadas a partir de desechos del laminado de bambú

Código	Peso (g)	Largo (cm)	grosor (mm)	Capacidad (mL)	Dureza Shore D	Área interna (cm*2)	Plata coloidal (mL)
70/30-10	180.41	10.4	5	290	N/R*	217.987	20
75/25-10	189.53	11.7	5	240	6.5		
80/20-10	187.82	11.7	4	230	6.67		
70/30-40	181.07	10.5	6	190	5.16		
75/25-40	211.17	11.5	6	230	5.66		
80/20-40	153.33	11.5	5	260	18.66		
70/30-100	194.43	10.2	6	200	5.5		
75/25-100	181.03	10.3	8	215	30		
80/20-100	169.94	10.3	9	240	36.66		

Figura No. 9 Resultados de la prueba de pH a las unidades filtrantes y filtro comercial

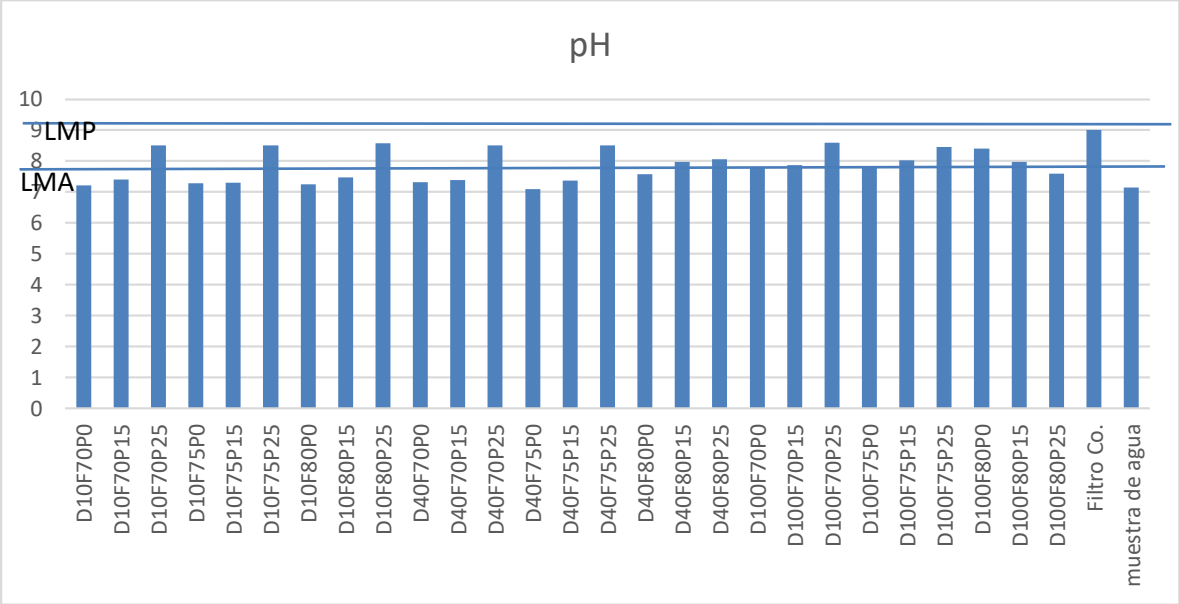


Figura No. 10 Resultados de la prueba de Conductividad de las unidades filtrantes y filtro comercial

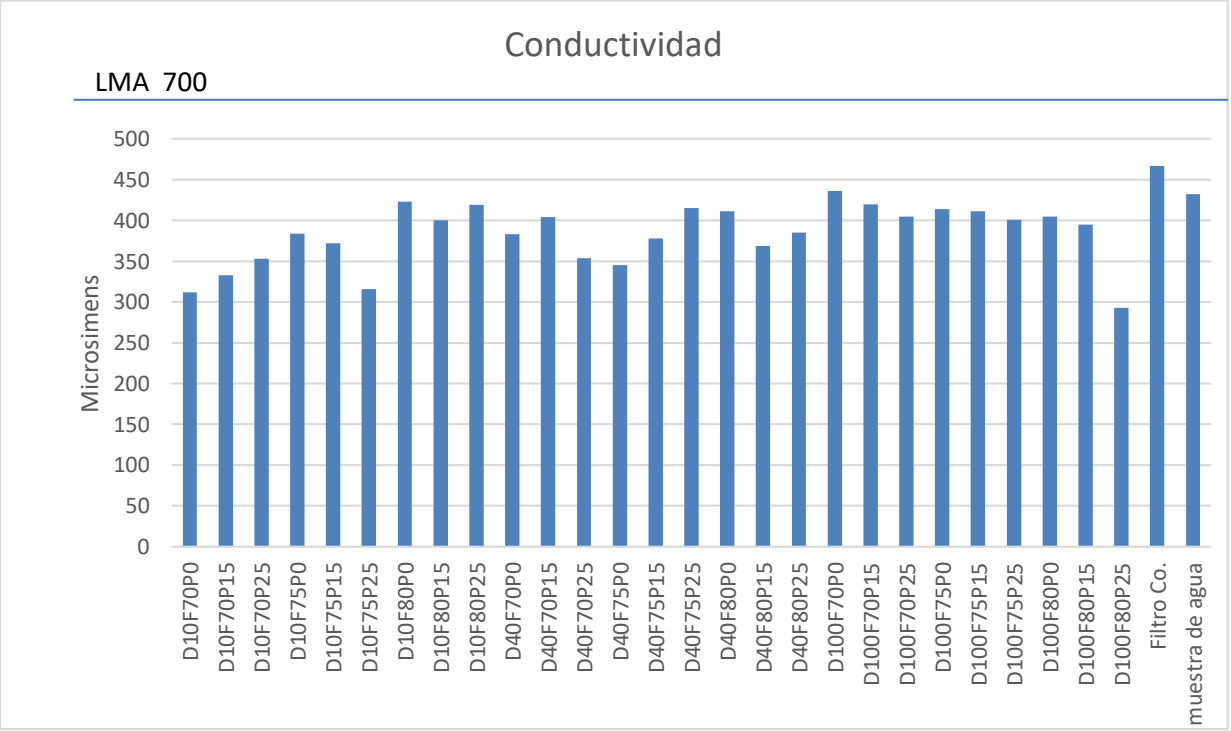


Figura No. 11 Resultados de la prueba de Solidos Disueltos a las unidades filtrantes y filtro comercial

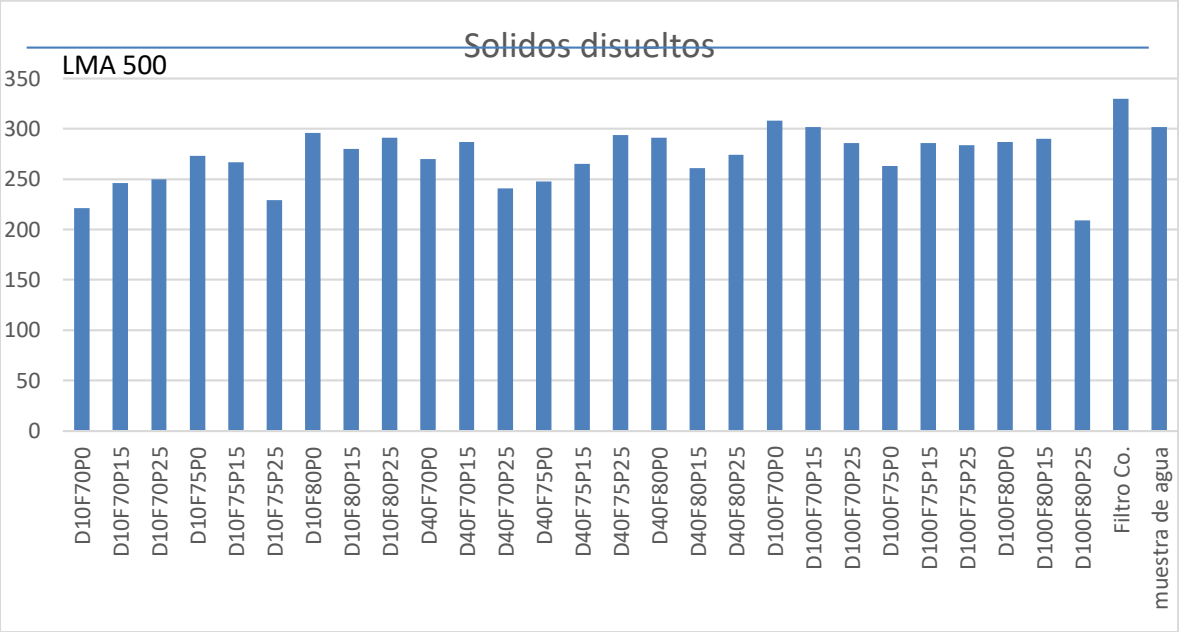


Figura No. 12 Resultados de la prueba de Salinidad a las unidades filtrantes y filtro comercial

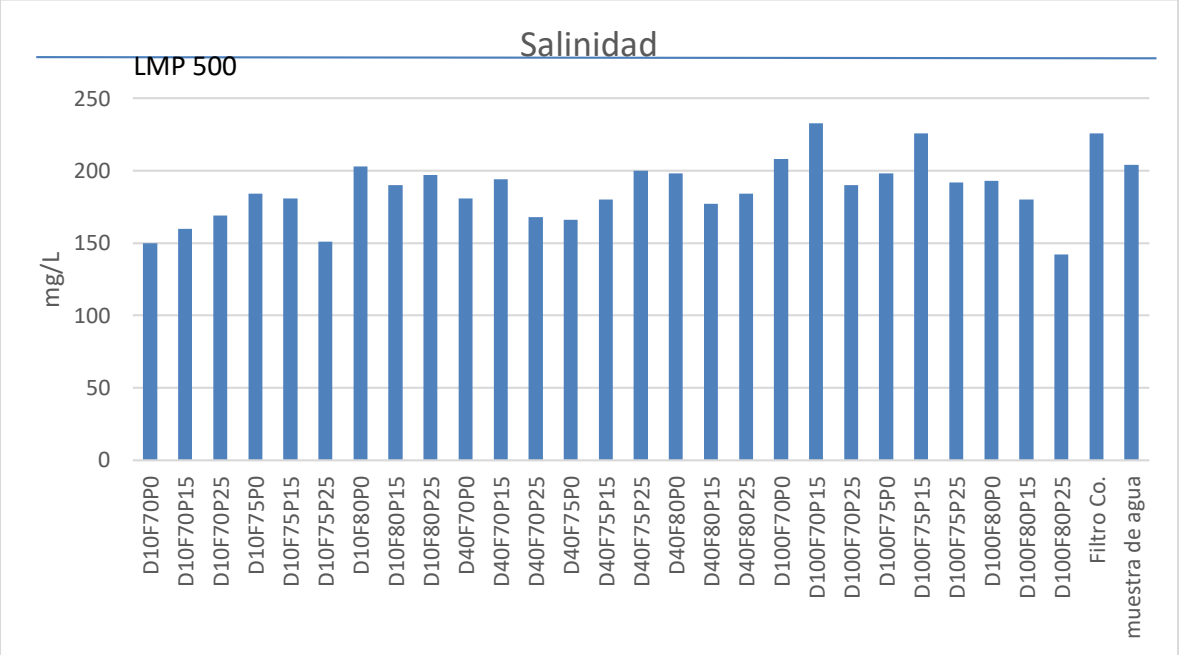


Figura No. 13 Resultados de la prueba de Dureza de las unidades filtrantes y filtro comercial

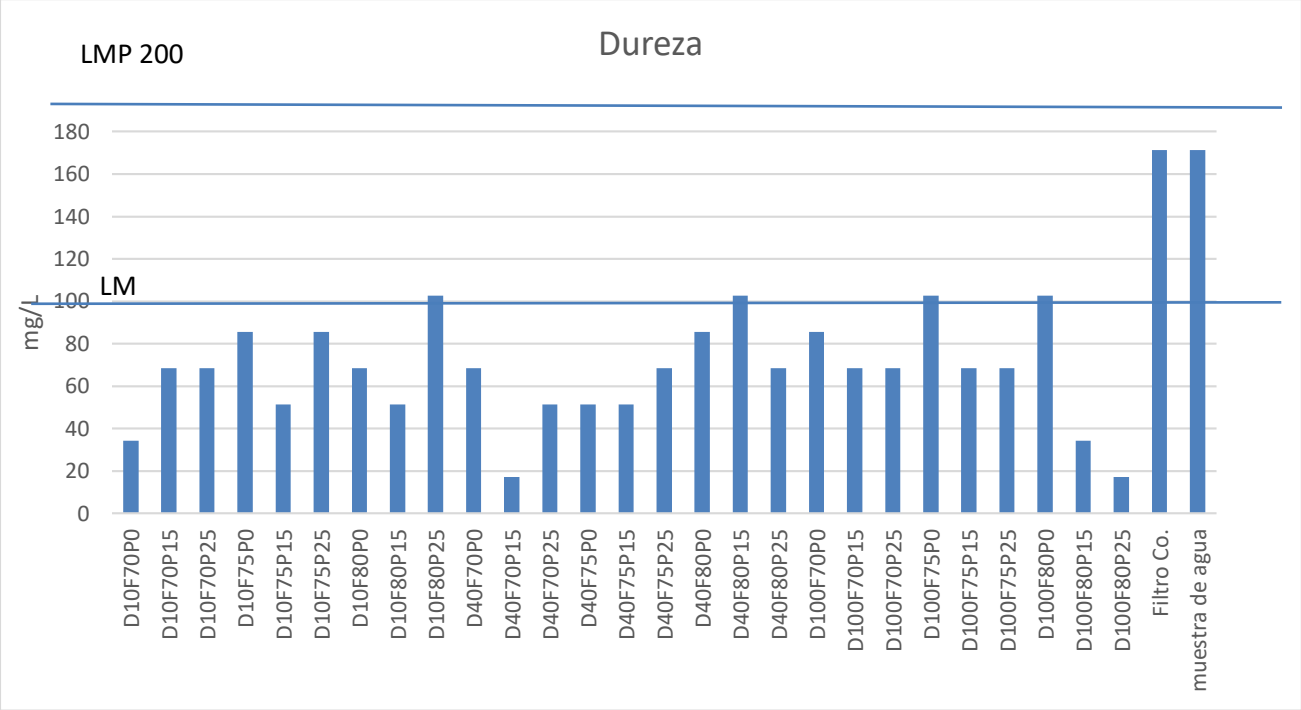


Figura No. 14 Resultados de la prueba de Fosfatos a las unidades filtrantes y filtro comercial

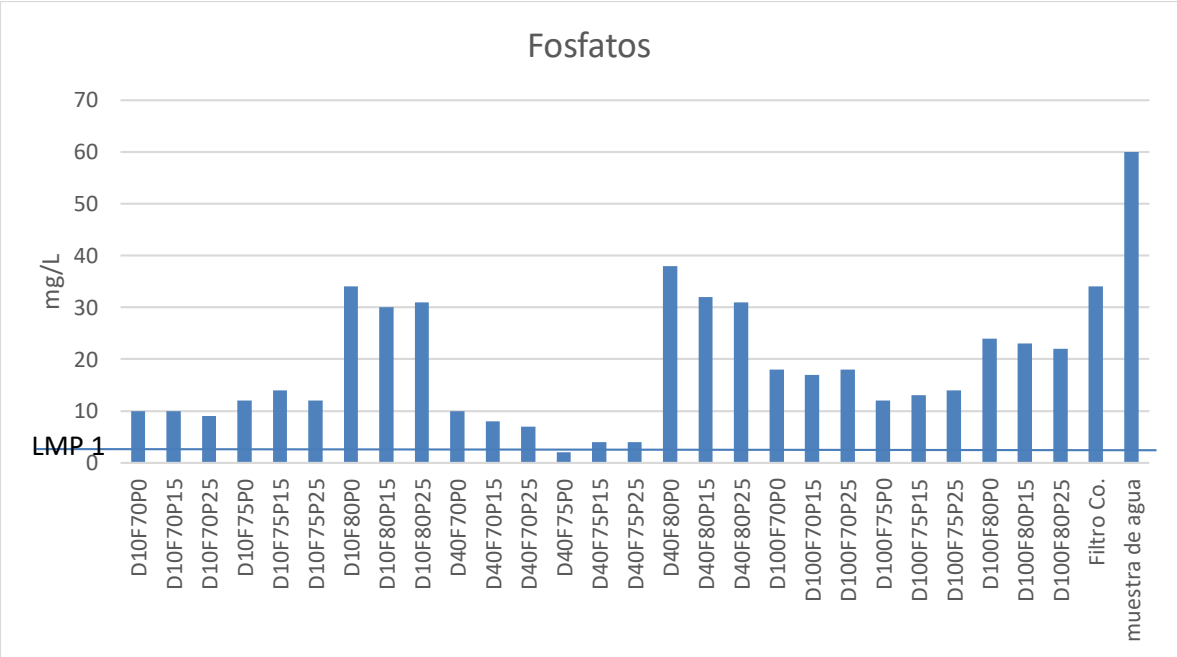


figura No. 15 Resultados de la prueba de Alcalinidad a las unidades filtrantes y filtro comercial

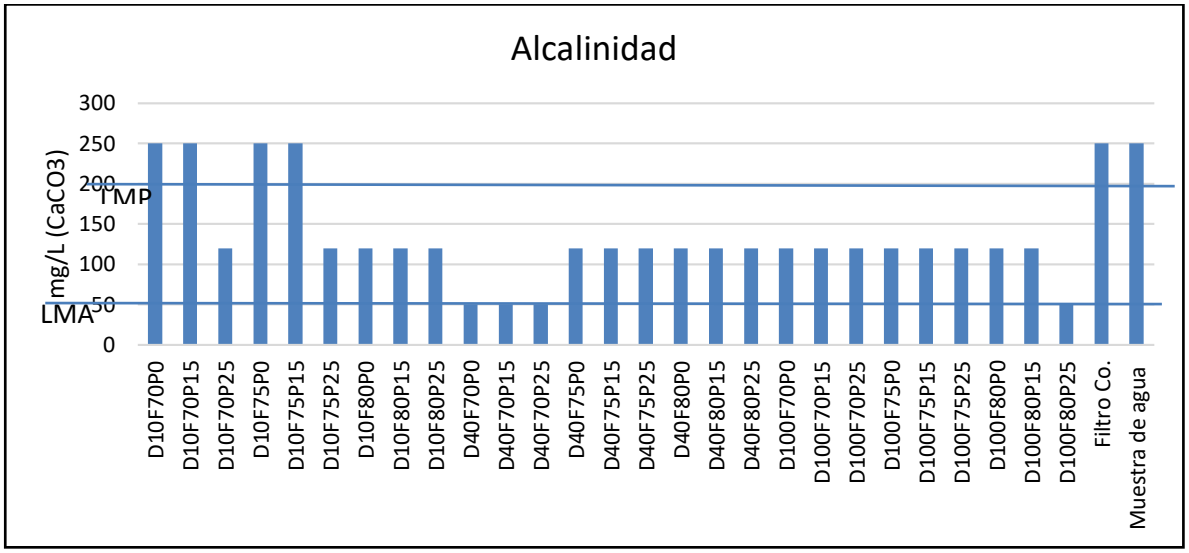


Figura No. 16 Resultados de la prueba de Cloro libre a las unidades filtrantes y filtro comercial

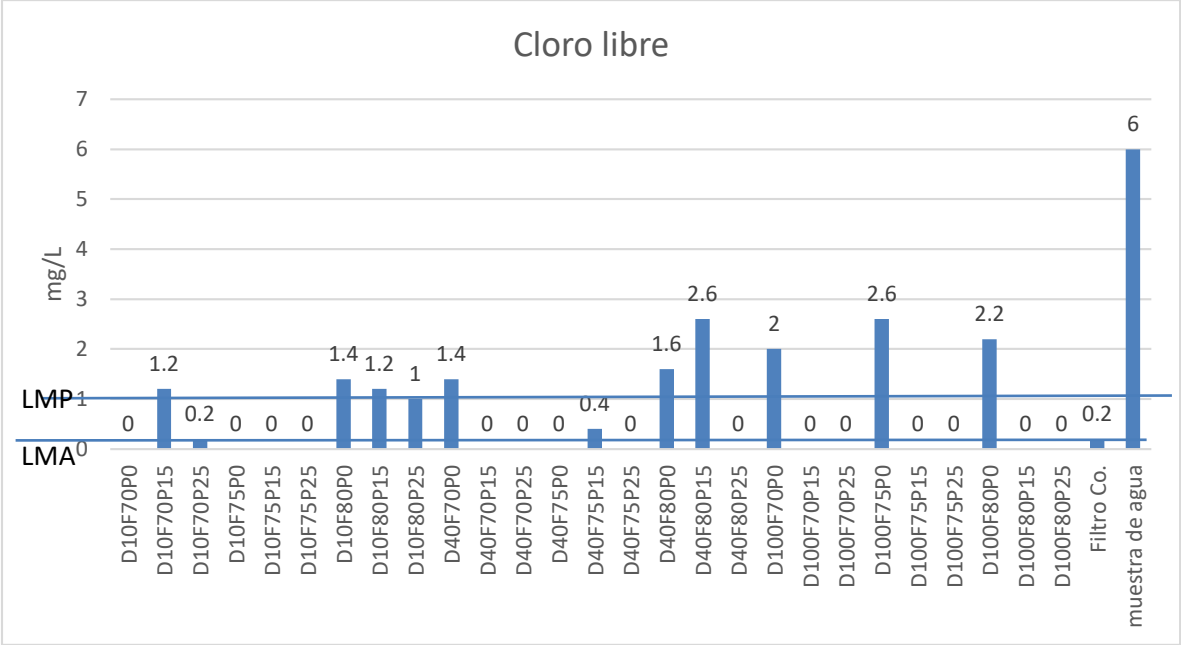


Figura No. 17 Resultados de la prueba de Cloro total a las unidades filtrantes y filtro comercial

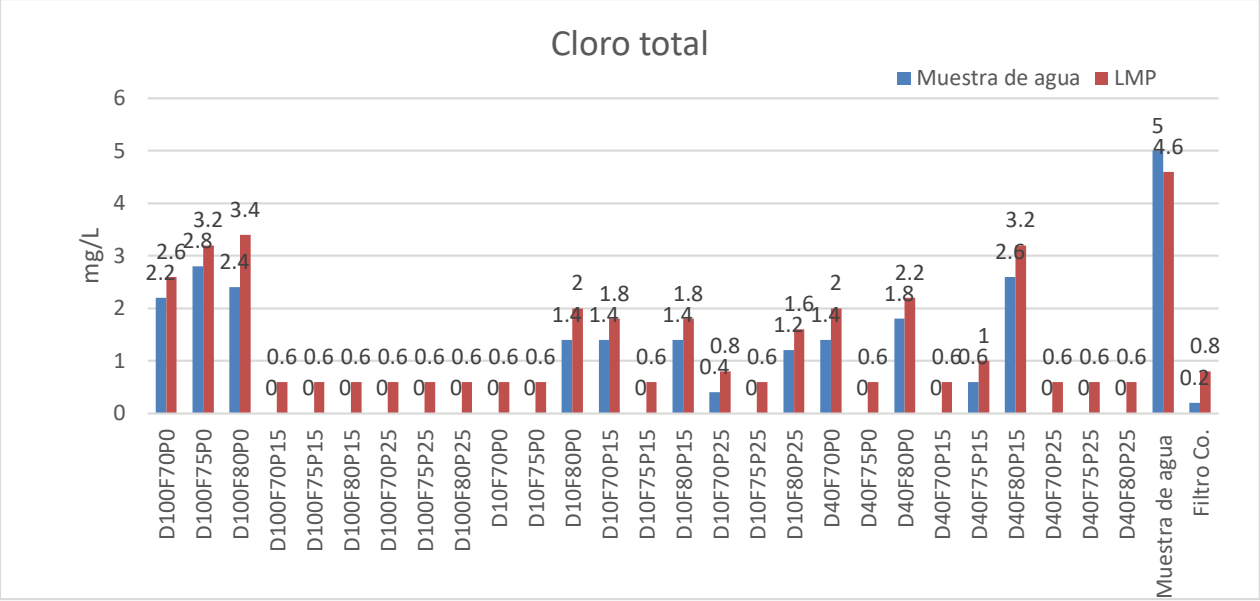


Figura No. 18 Resultados de la prueba Microbiológica de E. Coli a las unidades filtrantes y filtro comercial

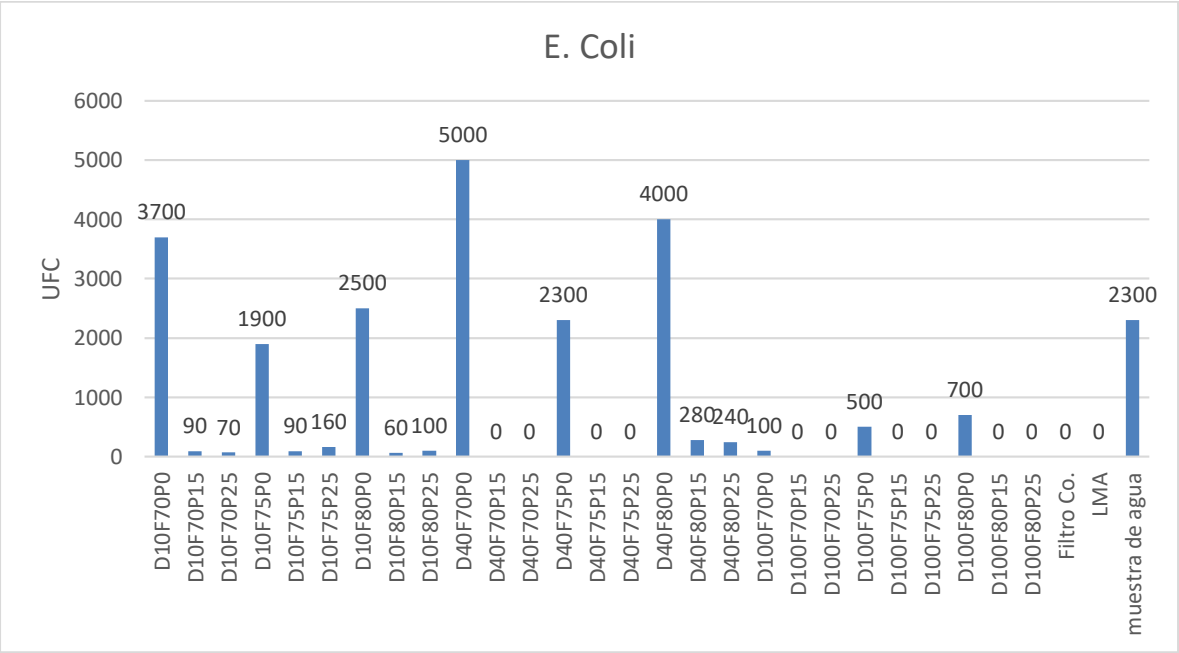


Figura No. 19 Resultados de la prueba Microbiológica de Coliformes totales a las unidades filtrantes y filtro comercial

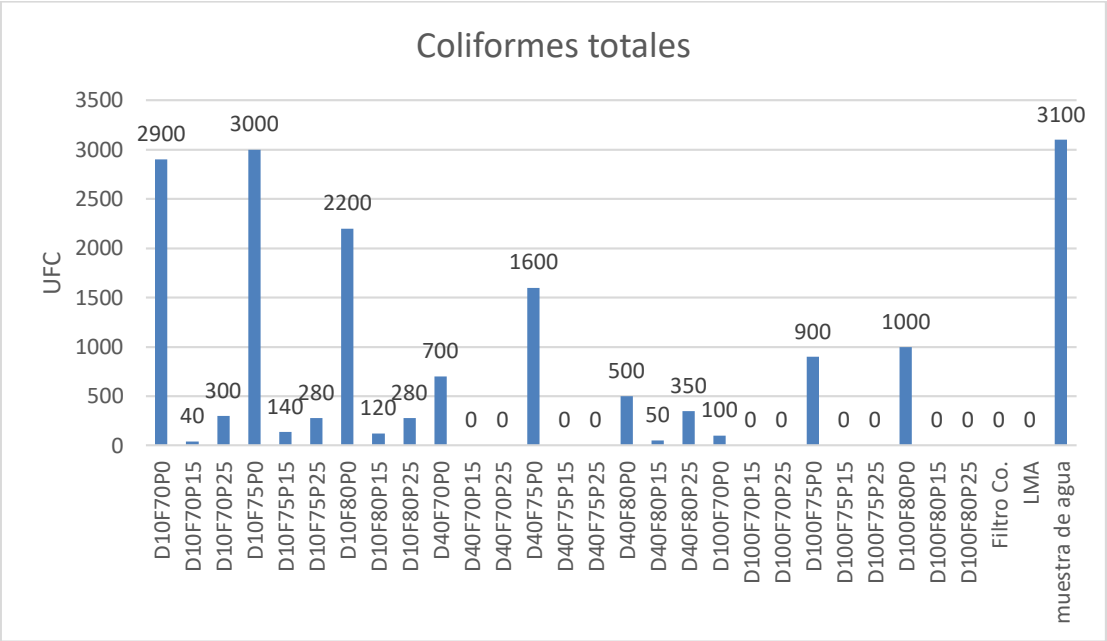
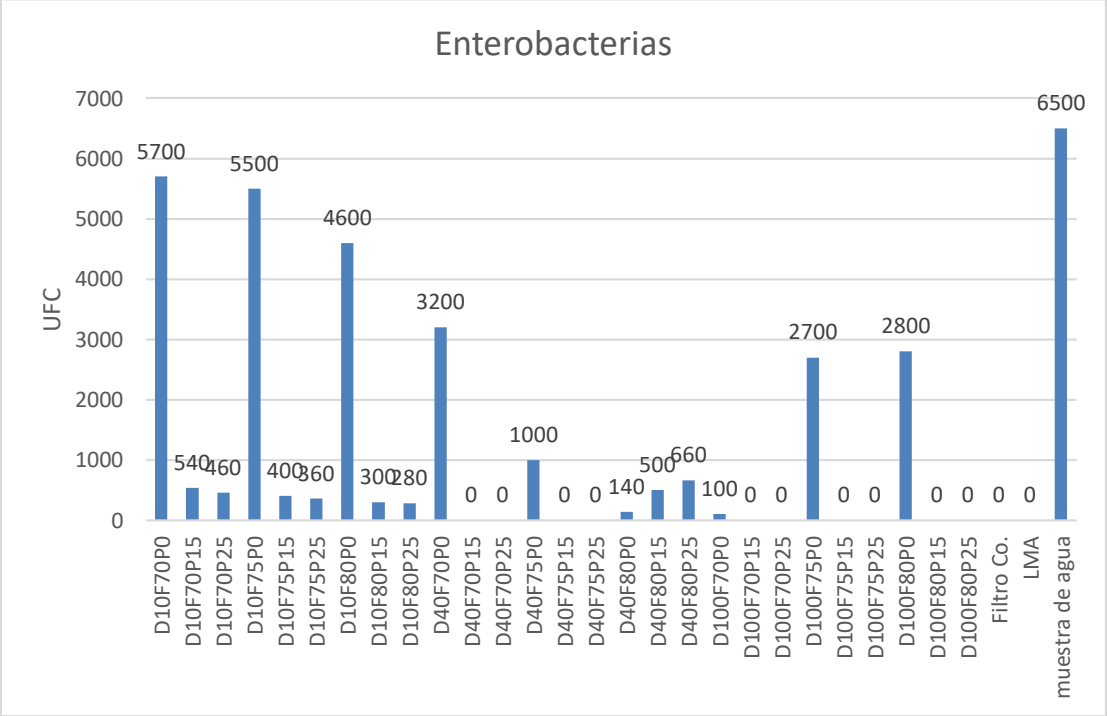


Figura No. 20 Resultados de la prueba Microbiológica de Enterobacterias a las unidades filtrantes y filtro comercial



A continuación, se presentan los resultados del análisis ANOVA, de 2 factores con varias muestras por grupo donde se utiliza como prueba estadística los parámetros de F y F critica para determinar la significancia estadística al comparar el efecto de la formulación, diámetro de partícula y contenido de plata en los parámetros evaluados de las unidades filtrantes. Con una significancia estadística de 5 %.

Tabla. 6 Análisis de la influencia de la formulación sobre las propiedades de las unidades filtrantes análisis ANOVA

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Formulación	14180.79676	2	7090.398381	0.014509512	0.985595909	3.024681425
Parámetros	38882635.9	12	3240219.658	6.630657673	1.36088E-10	1.783281896
Interacción	1202404.869	24	50100.20289	0.102523079	0.999999989	1.552332162
Dentro del grupo	152465801	312	488672.4391			
Total	192565022.6	350				

Tabla. 7 Análisis de la influencia del diámetro de partícula sobre las propiedades de las unidades filtrantes análisis ANOVA

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Diámetro	3185745.513	2	1592872.756	3.763378332	0.024265464	3.024681425
Parámetro	38882635.9	12	3240219.658	7.655459235	1.88778E-12	1.783281896
Interacción	18440744.53	24	768364.3554	1.815365198	0.012268363	1.552332162
Dentro del grupo	132055896.6	312	423256.079			
Total	192565022.6	350				

Tabla. 8 Análisis de la influencia del recubrimiento de plata coloidal sobre las propiedades de las unidades filtrantes análisis ANOVA

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Plata	18341437.68	2	9170718.84	40.8607522	1.73225E-16	3.024681425
Parámetros	38882635.9	12	3240219.658	14.4370158	6.2351E-24	1.783281896
Interacción	65316191.19	24	2721507.966	12.1258611	4.09299E-32	1.552332162
Dentro del grupo	70024757.81	312	224438.3263			
Total	192565022.6	350				

11.2 **Discusión de resultados:**

El agua es uno de los bienes más preciados y esenciales para la supervivencia de cualquier ser vivo por lo que consumir agua que cumpla con criterios aceptables es de suma importancia para el ser humano, en Guatemala existen regiones donde el acceso al agua potables es muy escaso por lo que se han desarrollado diferentes métodos de purificación de agua entre ellos los filtros de cerámica por lo que en esta investigación se desarrollaron diferentes materiales filtrantes para el acondicionamiento del agua para consumo humano.

Al comparar todos los valores de enterobacterias de las unidades filtrantes, se puede observar que al aumentar el contenido de arcilla y el diámetro de partícula se presenta una reducción significativa en la cantidad de enterobacterias presentes. Las unidades filtrantes con diámetros de partícula pasado tamiz 40 y tamiz 100 con recubrimiento de plata coloidal 15 ppm y 25 ppm con las tres formulaciones presenta una remoción completa de enterobacterias logrando la desinfección del agua. Según la norma Coguanor NGO 29 001: 99 el límite máximo para el parámetro de bacterias es cero y al comparar los resultados obtenidos dichos filtros cumplen con la norma. De la misma forma la inter comparación de las unidades filtrantes pasado tamiz 40 y tamiz 100 con recubrimiento de plata coloidal 15 ppm y 25 ppm con las tres formulaciones, nos revelan que muestran la misma calidad para el filtrado de agua.

Según la norma Coguanor NGO 29 001: 99 el límite máximo para el parámetro de coliformes totales es cero y al comparar los resultados obtenidos dichos filtros cumplen con la norma. De la misma forma la inter comparación de las unidades filtrantes pasado tamiz 40 y tamiz 100 con recubrimiento de plata coloidal 15 ppm y 25 ppm con las tres formulaciones, nos revelan que muestran la misma calidad para el filtrado de agua.

Según la norma Coguanor NGO 29 001: 99 el límite máximo para el parámetro de E. coli es cero y al comparar los resultados obtenidos dichos filtros cumplen con la norma. De la misma forma la inter comparación de las unidades filtrantes pasado tamiz 40 y tamiz 100 con recubrimiento de plata coloidal 15 ppm y 25 ppm con las tres formulaciones, nos revelan que muestran la misma calidad para el filtrado de agua.

Para la prueba de alcalinidad se observa que los valores sugeridos por la norma tanto para el límite máximo aceptable como para el límite máximo permisible son sobrepasados únicamente por los filtros cuyo diámetro de partícula es pasado tamiz 10 para las formulaciones 75 y 70 por ciento independientemente si están o no recubiertos de plata coloidal.

Se observa que para el filtro de diámetro 40 y un porcentaje de 70 por ciento los valores de alcalinidad están por debajo del límite máximo aceptable. Se observa un comportamiento normal para todas las unidades filtrantes de diámetro 40 y 75 y 80 por ciento y para todas las de diámetro 100 independientemente de la formulación presentando mejores resultados que los filtros comerciales.

Según se observa la capacidad de remoción de solidos disueltos de la mayoría de filtros iguala o supera a los filtros comerciales a excepción de los diámetros de partícula pasado tamiz 100 formulación de 80 y 70 por ciento con recubrimiento de plata, la formulación pasada tamiz 10 y 70 por ciento. Estos presentan un incremento de sólidos respecto de la muestra de agua al igual que los filtros comerciales, no obstante, se mantienen por debajo de los límites indicados en la norma (límite máximo aceptable).

Para el parámetro de pH los valores obtenidos de las unidades filtrantes se encuentran todos por debajo del límite máximo permisible registrando los valores más bajos (muy cercanos a 7) los de

diámetro de partícula de 10 y 40 para porcentajes de 75 y 80. Todas las unidades filtrantes presentan valores menores comparados con los filtros comerciales.

Para el parámetro de salinidad se observa que el 80 por ciento de las unidades filtrantes fabricadas mantienen un comportamiento menor a los 200 mg/L reduciendo incluso la salinidad de la muestra de control de agua y al compararlo con el filtro comercial, tres filtros presentan un valor mayor. Es importante hacer notar que los filtros comerciales incrementan la salinidad del agua.

Para el parámetro de conductividad eléctrica se observa que el 80 por ciento de las unidades filtrantes fabricadas mantienen un comportamiento menor a los 400 mg/L reduciendo incluso la conductividad de la muestra de control de agua y al compararlo con el filtro comercial, cuatro filtros presentan un valor mayor. 22 de las unidades filtrantes fabricadas disminuyen considerablemente la conductividad eléctrica.

Se observa que todas las unidades filtrantes fabricadas reducen la cantidad de cloro total, independientemente de la formulación, diámetro de partícula y recubrimiento de plata. Para las unidades filtrantes se observa que al aumentar la cantidad de carbón aumenta la capacidad de remoción de cloro total. El 55 por ciento de las unidades filtrantes removieron por completo la cantidad de cloro total presente en la muestra de agua registrando valores menores a los del filtro comercial. La totalidad de las unidades filtrantes se encuentran por debajo del límite máximo permisible para el parámetro de cloro total.

Todas las unidades filtrantes fabricadas reducen la cantidad de cloro libre, independientemente de la formulación, diámetro de partícula y recubrimiento de plata. Para las unidades filtrantes se observa que al aumentar la cantidad de carbón aumenta la capacidad de remoción de cloro libre. El 55 por ciento de las unidades filtrantes removieron por completo la cantidad de cloro libre presente en la muestra de agua registrando valores menores a los del filtro comercial. La totalidad de las unidades filtrantes se encuentran por debajo del límite máximo permisible para el parámetro de cloro libre. El 33 por ciento de las unidades filtrantes fabricadas registran valores por encima del límite máximo permisible (1 mg/L).

Todas las unidades filtrantes fabricadas reducen la dureza de la muestra de agua y todos tienen valores menores comparados con el filtro comercial. Solamente 4 de las unidades filtrantes están por encima del límite máximo aceptable. El 85 por ciento de los filtros se encuentran muy por debajo de límite máximo permisible (200 mg/L).

pH

Según la figura No. 9 se observa que el potencial de hidrogeno no se ve afectado al variar la cantidad de fibras naturales de bambú en la formulación del elemento filtrante manteniéndose todos debajo del límite máximo permisible indicados en la norma COGUANOR NTG 29001.

Al evaluar el efecto del tamaño de partícula de las fibras naturales de bambú sobre el potencial de hidrogeno se observa que no existe diferencia significativa sobre el potencial de hidrogeno del agua filtrada para las formulaciones propuestas.

Al evaluar el efecto de la plata sobre el potencial de hidrogeno se observa que se da un aumento observable en la formulación con recubrimiento de 25 ppm de plata coloidal sobre el potencial de hidrogeno del agua filtrada para las formulaciones propuestas. Lo anterior debido a que las cargas de los iones de plata alteran el potencial de hidrogeno del agua.

Solidos disueltos

Al evaluar el efecto del tamaño de partícula de las fibras naturales de bambú sobre el contenido de solidos disueltos se observa una disminución respecto al contenido de fibra debido que al disminuir el contenido de fibra el elemento filtrante es más compacto evitando el desprendimiento del material que conforman el filtro.

Al evaluar el efecto del tamaño del diámetro de partícula sobre el contenido de solidos disueltos se observa que existe un leve aumento de los mismos en la medida que el tamaño de partícula disminuye, esto debido al tiempo de residencia de la muestra de agua en el filtro. Es notable que en la medida en que el diámetro de partícula se reduce la rigidez del filtro aumenta y el agua filtrada arrastra una mayor cantidad de sólidos, que quedan disueltos o incluso en suspensión.

No existe diferencia significativa sobre el contenido de solidos disueltos al variar el contenido de plata, esta propiedad se ve afectada únicamente por el diámetro de partícula y la formulación.

E.coli

Al evaluar el efecto del tamaño de partícula de las fibras naturales de bambú sobre el numero formador de colonias E. coli se observa que conforme disminuye el contenido de fibras naturales las unidades formadoras de colonias disminuyen hasta desaparecer, teniendo una desinfección completa en diámetros de partícula 40 y 100.

Al evaluar el efecto del diámetro de partícula de las fibras naturales de bambú sobre el numero formador de colonias E. coli se observa que conforme aumenta el diámetro de partícula las unidades formadoras de colonias disminuyen hasta desaparecer, teniendo una desinfección completa en diámetros de partícula 40 y 100.

Al evaluar el efecto del contenido de plata sobre el numero formador de colonias E. coli se observa que conforme aumenta el contenido de plata las unidades formadoras de colonias se reducen, confirmando el efecto bactericida de la plata logrando la desinfección completa del agua.

Enterobacterias

Al evaluar el efecto del tamaño de partícula de las fibras naturales de bambú sobre las unidades formadoras de colonias de enterobacterias se observa que conforme disminuye el contenido de fibras naturales las unidades formadoras de colonias disminuyen hasta desaparecer, teniendo una desinfección completa en diámetros de partícula 40 y 100.

Al evaluar el efecto del diámetro de partícula de las fibras naturales de bambú sobre las unidades formadoras de colonias de enterobacterias se observa que conforme aumenta el diámetro de partícula las unidades formadoras de colonias disminuyen hasta desaparecer, teniendo una desinfección completa en diámetros de partícula 40 y 100.

Al evaluar el efecto del contenido de plata sobre las unidades formadoras de colonias de enterobacterias se observa que conforme aumenta el contenido de plata las unidades formadoras de colonias se reducen, confirmando el efecto bactericida de la plata logrando la desinfección completa del agua.

Coliformes Totales

Al evaluar el efecto del tamaño de partícula de las fibras naturales de bambú sobre las unidades formadoras de colonias de coliformes totales se observa que conforme disminuye el contenido de fibras naturales las unidades formadoras de colonias disminuyen hasta desaparecer, teniendo una desinfección completa en diámetros de partícula 40 y 100.

Al evaluar el efecto del diámetro de partícula de las fibras naturales de bambú sobre las unidades formadoras de colonias de coliformes totales se observa que conforme aumenta el diámetro de partícula las unidades formadoras de colonias disminuyen hasta desaparecer, teniendo una desinfección completa en diámetros de partícula 40 y 100.

Al evaluar el efecto del contenido de plata sobre las unidades formadoras de colonias de coliformes totales se observa que conforme aumenta el contenido de plata las unidades formadoras de colonias se reducen, confirmando el efecto bactericida de la plata logrando la desinfección completa del agua.

Alcalinidad

La alcalinidad solo se vio afectada en los diámetros de partícula 10 y formulación con mayor contenido de fibra, debido al tiempo de retención en la unidad filtrante es demasiado corto. Manteniéndose los valores sobre el límite máximo permisible y el límite máximo aceptable.

Salinidad

Al evaluar el efecto del tamaño de partícula de las fibras naturales de bambú sobre la salinidad se observa que al disminuir el contenido de fibra disminuye la salinidad.

Al evaluar el efecto del diámetro de partícula de las fibras naturales de bambú sobre la salinidad se observa que al aumentar el diámetro de partícula aumenta la salinidad.

No existe diferencia significativa en la salinidad al variar el contenido de plata en las unidades filtrantes.

Conductividad

Al evaluar el efecto del tamaño de partícula de las fibras naturales de bambú sobre la conductividad eléctrica se observa que al disminuir el contenido de fibra disminuye la conductividad eléctrica, estando todos los valores por debajo del valor del límite máximo aceptable.

Al evaluar el efecto del diámetro de partícula de las fibras naturales de bambú sobre la conductividad eléctrica se observa que Al aumentar el diámetro de partícula aumenta la conductividad eléctrica, estando todos los valores por debajo del valor del límite máximo permisible.

No existe diferencia significativa en la conductividad eléctrica al variar el contenido de plata en las unidades filtrantes.

Dureza

Al evaluar el efecto del tamaño de partícula de las fibras naturales de bambú sobre la dureza se observa que conforme aumenta la cantidad de fibras naturales se ve afectada la reducción de dureza de la muestra, pese a esto todos los valores quedan por debajo del límite máximo permisible.

Al evaluar el efecto del diámetro de partícula de las fibras naturales de bambú sobre la dureza se observa que conforme aumenta el diámetro de partícula aumenta la dureza de la, pese a esto todos los valores quedan por debajo del límite máximo permisible.

Cloro libre

Al evaluar el efecto del tamaño de partícula de las fibras naturales de bambú sobre el contenido de cloro se observa que al disminuir el porcentaje de fibra en las unidades filtrantes disminuye el porcentaje de cloro libre registrado en las muestras de agua analizadas.

Al evaluar el efecto del diámetro de partícula de las fibras naturales de bambú sobre el contenido de cloro se observa que al aumentar el diámetro de partícula en las unidades filtrantes disminuye la cantidad de cloro libre registrado en las muestras de agua analizadas.

Cloro total

Al evaluar el efecto del tamaño de partícula de las fibras naturales de bambú en el contenido de cloro total se observa que aumenta el contenido de cloro conforme al contenido de fibra disminuye.

Al evaluar el efecto del diámetro de partícula de las fibras naturales de bambú en el contenido de cloro total se observa que conforme aumenta el diámetro de partícula disminuye el contenido de cloro total logrando incluso la remoción total de cloro.

Análisis estadístico

Al analizar los resultados de los análisis ANOVA respecto a la influencia del contenido de fibras naturales en la elaboración de las unidades filtrantes se determinó que no existe una diferencia estadística significativa al variare el contenido de fibras en las unidades filtrantes, ya que el valor de F es inferior al de F critica tal como se observa en la tabla de resultados No.

Al analizar los resultados de los análisis ANOVA respecto a la influencia del diámetro de partícula de las fibras naturales en la elaboración de las unidades filtrantes se determinó que existe una diferencia estadística significativa al variare el diámetro de partícula de las fibras en las unidades filtrantes, ya que el valor de F es superior al de F critica tal como se observa en la tabla de resultados No.

Al analizar los resultados de los análisis ANOVA respecto a la influencia del recubrimiento de plata coloidal en el interior de las unidades filtrantes se determinó que existe una diferencia estadística significativa al variare la concentración del recubrimiento de plata coloidal en las unidades filtrantes, ya que el valor de F es superior al de F critica tal como se observa en la tabla de resultados No.

12. Referencias

Aguilar, P., García, J., y Wasserman, B. (2008). Estudio preliminar de la síntesis de carbones activados de bambú. 12, 6.

Aguilar, P., Wasserman, B., y García, J. (s. f.). Evaluación ambiental preliminar de una instalación turística cubana. 4.

Arias, J., & Meneses, C. . (2019). *Evaluación de la eficiencia de remoción de arsénico y fenoles en el filtro de arcilla Ekofil plus® usado para el tratamiento de agua a nivel casero* (Doctoral dissertation, Universidad Santiago de Cali).

Agrafioti, E., Bouras, G., Kalderis, D., Diamadopoulos, E., 2013. Biochar production by sewage sludge pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 101, 72-78.

Araníbar, H. (2018). Utilización de una arcilla modificada para la adsorción de metales pesados en un efluente minero. *Ñawparisun-Revista de Investigación Científica*, *1*(1).

Bourgeois, P. (2016). *El extraordinario poder curativo de la arcilla*. Parkstone International.

COGUANOR NTG. (2009). *Agua para consumo humano (agua potable)*. (NTG 29001). https://www.mspas.gob.gt/images/files/saludabmiente/regulacionesvigentes/AguaConsumoHumano/NormaTecnicaGuatemaltecaNTG29001.pdf

Cartagena, J. (2001). *Prueba de la aceptación del filtro de cerámica impregnado con plata coloidal en el barrio El Ocotal de Guinope* . Zamorano.

Cortez, M., Revilla, G., Velázquez, T, & Cárdenas, S. (2012). Uso de una arcilla orgánica como material de empaque de un filtro para depurar aire contaminado con tolueno. *Interciencia*, *37*(8), 614-620.

Castro, D., & Villamarin, K. (2013). *Caracterización y activación química de arcilla tipo bentonita para su evaluación en la efectividad de remoción de fenoles presentes en aguas residuales* (disertación doctoral, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Química Industrial).

Creamer, A.E. & Gao, B., 2016. Carbon-based adsorbents for postcombustion CO2 capture: A critical review. *Environ Sci Technol* 50, 7276-7289

Delgado, G. (2010). Estudio de filtros cerámicos para el diseño y desarrollo de sistemas domésticos de bajo costo. *II Congreso Iberoamericano de Investigación Artística y Proyectual y V Jornada de Investigación en Disciplinas Artísticas y Proyectuales (La Plata, 2010)*.

Fang, J., Zhan, L., Ok, Y.S., Gao, B., 2018. Minireview of potential applications of hydrochar derived from hydrothermal carbonization of biomass. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 57, 15-21.

Figueredo, A., & Chowdhury, R. (2019). Conceptualization of community-based entrepreneurship: A case study of Ecofiltro in Guatemala. *European Association of Work and Organizational Psychology in Practice*, *2*(11), 77-101.

Jackson, K., & Smith, J. (2018, marzo 1). A New Method for the Deposition of Metallic Silver on Porous Ceramic Water Filters [Research Article]. https://doi.org/10.1155/2018/2573015

Gallardo, T., Arellano, S., Torres, P., López, S., & Osorio, G. (2003). Preparación y caracterización de una arcilla porosa de estructura heterogénea (PCH). *Revista de la Sociedad Química de México*, *47*(3), 240-244.

González, M.E., Cea, M., Reyes, D., Romero-Hermoso, L., Hidalgo, P., Meier, S., Benito, N., Navia, R., 2017. Functionalization of biochar derived from lignocellulosic biomass using microwave technology for catalytic application in biodiesel production. *Energy Conversion and Management* 137, 165-173.

Hermosín, M., Real, M., Cornejo, J., Cox, L., & Celis, R. (2014). Ensayos Preliminares para el Empleo de Arcillas como Material Filtrante de Aguas Contaminadas con Pesticidas de Olivar. *Macla: revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 18, 70-72.

Hernández, M., Velasco, J., Rojas, F., Lara, V., Salgado, M., & Tamariz, V. (2003). Evaluación de mesoporos y caracterización de arcillas del estado de Puebla, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, *19*(4), 183-190.

Kou, M. (2007). Preparación de filtros de adsorción a base de arcillas modificadas. *Revista eciperú*, *4*(1), 18-21.

Lazo, J., Navarro, A., Sun-Kou, M., & Llanos, B. (2007). Empleo de Arcillas Modificadas para la adsorción de fenol presente en soluciones acuosas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, *73*(3), 166-170.

Li, X., Shen, Q., Zhang, D., Mei, X., Ran, W., Xu, Y., & Yu, G. (2013). Functional Groups Determine Biochar Properties (pH and EC) as Studied by Two-Dimensional 13C NMR Correlation Spectroscopy. *PLOS ONE*, *8*(6), e65949. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065949

Mendoza, Á., Vidal, L., Hurtado, E., Maestre, R. B., & Acuña, R. S. (2019). Sistema de tratamiento de aguas superficiales para consumo humano en la microcuenca del Río Carrizal, Ecuador. *La Técnica*, (21), 97-112.

Palansooriya, K.N., Yang, Y., Tsang, Y.F., Sarkar, B., Hou, D., Cao, X., Meers, E., Rinklebe, J., Kim, K.-H., Ok, Y.S., 2019. Occurrence of contaminants in drinking water sources and the potential of biochar for water quality improvement: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 1-63.

Parada, J. D. C., Alarcón, R. A., Pacheco, J. F., & Ramírez, C. (2016). Recopilación de experiencias en la potabilización del agua por medio del uso de filtros. *Inventum*, *11*(20), 53-60.

Pérez, F. J., Marcial, P. R., & Matamoros, D. (2009). Proyecto Semilla:"Evaluación de Sistemas de Filtración Agua de Bajo de Costo para Consumo Humano". *Fac. Ing. En Ciencias la Tierra*, 8.

Palansooriya, K.N., Yang, Y., Tsang, Y.F., Sarkar, B., Hou, D., Cao, X., Meers, E., Rinklebe, J., Kim, K.-H., Ok, Y.S., 2019. Occurrence of contaminants in drinking water sources and the potential of biochar for water quality improvement: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 1-63.

Pezo, D., Muschler, R., Tobar, D., & Pulido, A. (2019). *Intervenciones y tecnologías ambientalmente racionales (TAR) para la adaptación al cambio climático del sector agropecuario de América Latina y el Caribe*. Inter-American Development Bank.

Ramírez, E. R., Andrade, J. J. G., Juárez, M. C. S., & Ortega, Y. G. (2002). Caracterización de arcillas del Estado de Guanajuato y su potencial aplicación en cerámica. *Acta Universitaria*, *12*(1), 23-30.

Undabeytia López, T., Posada Baquero, R., Nir, S., Galindo, I., Laiz Trobajo, L., Sáiz-Jiménez, C., & Morillo González, E. (2014). Eliminación de microorganismos patógenos en aguas mediante filtración usando complejos polímeros-minerales de arcilla. *XXlll Reunión de la Sociedad Española de Arcillas*

Willmer, W. A. M. L., & La Cruz, Z. (2017) Filtro de arcilla cilíndrico hueco para la purificación del agua. *Revista Electrónica Facultad de Ingeniería UVM*.

Zuñiga, O. O., Cobas, G. G., Rivera, J. G., & Hernández, K. T. (2016). Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeima (Ibagué, Colombia). *Ingeniería solidaria*, *12*(19), 19-36.

Potters for peace. (2010). Pottersforpeace. Recuperado 11 de julio de 2020, de Potters website: https://www.pottersforpeace.org

Viscarret, A., Melitón, L., Larrea, H., Ardenghi, R., 2017. *Filtros cerámicos para reducción de arsénico en aguas de consumo humano.* Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Avellaneda, Avellaneda, Buenos Aires.

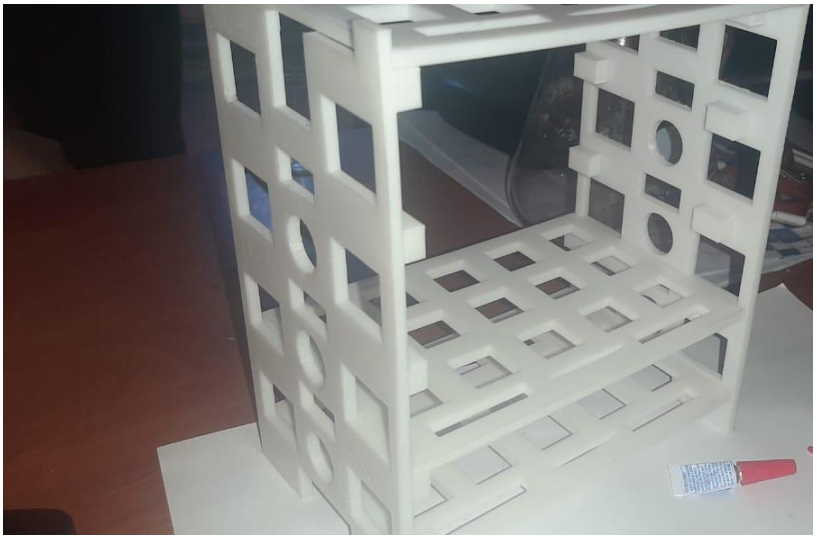
Wang, B., Gao, B., Fang, J., 2017. Recent advances in engineered biochar productions and applications. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 47, 2158-2207.

Yakub, I. (2012). *Micro- and Nano- Porous Adsorptive Materials for Removal of Contaminants from Water at Point-of-Use*. Recuperado de http://adsabs.harvard.edu/abs/2012PhDT.....47Y

13. Apéndice

Fotografías

Imprimiendo equipo para el filtrado de elementos filtrantes de arcilla



Soporte impreso en la impresora 3D para colocar las placas de Petrifilm en la incubadora de muestras.

Calibración de la incubadora para muestras de análisis microbiológico

Balanza adquirida en el proyecto

Inicio de la construcción del horno para la elaboración del filtro

Mezcla de cemento y levantado de paredes del horno

Llenado de las paredes del horno

Secado del horno

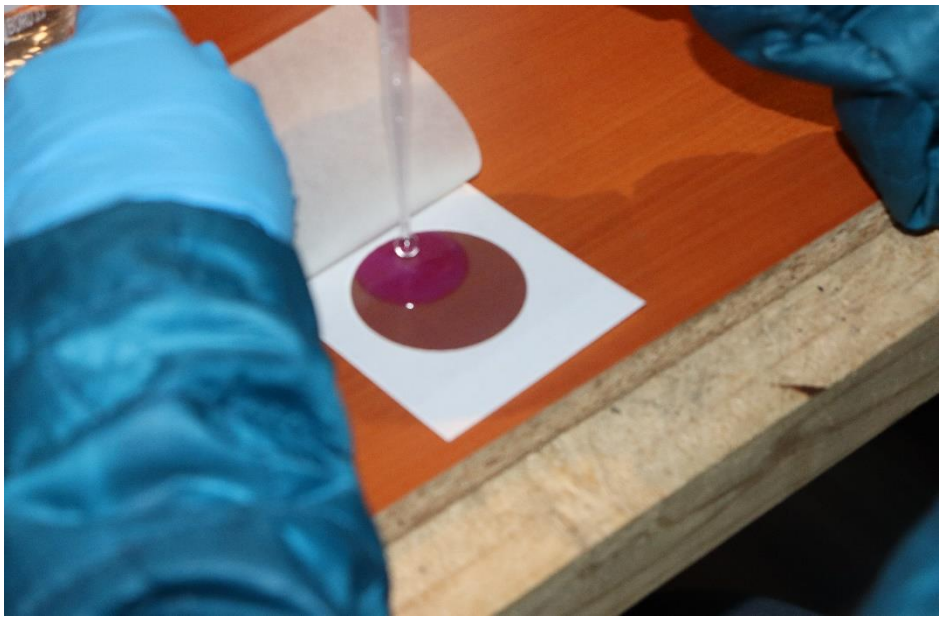
Aplicación de la primera capa utilizando arcilla y cemento

Aplicación de la segunda capa utilizando sabieta

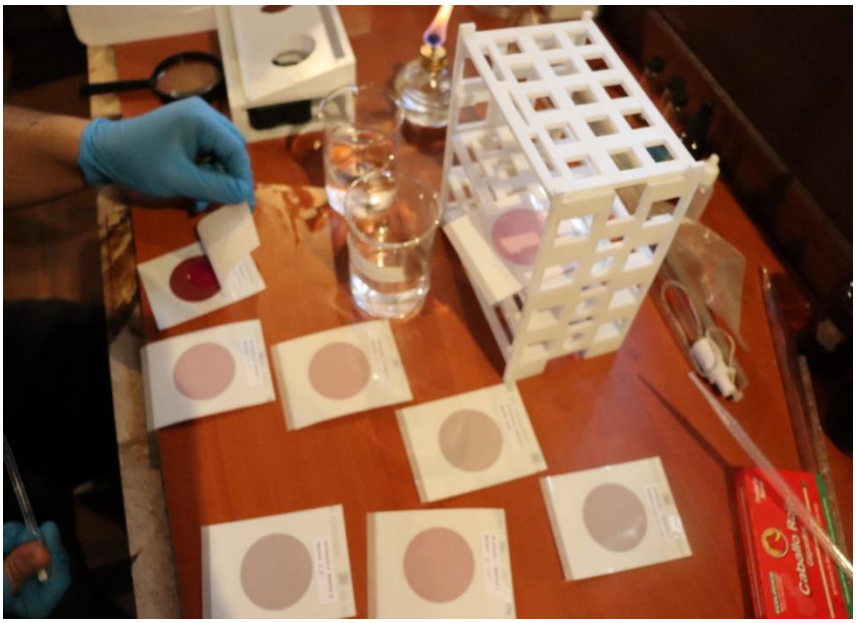
Finalización de la construcción del horno

Sembrado para el cultivo de Enterobacterias

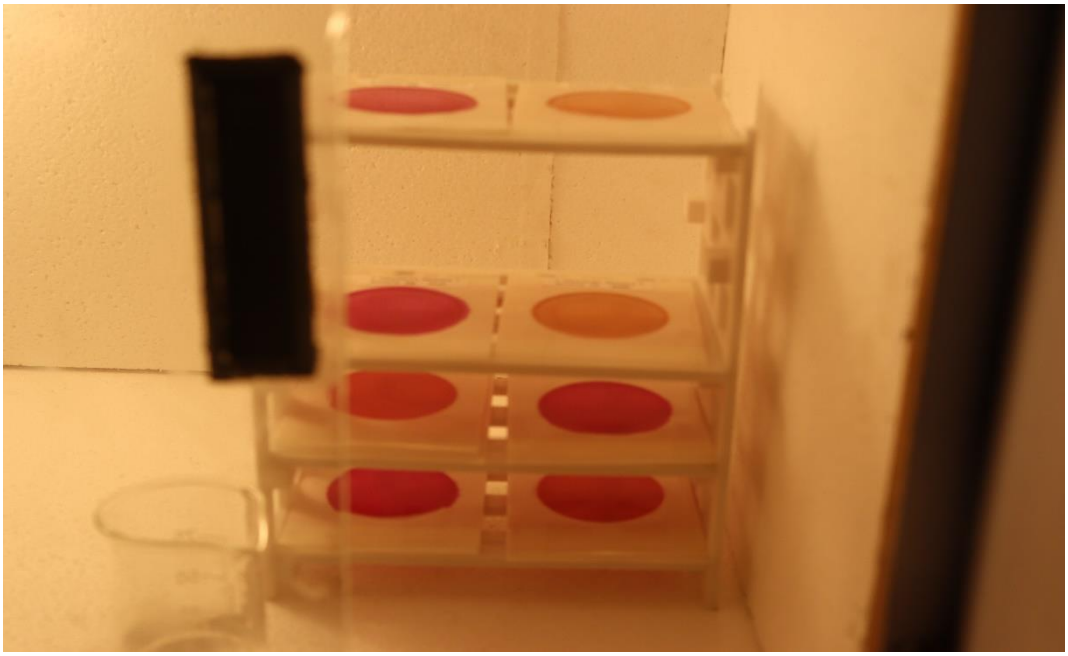
Sembrado para el cultivo de Coliformes totales y E.coli



Sembrado de Enterobacterias al agua filtrada



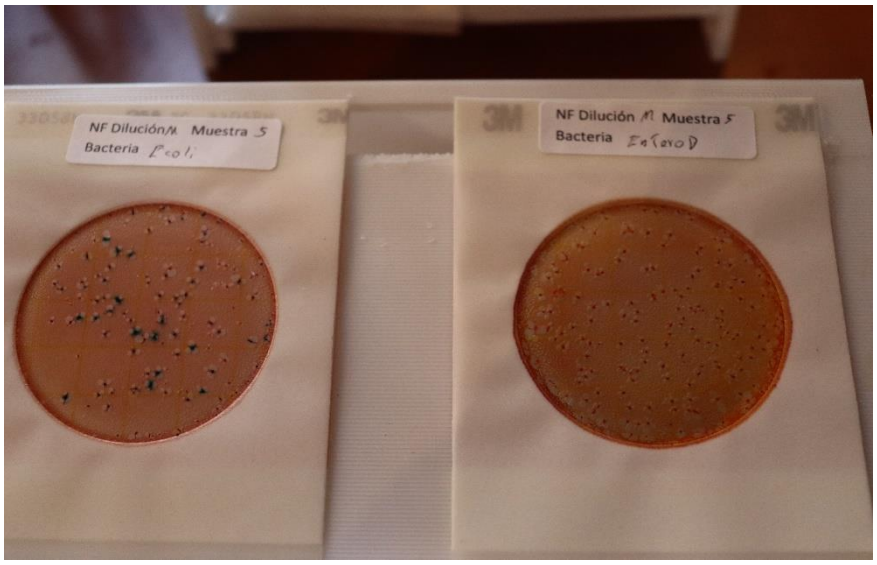
Sembrado de Coliformes Totales y Ecoli al agua filtrada



Colocación de las placas de petrifilm en la incubadora

Colocación de las placas de petrifilm en el contador de bacterias

Recuento de Coliformes totales y Ecoli



Muestras incubadas durante un lapso de 24 horas

Mezcla de arcilla, aserrín y agua para elaborar un elemento filtrante

Pruebas con diferentes arcillas

Puebas de unidades filtrantes con diferentes formulaciones y arcillas

Moldes impresos en PETG para la fabricacion de las unidades filtrantes

Arcilla utilizada en la fabricación de los elementos filtrantes

Aserrin de bambu pasado tamiz 10

Pesado de arcilla y aserrín segunda formulación diámetro de partícula tamiz 40

Mezclas de arcilla con aserrin de bambu tamiz 10

Mezcla con arcilla, aserrin de bambu y 125 militros de agua

Mezclas de arcilla, y aserrín de bambú, listas para utilizarlas en el molde tamiz 40

Mezcla de arcilla, y aserrín de bambú listas para utilizarlas en el molde tamiz 10

Mezcla antes de introducirla al molde

Ajustando el molde de las unidades filtrantes

Colocando el material en el molde

Aplicación de presión en el molde con el material para formar la unidad filtrante

Unidad filtrante después de que se le aplico presión y fue desencofrada del molde

Unidades filtrantes fabricadas con diámetro de partícula tamiz 10 y formulación 70/30

Unidades filtrantes fabricadas con diámetro de partícula tamiz 10 y formulación 75/25

Unidades filtrantes partícula tamiz 10 secándose

Unidades filtrantes fabricadas con diámetro de partícula tamiz 100 y formulación 80/20

Mezclas pesadas con diámetro de partícula tamiz 40 formulación 70/30

Mezclas pesadas con diámetro de partícula tamiz 100 formulación 70/30

Mezcla de arcilla, y aserrín de bambú, con 135 mililitros de agua, tamiz 100

Unidades filtrantes fabricadas con diámetro de partícula tamiz 100 y formulación 75/25

Unidades filtrantes fabricadas con diámetro de partícula tamiz 100

Unidades filtrantes fabricadas con diámetro de partícula pasado tamiz 10, 70 % de arcilla y 30% de aserrín de bambú

Unidades filtrantes fabricadas con diametro de particula pasado tamiz 10, 75 % de arcilla y 25% de aserrin de bambú

Unidades filtrantes fabricadas con diámetro de partícula pasado tamiz 10, 80 % de arcilla y 20% de aserrín de bambú

Unidades filtrantes fabricadas con diámetro de partícula pasado tamiz 10 y 40, y diferentes formulaciones

Unidades filtrantes fabricadas con diámetro de partícula pasado tamiz 100, 70 % de arcilla y 30% de aserrín de bambú

Unidades filtrantes fabricadas con diámetro de partícula pasado tamiz 100, 75 % de arcilla y 25% de aserrín de bambú

Unidades filtrantes fabricadas con diferentes diámetros de partícula y misma formulación, 70 % de arcilla y 30% de aserrín de bambú

Unidades filtrantes fabricadas con diámetro de partícula pasado tamiz 10, con diferentes formulaciones, con plata coloidal, 30 y 15 partes por millón

Unidades filtrantes fabricadas con diámetro de partícula pasado tamiz 40, diferentes formulaciones, con plata coloidal, 30 y 15 partes por millón

Unidades filtrantes fabricadas con diámetro de partícula pasado tamiz 100, diferentes formulaciones, con plata coloidal, 30 y 15 partes por millón

Unidades filtrantes fabricadas con diferentes formulaciones y diámetros de partícula y diferentes baños de plata coloidal

Elaboración de las soluciones de plata coloidal

Toma de la solución de plata coloidal con brocha para la aplicación

Aplicación de plata coloidal a las unidades filtrantes

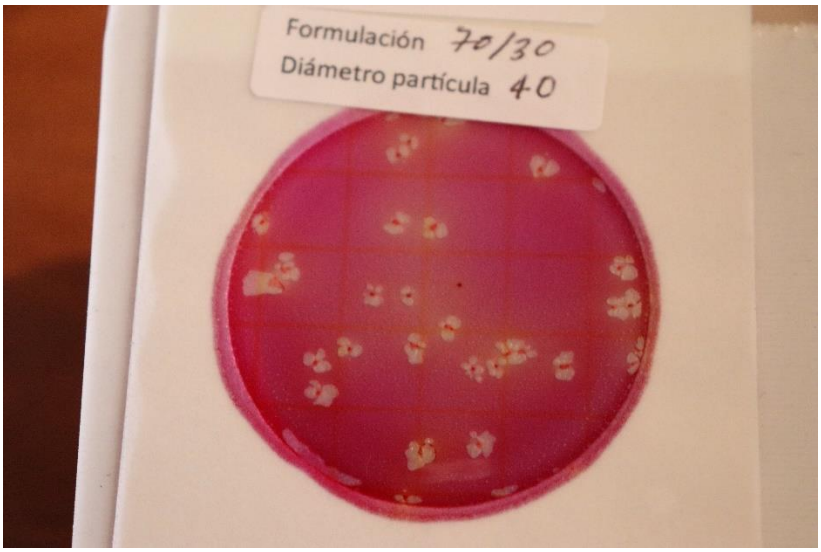
Agregando agua para ser filtrada por las unidades filtrantes

Recolección del agua filtrada

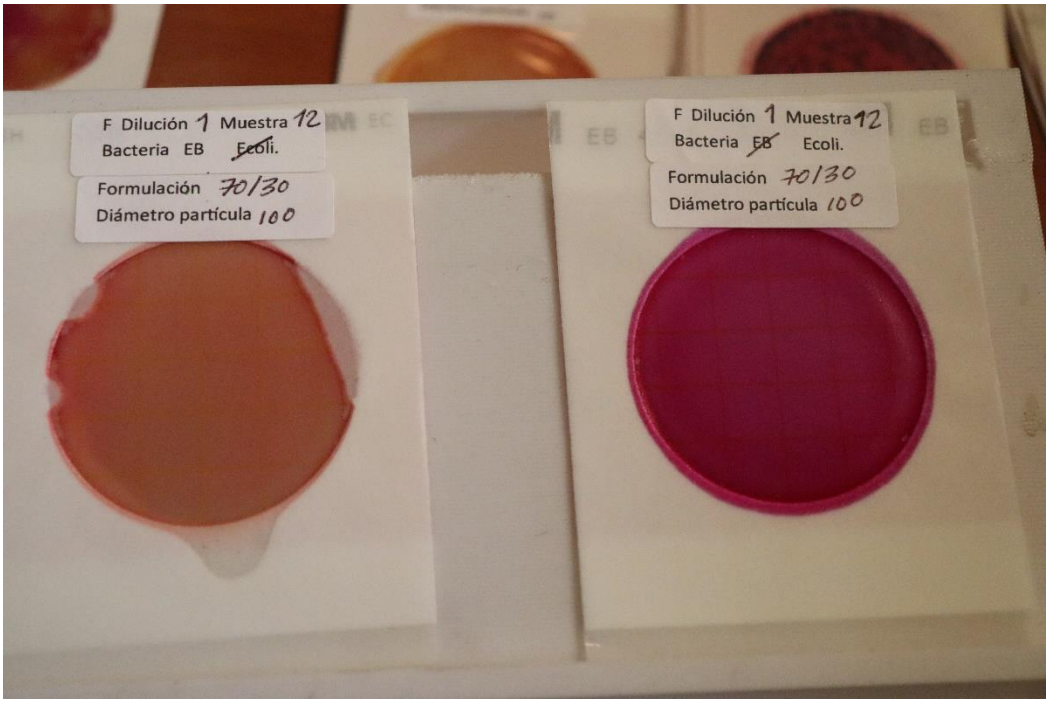
Medición del contenido de cloro al agua filtrada

Medición de la salinidad del agua filtrada

Cultivo de una muestra de agua antes de ser filtrada



Cultivo de entere bacterias de agua filtrada donde se aprecia una reducción de 10 veces la carga bacteriológica



Cultivo de agua filtrada donde se aprecia que la carga bacteriología fue completamente eliminada al ser filtrada el agua

14. Aspectos éticos y legales

No aplica.

15. Vinculación

- Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad, instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala
- Fundación Solar
- Proyecto Industrialización del Bambú de Taiwán, en Guatemala,
- ONGS que tengan proyectos de ayuda social
- Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Centro de Investigaciones de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos.
- Sección de Tecnología de la Madera, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Entidades Gubernamentales que trabajan en el área de bosques y Ambiente como:
    - Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
    - Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
    - Ministerio de Desarrollo Social
    - Instituto Nacional de Bosques
    - Programa Nacional de Competitividad (PRONACOM)

16. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual

- Publicación de los resultados en la revista de Ciencia, Tecnología y Salud de la Digi a través de un artículo científico.
- Publicación de los resultados en la revista del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Realización de talleres en la Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigación de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala para dar a conocer los resultados y técnicas utilizadas en la fabricación de los materiales filtrantes y como fabricar un filtro.

- Publicación en los boletines técnicos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería.
- Dar a conocer los resultados en radio Universidad, 92.1, en el programa de Ingeniería para el siglo XXI.
- Difusión a través de redes sociales: página de la Sección de Tecnología de la Madera, página oficial del Centro de Investigaciones de Ingeniería.
- Dar a conocer los resultados en los congresos estudiantiles de la Facultad de Ingeniería a través de conferencias e invitaciones a los estudiantes interesados en conocer el laboratorio multipropósito de la Sección de Tecnología de la Madera, Facultad de Ingeniería.

17. Aporte de la propuesta de investigación a los ODS:

El origen de Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se gestaron en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, celebrada en Río de Janeiro en 2012. El propósito era crear un conjunto de objetivos mundiales relacionados con los desafíos ambientales, políticos y económicos con que se enfrenta nuestro mundo. Los ODS abordar los problemas más urgentes a los que hoy se enfrenta el mundo y en Guatemala uno de los principales problemas tanto a nivel rural como urbano es el acceso al agua lo que tiene injerencia en una u otra forma en varios objetivos.

Ods número 1 Fin de la pobreza

Muchas personas carecen de acceso a alimentación y agua potable tanto por nivel económico como por problemas ambientales, por lo que es de suma importancia el acceso al agua potable ya que sin el vital líquido no es posible la vida al mejorar la calidad de agua de las personas tenemos impacto en lo económico y en la salud de las personas mejorando sus calidad de vida, este objetivo también requiere enfocarse en los más vulnerables, aumentar el acceso a los accesos a los recurso y servicios básicos y el agua es uno de los servicios básicos.

Ods número 3 Salud y Bienestar

Las enfermedades transmitidas por alimentos y agua (ETA´s), constituyen un importante problema de Salud Pública, debido a su magnitud, trascendencia, tendencia fluctuante y aumentos en su comportamiento durante el año, lo que ha significado etapas de emergencia, re emergencia, aparición de agentes nuevos con potencial epidémico y el incremento a la resistencia a los antimicrobianos con impacto negativo económico, en grupos de población.

La buena salud es esencial para el desarrollo sostenible, al ter una fuente constante de agua limpia se reducirían las enfermedades relacionadas al agua mejorando la calidad de vida de las personas, reducirían los costos asociados a las enfermedades mejorando la económica familiar

Ods número 6 Agua Limpia y Saneamiento

El acceso al agua afecta a más del 40 por ciento de la población mundial y cada vez más países están experimentando estrés hídrico y el aumento de las sequias y la desertificación está empeorando por lo que el acceso al agua limpia cada vez es más difícil y en condiciones de pobreza se agrava.

En Guatemala 4 millos de guatemaltecos no tiene acceso al agua y el 90 por ciento de la fuente de agua están contaminada por lo que es de suma importancia poder garantizar a la población el acceso al agua limpia y este proyecto pretende darles una opción a la población y a la universidad de darles una solución tanto para programas de la universidad sociales como a la población en general al tener acceso a la información generada en este proyecto

Ods número 11 Ciudades y comunidades sostenibles

Uno de los temas que abarca este objetivo dice que no es posible lograr un desarrollo sostenible sin transformar radicalmente la forma en que construimos y administramos los espacios urbanos, El rápido crecimiento de las urbes en el mundo en desarrollo destruye los lugares de recarga hídrica y los bosques disminuyendo las fuentes y el acceso al agua limpia por lo que está ligado el acceso y buen uso del agua al construir una comunidad sostenible

Ods número 12 Producción y consumo responsables

Este objetivo empieza diciendo que para lograr el crecimiento económico y desarrollo sostenible, es urgente reducir la huella ecológica mediante un cambio en los métodos de producción y consumo de bienes y recursos, la agricultura es el principal consumidor de agua en el mundo y el riego representa hoy el 70 por ciento de toda el agua dulce disponible para el consumo humano, por lo que es de suma importancia el buen uso de este elemento y que pueda llegar de una forma responsable y de calidad a la población, al desarrollar un filtro de agua ayudaría a la población de mayor riesgo a manejar de mejor forma este bien.

18. Orden de pago final

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
Mauricio Valentino Rivera Tello	Coordinador	20141714	Si	
Vera Lucia Tatuaca Rosales	Investigadora	20170389	Si	

19. Declaración del coordinador(a) del proyecto de investigación

El coordinador de proyecto de investigación con base en el *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación*, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

Mauricio Valentino Rivera Tello	**Firma**
Fecha: 25/11/2021	

20. Aval de la directora del centro de investigación

De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe mensual de las actividades realizadas en el proyecto (escriba el nombre del proyecto de investigación) en mi calidad de (indique: Director del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario), mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

Vo.Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales Directora del Centro de Investigaciones de Ingeniería	**Firma**
Fecha: 25/11/2021	

21. Visado de la Dirección General de Investigación

Vo.Bo. Inga. Liuba María Cabrera Ovalle de Villagrán **Coordinadora del Programa Universitario de Investigación**	**Firma**
Fecha: 25/11/2021	

Vo.Bo. Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar **Coordinador General de Programas Universitarios de Investigación**	**Firma**
Fecha: 25/11/2021	