



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Programa Universitario de Investigación en Alimentación y Nutrición –PRUNIAN–

nombre del programa universitario de investigación de la Digi

“Eficiencia de filtros artesanales elaborados con diferentes tipos de roca en la potabilización de agua para consumo humano.”

nombre del proyecto de investigación

4.8.50.6.01

número de partida presupuestaria

Centro Universitario del Quiché -CUSACQ-

unidad académica o centro no adscrito a unidad académica que avaló el proyecto

Midzar Daniel García Estrada

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

Guatemala, 28/02/2025

lugar y fecha de presentación del informe final dd/mm/año



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Contraportada

Autoridades de la Dirección General de Investigación

Dra. Alice Burgos Paniagua

Directora General de Investigación

Inga. Liuba María Cabrera Ovalle

Coordinadora del Programa Universitario de Investigación

Autores

Midzar Daniel García Estrada, 2012-1206

Leyzer Aurelio López Noriega, 2014-1437

Benjamín Oliverio León Medrano, 2012-1207

Jenifer Gabriela Recinos Reyna, 201942616

Ana Evelyn Reyes Reyes, 201706132

Héctor Alfredo Taquiej Álvarez, 201645944

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 la partida presupuestaria número: 4.8.50.6.01 en el Programa Universitario de Investigación en Alimentación y Nutrición – PRUNIAN-

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



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Contenido

Resumen	1
Abstract	2
Keywords	2
1. Introducción	3
2. Contexto de la investigación	6
3. Revisión de literatura	8
4. Planteamiento del problema	11
5. Objetivos	13
5.1 Objetivo General	13
5.2 Objetivos Específicos	13
6. Hipótesis (si aplica)	13
7. Método	14
7.1 Tipo de investigación	14
7.2 Enfoque y alcance de la investigación	15
7.3 Diseño de la investigación	16
7.4 Población, muestra y muestreo	17
7.5 Técnicas	18
7.6 Resumen de las variables o unidades de análisis	19
7.7 Procesamiento y análisis de la información	21
8 Aspectos éticos y legales	25
9 Resultados y discusión	25
10. Propiedad intelectual	44
11. Beneficiarios directos e indirectos	45
12. Estrategia de divulgación y difusión de los resultados	46
13. Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND)	47
14. Contribución al desarrollo de iniciativas de ley	48
15. Vinculación	48
16. Conclusiones	49
17. Recomendaciones	50
Referencias	52



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Apéndice	56
Declaración del coordinador (a) del proyecto de investigación	62
Aval del director (a) del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro regional universitario	62
Aprobación de la Dirección General de Investigación.....	63



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Resumen

En este proyecto de investigación, se desarrollaron filtros artesanales con cuatro tipos de roca, el fin de estos era potabilizar agua para consumo humano. Las rocas utilizadas son la pómez, basalto, mica y caliza. El tipo de investigación aplicada para este proyecto fue la cuantitativa. Los filtros elaborados tenían el mismo tamaño y capacidad de carga. Se analizó el agua antes y después del proceso de filtrado, los factores analizados en este proyecto eran tanto fisicoquímicos, ejemplo, cloruros, nitritos, así como bacteriológicos, ejemplo la cantidad de E. coli. Las diferencias entre el agua sin filtrar y el agua filtrada se analizaron estadísticamente con la prueba de Kruskal-Wallis. Los resultados arrojaron que las rocas de tipo caliza y basalto no son capaces de filtrar agua mientras que las rocas pómez y mica, estadísticamente no demostraron tener la capacidad filtrante necesaria para poder afirmar que potabilizan el agua. Posiblemente fue por la alta carga bacteriana que contenía la fuente de agua utilizada en este proyecto.

Este proyecto fue realizado con un equipo formado por tres investigadores y tres auxiliares de investigación, contratados por la Dirección General de Investigación -DIGI- siendo el lugar donde se realizó en la ciudad de Santa Cruz del Quiché. La fuente de agua para este proyecto fue la Laguna de Lemoa. Esta investigación y sus resultados serán utilizados para analizar otro tipo de roca u otro tipo de proceso filtrante para nuevos proyectos que en la actualidad no existe la suficiente información relacionada a los filtros de roca artesanales.

Palabras clave

1. Filtros de agua	2. Agua potable	3. Rocas	4. Análisis fisicoquímicos	5. Análisis bacteriológicos
--------------------	-----------------	----------	----------------------------	-----------------------------



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Abstract

In this research project, artisanal filters were developed using four types of rock, the purpose of which was to purify water for human consumption. The rocks used were pumice, basalt, mica, and limestone. The type of research applied for this project was quantitative. The filters were of the same size and carrying capacity. The water was analyzed before and after the filtration process. The factors observed were both physicochemical, such as chlorides and nitrites, and bacteriological, such as the amount of *E. coli*.

The differences between unfiltered and filtered water were statistically analyzed using the Kruskal-Wallis test. The results showed that limestone and basalt rocks are not capable of filtering water, while pumice and mica rocks did not statistically demonstrate the necessary filtering capacity to be considered potable. This was possibly due to the high bacterial load contained in the water source used in this project. This project was carried out by a team of three researchers and three research assistants, hired by the General Directorate of Research (DIGI), located in the city of Santa Cruz del Quiché. The water source for this project was Laguna de Lemoa. This research and its results will be used to analyze other types of rock or filtration processes for new projects, as there is currently insufficient information on artisanal rock filters.

Keywords

Water filters, drinking water, rocks, physicochemical and bacteriological analyses.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

1. Introducción

El presente proyecto de investigación, tuvo como objetivo principal determinar la idoneidad de la utilización de filtros artesanales elaborados con roca para potabilizar agua para consumo humano. Actualmente, de acuerdo a Chán (2015) el 90% del agua urbana que se utiliza para usos domésticos provienen de fuentes superficiales, además se indica que en Guatemala los principales ríos se encuentran contaminados, principalmente se pueden señalar como causantes de esta contaminación a microbios, elementos tóxicos y sedimentos, cuya fuente principal son todas las descargas de aguas negras de poblados que lamentablemente no tratan el agua contaminada. La cantidad de contaminación en algunos ríos, según el mismo autor, excede por mucho la cantidad máxima permitida, lo cual representa un grave riesgo a la salud de todas las personas que hacen uso de estas fuentes de agua.

Encontrar manantiales que no estén contaminados, ya sea con plásticos, metales pesados, bacterias y otros elementos contaminantes como se mencionó anteriormente es complicado. La contaminación ambiental y sequías obligan a miles de personas a depender de suministros nada seguros ya que la mayoría de proveedores de este valioso líquido no cumplen con los reglamentos existentes.

En el pasado, los métodos de purificación de agua de tipo artesanal, según lo indica Rodríguez (2010) eran aplicados por la población para eliminar elementos tanto físicos como químicos, como tierra, utilizando filtros de algodón, filtros de manta y para sustancias químicas o bacteriológicas, se utilizaban elementos como hervir el agua, aplicar cloro, utilización de botellas de color verde y dejándolas varios días en la intemperie para que la acción de la luz solar pudiera eliminar microorganismos, eran uno de los tantos métodos que se empleaban, para purificar o potabilizar el agua. Actualmente la única forma de tener certeza de que el agua es potable, es realizar análisis fisicoquímicos y bacteriológicos los cuales son demasiado costosos y las condiciones pueden alterar los resultados de un día para otro. Entre estos métodos de purificar agua, se tenía la utilización de los filtros de piedra, los



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

materiales utilizados para este propósito iban desde el basalto, piedra pómez, la mica y la caliza.

Por varias generaciones estos filtros eran utilizados en muchos hogares. Actualmente los filtros artesanales, elaborados con roca, están en desuso por la entrada al mercado de filtros elaborados con cerámica, debido porque para la mayoría de la población, el uso de filtros cerámicos es confiable, su disposición y alternativas de pago para obtener uno de estos filtros es más accesible. El estudio de la eficiencia de estos filtros de roca de acuerdo a Meléndez (2020) son escasos y se limitan a mostrar su filtrado sobre parámetros como el arsénico, la dureza o metales pesados, siendo necesario estudios completos, como el presente proyecto de investigación. Por este motivo es necesario realizar estudios que permitan asegurar que existe una roca que pueda utilizarse como filtro artesanal de agua.

Lo anteriormente mencionado es corroborado por varias investigaciones que demuestran que la contaminación de las reservas de agua es un fenómeno generalizado. Una contaminación, que produce la mayor cantidad de emergencias hospitalarias es la contaminación bacteriológica, ya que, de acuerdo a Chan Santiesteban & Peña (2015) en la mayoría de puntos analizados en Guatemala, se encuentran focos de contaminación por coliformes lo que hace que sea imposible su consumo sin recibir tratamiento.

Actualmente en el mercado se pueden comprar varios tipos de filtros de agua, que van desde los industriales a los de tipo casero. Los filtros industriales por la complejidad de instalación y mantenimiento son en la práctica imposibles de ser utilizados en los hogares guatemaltecos, los de tipo casero, principalmente los filtros de olla de cerámica, los cuales se comercializan en el mercado guatemalteco con varios nombres, a pesar de tener un precio relativamente bajo, no han llegado a las áreas rurales debido principalmente a que su precio es elevado para para la mayoría de hogares. Los filtros caseros de cerámica tienen otro inconveniente, se deben cambiar cada seis meses, lo que provoca que su uso para la mayoría de la población sea vista como algo caro y se prefiere utilizar otro tipo de métodos de purificación de agua.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Otro factor que produce la baja aceptación de los filtros artesanales es la poca información que se tiene sobre la capacidad de purificar agua y si realmente son confiables. Por ejemplo, se menciona que los filtros de roca artesanales, a pesar de haber sido utilizados por muchos años en miles de hogares, actualmente han caído en desuso y no hay informes e investigaciones que permitan conocer a ciencia cierta si son capaces de eliminar agentes patógenos y sustancias que puedan provocar un daño en la salud de los consumidores del agua filtrada por este tipo de método. Siendo necesario realizar investigaciones que permitan establecer si efectivamente los filtros artesanales cumplen con la función de potabilizar el agua para consumo humano de igual manera que su contraparte de los filtros caseros de olla de cerámica. (Rivas, 2014, p.61).

Por los motivos antes expuestos, utilizaban sobre la necesidad de conocer la eficiencia de los filtros artesanales de potabilizar el agua, es necesario realizar una evaluación de los filtros artesanales elaborados a partir de diferentes tipos de roca, ya que estos filtros se han utilizado por mucho tiempo en comunidades rurales de Guatemala, pero actualmente, como se mencionó anteriormente, no existen estudios sobre los resultados de filtrar agua con estos dispositivos.

Para analizar la eficiencia se utilizó la norma COGUANOR NTG 29001 que fija los valores de las características que definen la calidad del agua potable. Esta norma guatemalteca se aplica principalmente al agua para destinada específicamente para consumo humano, ya sea para beber, utilizada en la elaboración de alimentos, también el agua que se utiliza en el hogar o lugar de trabajo y cuya fuente sea pozos de agua privados, de distribución pública, ríos, lagunas o cualquier tipo de fuente donde el agua tenga el destino de ser utilizada en los hogares. No se puede aplicar esta norma al agua que provenga de agua embotellada o refrescos, ya que para este tipo de análisis se aplica otra norma.

Los filtros que se utilizaron en este proyecto de investigación, se elaboraron de los materiales de basalto, mica, pómez y caliza, todos del mismo tamaño, con las mismas dimensiones en su estructura para eliminar con esto parámetros de diseño, como se puede



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

mencionar el grosor de las paredes, volumen de carga, que definitivamente alteran la capacidad de los mismos.

Se debe mencionar que la fuente de agua para este proyecto se obtuvo de la laguna de Lemoa, ubicada en el municipio de Santa Cruz del Quiché y que provee agua a varias comunidades de los alrededores. El motivo de utilizar agua proveniente de este lugar, se debió a que el agua de esta laguna se utiliza para usos domésticos por los vecinos que viven en los alrededores. Además, que, debido a varios estudios realizados en este lugar, se sabe que se encuentra con un alto grado de contaminación.

Los factores fisicoquímicos analizados en este proyecto de investigación son el color, turbiedad, pH, conductividad, dureza total, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitritos, hierro total y manganeso total, todos estos son parámetros analizados son necesarios para determinar la potabilidad del agua.

En cuanto a los factores bacteriológicos, se analizaron la cantidad de Coliformes totales y *Escherichia coli*, cuya presencia en el agua, indica que el agua puede estar contaminada con desechos orgánicos o aguas negras, definitivamente este indicador permite asegurar el riesgo de contraer enfermedades. Estos análisis fisicoquímicos y bacteriológicos se analizaron en un laboratorio privado y corroborados en el Laboratorio de Control del Agua del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social localizado en el Municipio de Santa Cruz del Quiché.

2. Contexto de la investigación

2.1 Delimitación en tiempo

Para este proyecto de investigación, fue necesario doce meses de trabajo, comenzando en febrero del 2024 y finalizando todos los procesos de análisis en febrero de 2025. La primera fase fue obtener los materiales, como materiales se debe tener en cuenta que se habla de la roca que se utilizó para elaborar los filtros artesanales, este tipo de roca fue la caliza, la mica,



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

la pómez y el basalto que fue obtenido en diferentes puntos del Departamento de El Quiché. La segunda fase consistió en la compra del equipo para elaborar los filtros artesanales, utilizando dos meses. La tercera fase consistió en poner a prueba los filtros de agua artesanales, esta fase duró tres meses en los cuales se realizaron análisis cada quince días y la última fase consistió en analizar los resultados obtenidos en los exámenes fisicoquímicos y bacteriológicos de los ensayos.

2.2 Delimitación espacial

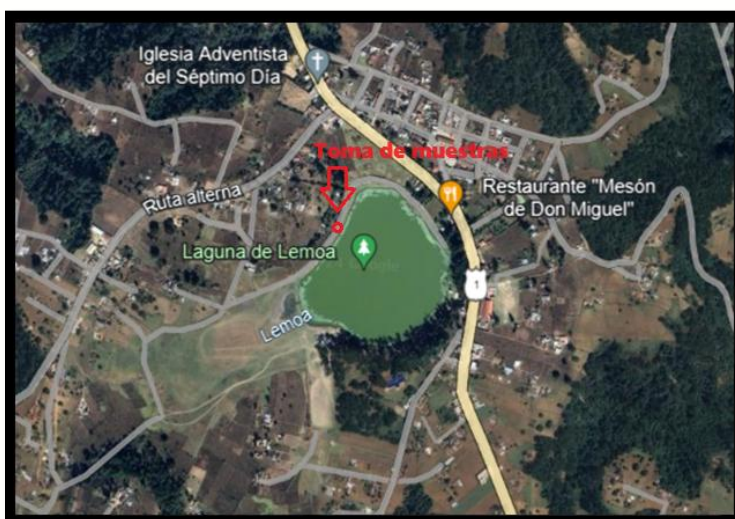
Este proyecto de investigación se realizó en el departamento de El Quiché. Específicamente en el municipio de Santa Cruz del Quiché, lugar donde se encuentra el Centro Universitario de Quiché. La laguna de Lemoa, fue escogida para este proyecto debido a que es una fuente de agua potable para cientos de personas de escasos recursos.

En la siguiente figura se muestra la ubicación geo referenciada de la Laguna de Lemoa y el punto donde se obtuvieron las muestras a lo largo del desarrollo de este proyecto de investigación. Se decidió tomar las muestras en el mismo lugar para evitar introducir más variables al diseño experimental.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Figura 1

Localización de la laguna de Lemoa, 14°59'25''N 91°07'25''W y punto de toma de muestras



Fuente: Google (s.f.). [Vista de localización de la laguna de Lemoa, Santa Cruz del Quiché, El Quiché, Guatemala]

3. Revisión de literatura

Un método casero para la filtración de agua que fue investigado por Pérez-Vidal et al. (2016) son los filtros de olla de cerámica, cuyo método consistió en poner en funcionamiento por seis meses este tipo de filtros. Esta investigación fue realizada en Colombia. Se filtraban siete y medio litros de agua todos los días. Intencionalmente se introdujo la bacteria *E. coli*, por medio de la cepa ATCC 95922. En este proyecto el agua filtrada presentaba unas 32.3 ± 2.8 de unidades nefelométricas de turbidez y una concentración de bacterias *E. coli* de 390,000 Unidades Formadoras de Colonias por 100 mL en promedio. Luego del filtrado la unidad nefelométrica de turbidez bajó a dos y la *E. Coli* se redujo por completo. Comprobando la efectividad de este tipo de filtros artesanales para los hogares ya que son seguros de utilizar.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Otro proyecto de investigación fue el de Lara et al. (2002) donde analizaron la capacidad de almejas de agua dulce - *Diplodon chilensis*- como elementos filtrantes con potencial de biofiltro para reducir los niveles de coliformes en pozos de baja profundidad. Este estudio fue realizado en áreas rurales de Chile, debido a que en estos sectores el acceso a agua potable es escaso y a la vez es necesario e indispensable para la salud de la población. Análisis previos en estos pozos de agua arrojaron cifras de coliformes fecales de hasta 5400 NMP en 100 ml. Considerando para este caso la capacidad de filtración de la almeja de agua dulce *Diplodon chilensis*, fue posible realizar esta investigación donde se determinó que las almejas poseen capacidades filtrantes ya que al medir los niveles de coliformes nuevamente se notó una reducción en los índices o niveles de coliformes, también se demostró que las almejas tienen la capacidad de digerir la carga bacteriológica lo cual representa una gran ventaja para poblaciones rurales ya que contribuyen al desarrollo sostenible.

Por su parte, Solís (2019) investigó la eficacia del filtro de bioarena para la potabilización del agua ubicado en un pueblo de Perú. El filtro utilizado fue elaborado con cemento y llenado con arena y grava de distintos tamaños, se elaboraron un total de 16 Filtros de bioarena. La metodología que se empleó consistió en tomar 5 muestras de diferentes pozos y analizarla para verificar los cambios del agua, tanto en sólidos suspendidos, análisis fisicoquímicos y microbiológicos, todas estas muestras se compararon con los Límites Máximos Permisibles del reglamento peruano. En conclusión, este proyecto de investigación demostró que al utilizar este tipo de filtro se puede reducir considerablemente los factores microbiológicos y esto fue confirmado con el análisis estadístico.

Otro proyecto analizado es el de Talavera et.al (2018) y consistió en fabricar un filtro de agua elaborado con nanocompósito de arcilla y carboximetilquitosano con nanopartículas de plata. Esta investigación pretendía verificar si estos filtros son capaces de eliminar o reducir algunos tipos de bacterias presentes en el agua para consumo humano. Para este tipo de filtros se colocaban arcilla mezclada con viruta de madera, lo que se conoce en otros lugares como aserrín. Seguidamente, estos filtros eran empapados con la dispersión coloidal de carboximetilquitosano y nanopartículas de plata.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Se encontró que estos filtros son capaces de reducir la conductividad, los sulfatos y también cloruros. La presencia de cloruros puede provenir principalmente por contaminación de aguas residuales, además la presencia de cloruro en el agua de consumo puede afectar negativamente al sabor y aumentar el potencial corrosivo del agua. Altos niveles de cloruros pueden causar problemas de potabilidad en las aguas de consumo humano. Además de bacterias y los coliformes totales se removieron en un 100 %. No se encontraron bacterias coliformes por lo tanto se puede afirmar que este tipo de filtros artesanales presentan una disminución significativa en la eliminación de aniones, coliformes fecales y partículas.

Zanini et.al (2014) estudió la factibilidad de utilizar filtros de arena con carbón activado para eliminar pesticidas de agua que se destinaba para consumo humano. Este proyecto fue desarrollado en Brasil. Este equipo de investigación demostró que los filtros convencionales no eliminan los pesticidas en su totalidad y que es necesario utilizar otro tipo de filtrado para eliminar completamente los pesticidas encontrados en el agua. Por este motivo fue necesario elaborar filtros lentos de arena y nuevamente filtrar el agua con filtros de carbón activado. Los resultados demostraron que el carbón activado es capaz de eliminar el herbicida atrazina, por lo menos a escala de laboratorio y con ello asegurar que el agua que procede de este tipo de sistemas de filtros son capaces de eliminar compuestos químicos peligrosos.

Una investigación realizada por Rivas et.al (2014) consistió en analizar y evaluar el sistema de potabilización de agua constituido por filtros de bioarena y dióxido de titanio. Este sistema de tratamiento -ST- fue elaborado utilizando un filtro de bioarena -FBA- con un material adsorbente de dióxido de titanio, con la finalidad de potabilizar agua. Este filtro fue puesto a prueba por ciento veinte y un días, a través del desarrollo de la biocapa. También fue evidente que este tipo de filtro eliminaba la turbiedad del agua y que tenía la capacidad de disminuir el pH posiblemente por el tipo de material alcalino del filtro. Otros factores que se eliminaron son el fierro total, el amonio y coliformes.

Otra interesante investigación, fue realizada por Molina (2016) que consistió en elaborar un filtro artesanal y evaluando su eficiencia para disminuir los niveles en la contaminación de aguas residuales. Este proyecto de investigación realizado en Perú demostró la eficiencia



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

de los filtros de arena y filtro de piedra caliza, en la remoción de parámetros físicos. Los parámetros estudiados se seleccionaron de acuerdo a la legislación del lugar. Los filtros se elaboraron por los propios investigadores y demostraron que tanto el filtro de arena como el de piedra caliza son capaces de eliminar sólidos totales y turbiedad. Ambos filtros se diseñaron con las dimensiones de 1.15 m de largo y 0.90 m de ancho con 2.55 m de altura y 1.00 m^2 de área superficial. Se llegó a obtener con estos filtros artesanales eficiencias de un 60% en la remoción de turbiedad y color, ya que el agua utilizada fue obtenida en época de lluvia.

Por su parte Rodríguez (2018) realizó una investigación que consistía en elaborar un filtro potabilizador ecológico utilizando semillas de Moringa Oleifera. Este estudio buscaba encontrar una forma de purificar agua utilizando material que sean abundantes de la región rural y donde sea complicado utilizar sustancias químicas que permite utilizar materiales donde sea necesario potabilizar agua, debido a que el consumo de agua contaminada es causa de las diez primeras enfermedades prevenibles de la región. Este proyecto fue realizado en Ecuador. Los resultados demostraron que la semilla de la planta antes mencionada es compatible con el ambiente porque es de fuentes naturales renovables y que eliminan la turbidez y hasta el 100 por ciento en eliminación de coliformes fecales. El agua que se utilizó como parámetro de control fue de los ríos Santiago y Ónzole.

4. Planteamiento del problema

Este proyecto de investigación, investigó sobre la eficiencia de los filtros artesanales elaborados con materiales rocosos, tales como la roca pómez, basalto, mica y caliza, la selección de este tipo de material se debe principalmente a que de estos materiales se han fabricado filtros artesanales para potabilizar agua, este tipo de filtros eran ampliamente utilizados en varias comunidades del interior de la república, pero actualmente ya no son utilizados. Fue menester de este proyecto, investigar si el uso de este tipo de filtros, son confiables, si pueden ser utilizados sin que haya riesgo para la salud, debido a que no existe información al respecto.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Los materiales utilizados, según entrevistas realizadas y experiencias personales, para elaborar este tipo de filtros, son el basalto, la mica, la caliza y la pómez. Algunos de estos filtros se observan en lugares públicos, pero simplemente se emplean como artículos decorativos. El uso de este tipo de dispositivos -los filtros artesanales de roca- ha caído en desuso, siendo cambiados por filtros industriales o de tipo cerámico, que son los más utilizados en Guatemala. (Maldonado, 2016, p.65)

Las fuentes de agua naturales son utilizadas por los pobladores del área rural de Guatemala para abastecerse de este vital líquido. En el Municipio de Santa Cruz del Quiché, se encuentra la Laguna de Lemoa, se encuentra a 5 km del centro de Santa Cruz del Quiché, siendo un lugar habitado por cerca de 1500 pobladores y es un punto de atracción turística tanto para vecinos y extranjeros. También el agua que se encuentra en este lugar, es utilizada como una fuente de agua para beber y bañarse, debido a esto se necesita dotar a la población de sistemas de purificación de agua seguros, baratos y que tengan una vida útil que permita aprovecharlos al máximo.

Por lo anteriormente descrito es evidente que las personas que utilizan agua de la laguna de Lemoa, como fuente de agua potable, están en riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales, especialmente los niños y personas de edad avanzada (Díaz, 2015, p.35). Se debe agregar que esta aldea no cuenta con drenajes y en temporada de lluvia por arrastre la contaminación se incrementa, de acuerdo a datos del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala que lleva varios años monitoreando las condiciones de este lugar.

Ante el riesgo de miles de familias, que no tienen un acceso seguro y confiable de agua, es necesario desarrollar mecanismos o métodos que permitan potabilizar el agua que se utiliza para consumo humano. Por los motivos anteriormente mencionados es que se desarrolló este proyecto, fabricando cuatro filtros con los materiales antes descritos y filtrando agua obtenida en la laguna antes mencionada, para posteriormente analizar los cambios en los factores fisicoquímicos y bacteriológicos para determinar la eficiencia del filtrado.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

5. Objetivos

5.1 Objetivo General

Determinar la eficacia de potabilización de agua de los filtros artesanales elaborados con roca pómez, caliza, mica y basalto en parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.

5.2 Objetivos Específicos

Evaluar el cambio de los factores fisicoquímicos del agua al ser tratados con los materiales filtrantes de roca pómez, caliza, mica y basalto.

Analizar si los filtros artesanales elaborados con roca son capaces de reducir la carga de microorganismos en el agua.

Establecer la eficacia de los filtros artesanales con el tiempo.

Identificar el mejor tipo de roca para ser utilizada en la elaboración de filtros artesanales potabilizadores de agua

6. Hipótesis (si aplica)

Hipótesis nula (H_0)

Existe una diferencia entre la eficacia de potabilización de agua en los filtros artesanales elaborados con rocas de basalto, pómez, mica y caliza.

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_n$$

μ_1 significa las medias de los resultados de los laboratorios obtenidos para los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Para este caso, las medias obtenidas no son las mismas para cada una de las corridas realizadas por cada filtro de roca.

Hipótesis alternativa (Ha)

No existe diferencia en la eficacia de potabilización de agua en los filtros artesanales elaborados con rocas de basalto, pómez, mica y caliza.

$$\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_n$$

Donde:

μ_1 significa las medias de los resultados de los laboratorios obtenidos para los análisis físicoquímicos y bacteriológicos

Para este caso, las medias obtenidas son las mismas para cada una de las corridas realizadas por cada filtro de roca.

7. Método

7.1 Tipo de investigación.

Por el enfoque y objetivos se aplicó una investigación básica. Se obtuvieron nuevos conocimientos que permiten mejorar los resultados obtenidos, abriendo el camino para nuevas investigaciones que mejoren los resultados obtenidos.

Además, se debe considerar que la investigación desarrollada en este proyecto fue exploratoria, principalmente porque en este proyecto se enfocó en ampliar el conocimiento científico y se buscó comprender los fundamentos de los fenómenos relacionados al proceso de filtración y potabilización del agua por medio de los filtros de roca artesanales empleados en este proyecto. También los objetivos trazados desde un principio, se mantuvieron durante el desarrollo e incluso parte de los procedimientos aplicados en este proyecto se desarrollaron



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

para alcanzar los objetivos trazados. Con este proyecto se contribuye al conocimiento científico.

7.2 Enfoque y alcance de la investigación.

Por el tipo de metodología de este proyecto de investigación, fue necesario aplicar el enfoque cuantitativo, ya que se necesitaba relacionar las variables propuestas que son el tipo de material y el tiempo que se ponen a prueba los filtros artesanales y la eficiencia del filtrado de acuerdo a las normas COGUANOR 29001.

Según Cárdenas (2018) señala que, bajo la perspectiva cuantitativa, la recolección y análisis de datos tienen la función de establecer patrones que relacionan las variables estudiadas o que son objeto de estudio. Este análisis equivale a relacionar el comportamiento de los factores fisicoquímicos y bacteriológicos la tarea de asignarle un número a los datos obtenidos, que en este caso se trata de buscar la relación entre la eficiencia de potabilización y los diferentes tipos de materiales utilizados y el tiempo. Con eficiencia de potabilización se debe entender como la capacidad de los filtros de reducir los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos a niveles que estén dentro de los límites permisibles de tal manera que se pueda considerar cierta cantidad de agua como potable.

Otro aspecto que hay que mencionar, es que este proyecto desarrolló una investigación exploratoria, ya que se buscó estudiar temas poco conocidos. En el desarrollo del anteproyecto, fue un poco complicado encontrar investigaciones que utilizaran filtros artesanales elaborados con diferentes tipos de roca. Al día de hoy, se pretende que nuevas investigaciones puedan enfocarse en condiciones físicas de las rocas que deben emplearse para mejorar la eficiencia de los filtros, además de que es posible agregar elementos químicos a los filtros para mejorar la filtración y potabilización del agua para consumo humano. Los filtros elaborados de roca, que es un material natural, es un tema poco investigado, a pesar de que muchas personas lo han utilizado y lo siguen utilizando, pero no existe la suficiente información al respecto.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

7.3 Diseño de la investigación.

El enfoque de este proyecto de investigación fue cuantitativo, por su diseño y metodología aplicada se considera experimental ya que se estudió la relación entre la capacidad de filtrado y el tipo de material empleado en los filtros de roca. Analizando los efectos del tipo de roca sobre la cantidad de microorganismos y factores fisicoquímicos del agua que se trató de potabilizar.

Para la realización de este proyecto de investigación, se elaboraron cuatro filtros de roca artesanales, elaborados por este equipo de investigación, con el objetivo de determinar si es posible potabilizar agua con estos filtros. Como se ha mencionado, se trató de elaborar 4 filtros con las mismas características, tanto de tamaño, grosor de la pared y cantidad de agua en el depósito del filtro, para descartar factores de diseño en la capacidad de filtrado.

Para la obtención de muestras fue necesario utilizar recipientes nuevos de 5 galones, ya que de esa manera los pobladores obtienen el agua que posteriormente es trasladada a sus hogares. El punto de recolección fue el mismo para todas las muestras que se van a utilizar en este proyecto -ver figura 1-. Posteriormente a este paso, en el laboratorio del Centro Universitario del Quiché, se empleó un recipiente estéril de 100 mL el cual fue enviado al laboratorio donde se realizaron los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos.

Para procesar la información se siguieron los siguientes pasos.

- Paso 1. Se tomó una muestra de agua por medio de extracción directa en la laguna de Lemoa, el punto fue el que se muestra en la figura 1. El recipiente fue de 5 galones, nuevo y sin uso, que posteriormente era trasladado al Laboratorio del Centro Universitario del Quiché.
- Paso 2. En el laboratorio se utilizaba un recipiente estéril, de 100 mL el cual era enviado al laboratorio para su análisis, debidamente sellado y empaquetado. Siguiendo las indicaciones de la Norma Técnica Guatemalteca -COGUANOR- NTG 29 006



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Paso 3. Con el agua restante del recipiente de 5 galones, se procedía a llenar los filtros artesanales, midiendo el tiempo que se empleaba en filtrar completamente el agua dentro del filtro.
- Paso 4. Se procedía a recolectar el agua filtrada por cada uno de los filtros artesanales, en cuatro diferentes recipientes, siguiendo las normas COGUANOR NTG 29 006 para luego enviarlas nuevamente al laboratorio para su análisis.
- Paso 5. Con los resultados del laboratorio, tanto los realizados antes del proceso del filtrado como los posteriores al filtrado, se procedía a analizar las diferencias, tanto en la entrada como en la salida de cada filtro.

El procedimiento anteriormente descrito se repetía cada 15 días, atendiendo que las condiciones de contaminación de la laguna de Lemoa, cambia con el tiempo, siendo necesario analizar la eficiencia de los filtros

Los pasos del 1 al 5 se repitieron seis veces, dando como resultado un tiempo de tres meses. Fue necesario para cada corrida de filtrado, para los cuatro filtros, realizar análisis fisicoquímicos y bacteriológicos al agua antes de ser filtrada y posteriormente realizar nuevamente análisis fisicoquímicos y bacteriológicos al agua obtenida por cada uno de los filtros.

7.4 Población, muestra y muestreo.

Las muestras obtenidas para ser analizadas se obtuvieron del mismo lugar. La cantidad de repeticiones o corridas que se realizaron en este proyecto eran seis. Estas repeticiones incluían análisis tanto fisicoquímicos como bacteriológicos. Una muestra se tomaba para ser analizada antes de ser filtrada por los filtros artesanales y posteriormente se analizaban 4 muestras obtenidas de los filtros. Con este tipo de procedimiento se pudo analizar la diferencia entre al agua antes de ser filtrada y el agua después de ser filtrada, para obtener

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

una diferencia que permitiera, por medio de análisis estadísticos, determinar si efectivamente los filtros cambiaban las condiciones fisicoquímicas y bacteriológicas del agua.

El análisis que se ajustó a las necesidades investigativas de este proyecto de investigación, fue el método de prueba de hipótesis de Kruskal-Wallis, el cual de acuerdo a Triola (2009) es una prueba que se utiliza para probar la hipótesis nula de que tres o más muestras independientes provienen de poblaciones idénticas. Como variables independientes los factores fisicoquímicos y bacteriológicos asociándolos con el tipo de filtro.

Se eligió este tipo de prueba de hipótesis ya que el número de experimentos fue de seis, considerando que los datos obtenidos no se ajustaban a una curva de distribución normal. Con esta consideración fue posible aplicar la prueba de hipótesis elegida para este proyecto de investigación.

Este análisis fue utilizado para determinar si existía diferencia en la capacidad de los filtros para potabilizar agua. Este método de pruebas de hipótesis es utilizado cuando la cantidad de datos no es mayor a 30 y dado el caso de este proyecto donde se realizaron seis experimentos, este tipo de prueba se ajustó perfectamente a las demandas experimentales.

7.5 Técnicas

Con los procedimientos antes descritos, se procedió a tabular todos los datos para todos los parámetros que serán estudiados en este proyecto de investigación.

1. Cada parámetro estudiado fue analizado por medio de la prueba de hipótesis de Kruskal-Wallis.
2. Con todos los datos tabulados se procedió a analizar la dispersión del comportamiento de los parámetros en cada corrida para determinar si en cada proceso de filtrado los filtros artesanales pierden su eficiencia

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

3. El análisis individual fue muy importante para determinar en primer lugar si los filtros artesanales elaborados con diferentes tipos de piedra eran eficaces para potabilizar agua para consumo humano.
4. Con los datos obtenidos se pudo determinar, de acuerdo a los valores individuales de cada parámetro, si los filtros eran capaces de potabilizar agua, ya que cada tipo de roca tiene estructuras moleculares diferentes y por lo tanto los resultados no pueden ser los mismos. para eliminar microorganismos

7.6 Resumen de las variables o unidades de análisis

Tabla 1

Objetivos, variable, instrumentos y unidad de medida o cualificación utilizada en la investigación.

Objetivo específico	Variable	Instrumentos	Unidad de medida o cualificación
Evaluar el cambio de los factores fisicoquímicos del agua al ser tratados con los materiales filtrantes de roca pómez, caliza, mica y basalto.	Color, Olor, Turbiedad, Conductividad eléctrica, Dureza total, Calcio, Magnesio, Sulfato, Manganeseo, Hierro total, Nitrato, Nitrito, Coliformes totales, Escherichia coli	Instrumental de laboratorio, Tubos de ensayo, balanzas analíticas,	Color (U-Pt-Co) Olor, Turbiedad (UNIT), Conductividad eléctrica (μS/cm), Dureza total (mg/L), Calcio (mg/L), Magnesio (mg/L), Sulfato (mg/L), Manganeseo (mg/L), Hierro total (mg/L),



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

			Nitrato (mg/L), Nitrito (mg/L)
Analizar si los filtros artesanales elaborados con roca son capaces de reducir la carga de microorganismos en el agua.	Factores microbiológicos del agua potable según Norma COGUANOR 29 001	Instrumental de laboratorio, Tubos de ensayo, balanzas analíticas, incubadoras, matraces	Coliformes totales, Escherichia coli
Identificar el mejor tipo de roca para ser utilizada en la elaboración de filtros artesanales potabilizadores de agua	Número de filtrados	Programa de computo	Prueba de hipótesis de Kruskal-Wallis para determinar si existe diferencia en la eficacia de los filtros para reducir microorganismos
Identificar el tipo de roca entre la pómez, mica, basalto y caliza que pueda ser utilizada para elaborar filtros potabilizadores de agua	Tipo de material	Programas de cómputo, calculadora	Mediciones fisicoquímicas, bacteriológicas y tiempo Prueba de hipótesis de Kruskal-Wallis para determinar si existe diferencia en la eficacia de los filtros para reducir microorganismos



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

7.7 Procesamiento y análisis de la información.

En este proyecto de investigación se analizaron variables independientes las cuales son el tipo de roca y la eficiencia de estos filtros para potabilizar agua para consumo humano. Estas variables son independientes porque de ellas dependían los resultados de potabilización del agua. El tipo de piedra influyó en el proceso de filtrado y el tiempo según lo observado no afecta el funcionamiento de los filtros. A medida que los filtros eran utilizados, es decir a medida que pasaba el tiempo, estos supuestamente perderían su capacidad filtrante, ya sea por agotamiento de los compuestos de los cuales estaban constituidos o por deterioro de los mismos era de esperar que esta capacidad disminuyera, pero según lo observado no se pudo observar este fenómeno.

Se analizaron factores fisicoquímicos y bacteriológicos de acuerdo a las Normas COGUANOR 29 001 las cuales son una de las variables dependientes de este estudio. Las variables dependientes son el color, olor, turbiedad, conductividad eléctrica, cloro residual, dureza total, calcio, magnesio, sulfato, manganeso, hierro total, nitrato, nitrito, coliformes totales y E. coli.

De acuerdo a Vallejo et.al (2010) uno de los métodos que se utilizan para analizar datos no mayores a 30, es la prueba de Kruskal-Wallis. Para el caso de este proyecto de investigación, se esperaban 6 observaciones por cada filtro, dando un total de 30 datos estadísticos, 6 para cada filtro artesanal. Además, se utilizó este tipo de análisis estadístico en datos ya que no se ajustan a una curva de distribución normal. Se pudo justificar que los datos eran no probabilísticos debido a que la cantidad de contaminación encontrada en cualquier fuente de agua cambia con el tiempo, principalmente en tiempo de lluvia, ya que los lixiviados aumentan considerablemente la contaminación, de acuerdo a Chán (2019) se observa un aumento en la contaminación de las fuentes de agua en época de lluvia. Como los datos obtenidos no se ajustan a una curva de distribución normal se eligió la prueba de



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Kruskal-Wallis para comprobar que no existe diferencia entre el agua antes y después de ser filtrada.

Para la toma de las muestras, como se ha indicado antes, estas eran tomadas en recipientes nuevos, de 5 galones, en el mismo punto, las seis veces que requiere este proyecto, a nivel del agua, ya que de esta manera adquieren el agua los pobladores de la laguna, en pozos que se encuentran en la orilla de la laguna.

Tabla 2

Formato de datos obtenidos en el proceso de filtrado para ser analizado por la prueba de Kruskal-Wallis para las UFC

Corrida	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4
1	Dif 1,1	Dif 1,2	Dif 1,3	Dif 1,4
2	Dif 2,1	Dif 2,2	Dif 2,3	Dif 2,4
3	Dif 3,1	Dif 3,2	Dif 3,3	Dif 3,4
4	Dif 4,1	Dif 4,2	Dif 4,3	Dif 4,4
5	Dif 5,1	Dif 5,2	Dif 5,3	Dif 5,4
6	Dif 6,1	Dif 6,2	Dif 6,3	Dif 6,4
Rango	R1	R2	R3	R4

Nota: El dato Dif 5,3 por ejemplo, es la diferencia entre el valor de las UFC después de filtrada la muestra en la corrida 5 por el filtro 3, menos el valor de UFC antes del filtrado. Esto es en otras palabras, la Dif es igual al valor de entrada menos el valor de salida.

R1 es el rango para el filtro de basalto, R2 es el rango para el filtro de caliza, R3 es el rango para el filtro de mica y R4 es el rango del filtro de piedra pómez.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

El rango hace referencia al orden que tienen los resultados obtenidos, se deben ordenar de menor a mayor, colocando el número que indica el orden en el listado obtenido de las diferencias. Se deseaba probar que existe diferencia entre los filtros y que esos resultados podían ser significativos.

Este análisis se realizó para cada uno de los elementos de análisis del laboratorio. Es decir, que se realizó una prueba de Kruskal-Wallis para la turbiedad, dureza, calcio, etc. Esto para determinar si los filtros eran eficaces en potabilizar el agua proveniente de la laguna de Lemoa.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 3

Parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos analizados por cada filtro de piedra y el agua obtenida en el proceso de filtrado.

Parámetro de calidad	Resultado
Color (U-Pt-Co)	
Olor	
Turbiedad (UNIT)	
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
Dureza total (mg/L)	
Calcio (mg/L)	
Magnesio (mg/L)	
Sulfato (mg/L)	
Manganeso (mg/L)	
Hierro total (mg/L)	
Nitrato (mg/L)	
Nitrito (mg/L)	
Coliformes totales	
Escherichia coli	

Nota: Estos son todos los parámetros analizados tanto antes como después de ser filtrada el agua por cada uno de los filtros de roca.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

8 Aspectos éticos y legales

Por el enfoque de investigación aplicada en este proyecto y tomando en cuenta que no se involucró a ninguna persona para poner a prueba el agua filtrada por los filtros de roca, no fue necesario solicitar autorización a comités de bioética.

Este proyecto de investigación aseguró que todas las actividades realizadas fueran ejecutadas de manera responsable y de forma respetuosa.

9 Resultados y discusión

A continuación, se detalla los resultados obtenidos, al analizar las muestras de agua antes de ser filtradas y luego de pasar por cada uno de los filtros de roca.

Para evaluar el cambio de los factores fisicoquímicos del agua al ser tratados con los materiales filtrantes de roca pómez, caliza, mica y basalto se realizaron análisis de laboratorio al agua obtenida en la fuente de agua propuesta para este proyecto de investigación. Los resultados se encuentran en la tabla 17 de la sección del apéndice.

Al aplicar la tabulación propuesta en la tabla 5, se obtiene la estructura necesaria para determinar la eficiencia de los filtros elaborados con roca. Se debe señalar que en este sentido, el filtro 1 se refiere al filtro elaborado con roca de tipo basalto, el filtro 2 es la denotación para el filtro elaborado con piedra caliza, el filtro 3 es la notación que hace referencia al filtro elaborado con piedra mica y el filtro 4 se refiere al filtro elaborado con pómez.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 4

Resultados generales obtenidos del agua antes de pasar por los filtros artesanales elaborados con roca de basalto, caliza, mica y pómez.

Parámetro	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5	Corrida 6
Color (U-Pt-Co)	0	0	0	0	0	0
Olor	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable
Turbiedad (UNIT)	2.54	3.1	3.1	3.12	3.12	3.12
Conductividad eléctrica (μS/cm)	123.8	123.7	123.7	140	140	140
Dureza total (mg/L)	105	104	104	112	100	100
Calcio (mg/L)	41	40	40	44	60	60
Magnesio (mg/L)	64	64	64	68	40	40
Sulfato (mg/L)	65.6	65.6	65.6	70.6	71	61.3
Manganeso (mg/L)	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Hierro total (mg/L)	0.27	0.27	0.27	0.15	0.09	0.09
Nitrato (mg/L)	1.2	1.2	1.2	1.1	4.6	4.6
Nitrito (mg/L)	0.001	0.001	0.001	0.002	0.004	0.004
Coliformes totales	210	200	200	390	390	175
Escherichia coli	55	60	80	80	55	55



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Nota: Los análisis se realizaron los días 30 de junio, 15 y 28 de Julio, 10 y 25 de agosto y 11 de septiembre del 2024

Tabla 5

Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para la turbiedad

Corrida	Resultado	Filtro 1	R	Filtro 2	R	Filtro 3	R	Filtro 4	R
1	2.54	0.1	14	0	6	0.5	18	0	6
2	3.10	0	6	0	6	0.4	17	0	6
3	3.10	0.2	16	0	6	0.3	17	0.1	14
4	3.12	0.1	14	0	6	0.3	17	0.1	14
5	3.12	0.1	14	0	6	0.1	14	0	6
6	3.12	0.1	14	0	6	0.2	16	0	6
Rango		R1	78	R2	36	R3	98	R4	52

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \left(\frac{R_1^2}{n_1} + \frac{R_2^2}{n_2} + \frac{R_3^2}{n_3} + \frac{R_4^2}{n_4} \right) - 3(N+1)$$

Donde:

Para todos los resultados obtenidos se utilizó el mismo procedimiento.

H: Estadístico de prueba

N: Número total de observaciones, que en este caso fue de 24

k: Número de muestras

R: Suma de rangos pro filtro

n: Número de observaciones por filtro

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Se debe recordar que la hipótesis nula significa que las muestras provienen de poblaciones con la misma distribución y que la hipótesis alternativa provienen de poblaciones con distribuciones diferentes.

Sustituyendo valores en la fórmula.

$$H = \frac{12}{24(24 + 1)} \left(\frac{78^2}{6} + \frac{36^2}{6} + \frac{98^2}{6} + \frac{52^2}{6} \right) - 3(24 + 1)$$

$$H = \frac{12}{24(25)} \left(\frac{6084}{6} + \frac{1296}{6} + \frac{9604}{6} + \frac{2704}{6} \right) - 3(25)$$

$$H = \frac{12}{24(25)} (3281.33) - 3(25)$$

$$H = \frac{12}{24(25)} (3281.33) - 3(25)$$

$$H = -9.73$$

Con una cantidad de 4-1 grados de libertad y un número de muestras de 6

El número de grados de libertad es de k-1 es decir que se tienen 3 grados de libertad. El nivel de significancia que se utilizó para las pruebas, corresponde a un valor de 0.05 y la prueba se realizó con el criterio de una cola por la derecha.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Como se tuvieron al menos 5 observaciones, se puede ajustar a aproximadamente una distribución de chi cuadrada con $k-1$ grados de libertad. En la teoría y aplicando la tabla A4 del libro de Triola (2012) se obtiene que para las condiciones del proyecto de investigación al valor crítico es de 7.815

El valor obtenido de la prueba de Kruskal-Wallis es de -9.73 por lo tanto se puede afirmar que el valor obtenido se encuentra fuera de la región crítica que es a la derecha del valor de 7.815

El estadístico de prueba $H = -9.73$ se encuentra fuera de la región crítica acotada por el valor de 7.815 motivo por el cual se aprueba la hipótesis nula y se afirma que las muestras son iguales.

Los resultados obtenidos, demuestran que los filtros de roca, no disminuye el parámetro de la turbiedad, ya que, por ejemplo, el agua antes de ser tratada, tenía un valor de turbiedad general de 3.00 UNT, en el caso del filtro de caliza, el agua filtrada dio los mismos resultados, indicando que la eficiencia de filtrado, para el caso de la turbiedad de los filtros elaborados con roca caliza no pudieron mejorar los parámetros de turbiedad.

En el caso del filtro de piedra mica, fue el que mejor resultado obtuvo, pero los cambios no son significativos para poder afirmar que los filtros elaborados con mica, pueden mejorar la turbiedad.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Para el caso de la conductividad eléctrica, se tienen los siguientes resultados

Tabla 6

Resultados obtenidos del proceso de filtrado para la conductividad eléctrica

Corrida	Resultado	Filtro 1	R	Filtro 2	R	Filtro 3	R	Filtro 4	R
1	123.80	2	24	0	6.5	1.3	19	0	6.5
2	123.70	1.5	21	0	6.5	1.2	18	0	6.5
3	123.70	1	17	0	6.5	1.5	21	0	6.5
4	140.00	0.5	14	0	6.5	1.5	21	0	6.5
5	140.00	0.5	14	0	6.5	1	17	0	6.5
6	140.00	0.5	14	0	6.5	1	17	0	6.5
	Rango	R1	104	R2	39	R3	113	R4	39

Nota: La diferencia principal se observa en el filtro 1

Para este caso, el estadístico de prueba $H = 13.75$ está en la región crítica acotada por 7.81 por lo tanto se debe rechazar la hipótesis nula de muestras iguales.

Para este caso en particular, se debe entender que a lo que a la conductividad se refiere, los filtros tienen una diferencia significativa y en particular, el filtro con mayor rango es el filtro elaborado con basalto.

A continuación, se muestran los resultados para cada uno de los parámetros fisicoquímicos y biológicos obtenidos en este proyecto de investigación.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 7

Resultados obtenidos del proceso de filtrado para la dureza total

Corrida	Resultado	Filtro 1	R	Filtro 2	R	Filtro 3	R	Filtro 4	R
1	105.00	1	11.5	1	6.5	2	18.5	1	11.5
2	104.00	1	11.5	0	4	2	18.5	1	11.5
3	104.00	2	18.5	0	4	3	21	1	11.5
4	112.00	3	24	0	4	2	18.5	1	11.5
5	100.00	1	18.5	0	4	2	18.5	0	4
6	100.00	2	14	0	4	1	11.5	0	4
Rango		R1	98	R2	26.5	R3	106.5	R4	54

Nota: La diferencia principal se observa en el filtro 1

El estadístico de prueba que se obtiene de los siguientes resultados es $H = 6.88$ y manteniendo los mismos grados de libertad para este proyecto, que son 3 grados de libertad y un nivel de significancia de 0.05 se tiene el valor crítico de 7.81 lo cual permite rechazar la hipótesis nula.

El hecho de rechazar o aprobar la hipótesis es de suma importancia para este tipo de investigaciones, se debe recordar que se analizó el agua antes y después de ser filtrada, las diferencias permiten establecer si existe una relación de correspondencia entre las variables independientes y las variables dependientes. Como variables dependientes se tienen a los diferentes parámetros establecidos en este tipo de investigación, para mencionar y tener en mente este tipo de variables, son Color (U-Pt-Co), Olor, Turbiedad (UNIT), Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Dureza total (mg/L), Calcio (mg/L), Magnesio (mg/L), Sulfato (mg/L), Manganeseo (mg/L), Hierro total (mg/L), Nitrato (mg/L), Nitrito (mg/L), Coliformes totales y Escherichia coli.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Con estos parámetros en mente se debe indicar que el parámetro dureza, medida en mg/L establece la cantidad de minerales disueltos en ella, principalmente calcio y magnesio y este valor depende de las formaciones geológicas que atraviesa el agua antes de ser captada.

Es interesante que para los filtros de basalto y pómez ubo un incremento de los valores de la dureza, dentro de los valores permitidos. Como se ha mencionado anteriormente, algunos parámetros observados en el filtrado del agua, termina en un incremento en los valores. Obviamente se espera una reducción en los valores medidos, pero no se debe considerar como un fracaso de los filtros, sino que, para futuras investigaciones, se puede utilizar este tipo de fenómeno para incrementar la dureza del agua, si así fuera necesario, por supuesto.

Al rechazar la hipótesis nula, la que indica que todas las diferencias son iguales, se debe aprobar la hipótesis alternativa que indica que las diferencias son diferentes. Indicando que los filtros artesanales no tienen la misma capacidad para reducir la dureza en el agua.

Tabla 8

Resultados obtenidos del proceso de filtrado para el calcio

Corrida	Resultado	Filtro 1	R	Filtro 2	R	Filtro 3	R	Filtro 4	R
1	41.00	0	12	-1	24	0	12	0	12
2	40.00	0	12	0	12	0	12	0	12
3	40.00	0	12	0	12	0	12	0	12
4	44.00	0	12	0	12	0	12	0	12
5	60.00	0	12	0	12	0	12	0	12
6	60.00	0	12	0	12	0	12	0	12
Rango		R1	72	R2	84	R3	72	R4	72

Nota: No hay diferencia en los filtros



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

En este caso en particular, no fue necesario realizar un análisis estadístico, lo que demuestran los resultados, significa que los cuatro filtros no pudieron reducir los niveles de calcio. Llama la atención que, en el caso del filtro elaborado con roca caliza, la diferencia es de -1. Significa esto que, por ejemplo, el calcio, medido en mg/L, en el agua antes de ser filtrada era de 41 mg/L y después de ser filtrada, el nivel de calcio aumentó 1 mg/L quedando a 42mg/L.

Los resultados, si bien es cierto que no se ajustan a los esperado, que es una reducción significativa en todos los parámetros, no debe verse o interpretarse como un error o algo indeseado, abre la puerta, para otro tipo de investigaciones, por ejemplo, si se desea aumentar algún mineral en el agua, con pacientes con padecimientos donde se requiera aumentar o disminuir los niveles de calcio, este tipo de investigación permiten que otros investigadores sigan estas líneas de investigación.

Hay que mencionar que el tipo de investigación de este proyecto, fue básica, que desarrolla principios y conocimientos nuevos para desarrollar nuevos proyectos. En el caso del calcio, es interesante que el filtro de caliza aumente la cantidad de calcio en el agua filtrada.

No todos los filtros tienen la misma capacidad, por este motivo es que el factor crítico queda fuera de la región de rechazo. Indicando que no todos los filtros tienen la misma capacidad de filtrado, que, en este caso, se interpreta como un aumento en la cantidad de calcio.

Este incremento, indica que el proceso de elaboración de filtros fue un éxito. Valenzuela (2014) indica que el agua dura, es considerada aquella que contiene un alto nivel de concentración de iones de magnesio y calcio.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

El calcio en el agua es un ion que se disuelve en el agua al pasar por rocas calizas. La cantidad de calcio en el agua determina si es dura o blanda.

Tabla 9

Resultados obtenidos del proceso de filtrado para el magnesio

Corrida	Resultado	Filtro 1	R	Filtro 2	R	Filtro 3	R	Filtro 4	R
1	64.00	0	12	0	24	0	12	0	12
2	64.00	0	12	0	12	0	12	0	12
3	64.00	0	12	0	12	0	12	0	12
4	68.00	0	12	0	12	0	12	0	12
5	40.00	0	12	0	12	0	12	0	12
6	40.00	0	12	0	12	0	12	0	12
Rango		R1	72	R2	84	R3	72	R4	72

Nota: El rango mayor se encuentra en el filtro 2

Se tiene un estadístico de prueba $H = 0.36$ que se encuentra a la izquierda de la región crítica acotada por 7.81 que es el valor que se obtiene de tener 3 grados de libertad y un valor de significancia de 5%.

De acuerdo a Martín (2019) la presencia de sulfatos en el agua puede causar un sabor perceptible. El umbral a partir del cual se percibe este sabor varía desde 250 mg/litro (sulfato sódico) y 1000 mg/litro (sulfato cálcico).

La capacidad de los filtros para disminuir este parámetro no es perceptible desde el punto de vista estadístico, no hay prueba suficiente de que los filtros puedan eliminar esta sustancia.

Por los resultados, ambos filtros, no disminuyen los niveles de magnesio en el agua tratada.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 10

Resultados obtenidos del proceso de filtrado para el sulfato

Corrida	Resultado	Filtro 1	R	Filtro 2	R	Filtro 3	R	Filtro 4	R
1	65.60	0.5	12	0.5	24	1	12	1.2	12
2	65.60	0.4	12	0.5	12	0.6	12	0.5	12
3	65.60	0.5	12	0.5	12	0.3	12	0.5	12
4	70.60	0.6	12	0.5	12	0.8	12	0.5	12
5	71.00	0.8	12	0	12	1	12	0	12
6	61.30	1	12	0	12	1.2	12	0	12
Rango		R1	72	R2	84	R3	72	R4	72

Nota: La diferencia principal se observa en el filtro 2

De acuerdo al análisis de las diferencias obtenidas entre el agua sin filtrar y el agua filtrada, se aprecia que los filtros 3 y 4 son los que presentan las mayores diferencias. Significa que el filtro 1 y 2 no redujeron ni incrementaron la cantidad de sulfato.

Los filtros de roca pómez y mica redujeron la cantidad de sulfato, pero el estadístico de prueba $H = 6.5$ indica que la hipótesis nula se aprueba, por lo tanto, no hay suficiente evidencia para asegurar que efectivamente haya diferencia en el proceso de filtrado. Al aprobar la hipótesis nula, que indica que las diferencias, que son los parámetros estadísticos, son iguales, indica que, aunque exista diferencia en las medidas realizadas, estas diferencias no son lo suficientemente significativas para indicar que los filtros son diferentes.

Como dato adicional, la presencia del ion sulfato en el agua de consumo humano, causa un sabor apreciable, que afecta las características organolépticas de ella; además, niveles muy altos, en el orden de los miles de miligramos, provocan un efecto laxante en los consumidores.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 11

Resultados obtenidos del proceso de filtrado para el hierro total

Corrida	Resultado	Filtro 1	R	Filtro 2	R	Filtro 3	R	Filtro 4	R
1	0.27	0	12.5	0	12.5	0	12.5	0	12.5
2	0.27	0	12.5	0	12.5	0	12.5	0	12.5
3	0.27	0	12.5	0	12.5	0	12.5	0	12.5
4	0.15	0	12.5	0	12.5	0	12.5	0	12.5
5	0.09	0	12.5	0	12.5	0	12.5	0	12.5
6	0.09	0	12.5	0	12.5	0	12.5	0	12.5
Rango		R1	75	R2	75	R3	75	R4	75

Nota: No hay diferencias significativas en los filtros

Los resultados obtenidos para el hierro total, demuestra que los cuatro tipos de filtros no son capaces de eliminar o reducir la presencia de hierro total en el agua filtrada. El hierro total en el agua potable hace referencia a la cantidad total de hierro en todas sus formas.

En general, el hierro en el agua potable no es un peligro para la salud, a menos que no pase los límites máximos permisibles, la presencia de hierro total en el agua puede afectar el sabor y el color del agua.

Entre los parámetros indicadores de la calidad del agua de consumo se encuentran el hierro y el manganeso, dos metales que a menudo coexisten en las fuentes de agua. Su presencia en el agua raramente puede suponer un riesgo para la salud de los consumidores, sin embargo, se controlan porque la superación de los valores paramétricos establecidos en la normativa afecta a las propiedades organolépticas del agua y a los sistemas de filtrado y distribución.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 12

Resultados obtenidos del proceso de filtrado para el nitrato

Corrida	Resultado	Filtro 1	R	Filtro 2	R	Filtro 3	R	Filtro 4	R
1	0.001	0.001	12.5	0.001	12.5	0.001	12.5	200	12.5
2	0.001	0.001	12.5	0.001	12.5	0.001	12.5	210	12.5
3	0.001	0.001	12.5	0.001	12.5	0.001	12.5	200	12.5
4	0.002	0.002	12.5	0.002	12.5	0.002	12.5	390	12.5
5	0.004	0.004	12.5	0.004	12.5	0.004	12.5	380	12.5
6	0.004	0.004	12.5	0.004	12.5	0.004	12.5	170	12.5
	Rango	R1	75	R2	75	R3	75	R4	75

Nota: No hay diferencias significativas en los filtros

Los nitratos son iones que se encuentran de forma natural en el agua, pero su concentración puede aumentar por el uso de fertilizantes. La presencia de nitratos en el agua puede ser un indicador de la calidad del agua.

Se debe indicar que, de acuerdo a varios estudios, entre estos el informe final integrado servicio y docencia / investigación diciembre 2016, indica que el agua de la laguna de Lemoa presenta un alto grado de contaminación. Se hace señalamiento de este factor, ya que futuros proyectos de investigación, pueden y deben enfocarse a reducir este y otros parámetros, de una forma natural.

Estadísticamente el indicador crítico $H = 5.36$ permite establecer que la hipótesis nula se aprueba, indicando que los filtros tienen la misma capacidad de filtrado. Además de este indicador estadístico, se observa en las diferencias que las concentraciones de hierro antes y después del proceso de filtrado permanecen constante.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Hay que mencionar que los filtros elaborados con diferentes tipos de roca, hasta el momento han demostrado tener la capacidad de reducir la concentración de algunos parámetros mientras que hay otros parámetros que se ven incrementados. Tal como se mencionó anteriormente, esta capacidad de filtrado, se puede aplicar para incrementar algunos parámetros o como indicadores de concentraciones en el agua.

Las aplicaciones de este tipo de filtros, no debe analizarse solamente desde el punto de vista de potabilización de agua, sino que pueden analizarse como elementos que mejoren la concentración de algunos parámetros.

Tabla 13

Resultados obtenidos del proceso de filtrado para el nitrito

Corrida	Resultado	Filtro 1	R	Filtro 2	R	Filtro 3	R	Filtro 4	R
1	0.001	0.001	12.5	0.001	12.5	0.001	12.5	0.001	12.5
2	0.001	0.001	12.5	0.001	12.5	0.001	12.5	0.001	12.5
3	0.001	0.001	12.5	0.001	12.5	0.001	12.5	0.001	12.5
4	0.002	0.002	12.5	0.002	12.5	0.002	12.5	0.002	12.5
5	0.004	0.004	12.5	0.004	12.5	0.004	12.5	0.004	12.5
6	0.004	0.004	12.5	0.004	12.5	0.004	12.5	0.004	12.5
Rango		R1	75	R2	75	R3	75	R4	75

Nota: No hay diferencia entre los filtros

El estadístico de prueba para este parámetro, es $H = 06.23$ el cual se encuentra fuera de la región crítica acotada por 7.81 por lo tanto se aprueba la hipótesis nula. Significa que se debe rechazar la hipótesis alternativa, indicando que los cuatro filtros son iguales en su capacidad de filtrar los nitritos.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Las diferencias evidentemente no existen, los cuatro filtros dieron los mismos resultados, no existiendo diferencia antes ni después de filtrada el agua. Para este tipo de muestras, se consideró que no son paramétricas. Hay que recalcar que, aunque existan diferencias en los análisis, estadísticamente no hay suficiente evidencia para decir o manifestar que los filtros sean diferentes.

El hecho de que los filtros de roca, en algunos casos, es decir que, para algunos parámetros, puedan reducir o incrementar los valores, indica la capacidad selectiva del material propio de los filtros. Actualmente no existen estudios que indiquen el tipo de reacciones que se llevan a cabo en los filtros para que algunas sustancias puedan interrelacionarse con el material constitutivo de los filtros.

Nuevamente se pone de manifiesto la importancia de seguir con los estudios de este tipo de materiales para seleccionar el tipo de parámetro que se desee selectivamente reducir o incrementar.

Tabla 14

Resultados obtenidos del proceso de filtrado para el nitrato

Corrida	Resultado	Filtro 1	R	Filtro 2	R	Filtro 3	R	Filtro 4	R
1	0.001	0.001	12.5	0.001	12.5	0.001	12.5	0.001	12.5
2	0.001	0.001	12.5	0.001	12.5	0.001	12.5	0.001	12.5
3	0.001	0.001	12.5	0.001	12.5	0.001	12.5	0.001	12.5
4	0.002	0.002	12.5	0.002	12.5	0.002	12.5	0.002	12.5
5	0.004	0.004	12.5	0.004	12.5	0.004	12.5	0.004	12.5
6	0.004	0.004	12.5	0.004	12.5	0.004	12.5	0.004	12.5
Rango		R1	75	R2	75	R3	75	R4	75

Nota: No hay diferencia entre los filtros

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Estadísticamente se aprueba la hipótesis nula, que indica que las diferencias en las medidas realizadas al agua filtrada son las mismas. Significa que los cuatro filtros tienen la misma capacidad de reducir la cantidad de nitrato. En este caso, se puede observar que tanto estadísticamente como en las mediciones de las concentraciones de nitrato son las mismas. Los filtros no tienen la capacidad de cambiar la concentración de nitrato.

Las sales sódicas y potásicas de los nitratos y de los nitritos se utilizan como aditivos conservantes de alimentos, especialmente de determinados productos cárnicos. Algunos estudios realizados en diferentes comunidades indican que la ingesta media de nitratos a través de la dieta (excluida el agua de bebida) es de unos 50 mg/día.

Entre el resto de la población, las personas más sensibles a sufrir efectos adversos son aquéllas que presentan alteraciones que provocan un aumento de la formación de nitritos, que tienen una hemoglobina anómala o que sufren carencias en el sistema enzimático encargado de transformar la metahemoglobina en hemoglobina. Entre estas personas hay:

Tabla 15

Resultados obtenidos del proceso de filtrado para los coliformes totales

Corrida	Resultado	Filtro 1	R	Filtro 2	R	Filtro 3	R	Filtro 4	R
1	210.00	200	3.5	200	12.5	210.00	11.3	200	16.5
2	200.00	180	3.5	180	16.5	200.00	12.5	210	17
3	200.00	185	11.3	200	12.5	200.00	22.5	200	23.5
4	390.00	350	12.5	390	12.5	390.00	22.5	390	12.5
5	390.00	400	16.5	390	12.5	390.00	11.3	380	1.5
6	175.00	180	11.3	175	12.5	175.00	11.3	170	1.5
Rango		R1	58.6	R2	79	R3	91.4	R4	72.5

Nota: No hay diferencia entre los filtros



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Las bacterias coliformes incluyen un gran grupo de muchos tipos de bacterias que se encuentran en todo el medio ambiente. Son comunes en el suelo y el agua superficial e incluso pueden aparecer en la piel. También se pueden encontrar grandes cantidades de ciertos tipos de bacterias coliformes en los desechos de humanos y animales. La mayoría de los tipos de bacterias coliformes son inofensivas para los humanos, pero algunas pueden causar enfermedades leves y algunas, transmitidas por el agua, pueden provocar enfermedades graves.

Las bacterias coliformes a menudo se denominan "organismos indicadores" porque indican la presencia potencial de bacterias que causan enfermedades en el agua. La presencia de coliformes en el agua no garantiza que beber el agua cause una enfermedad. Más bien, su presencia indica que existe una vía de contaminación entre una fuente de bacterias (agua superficial, sistema séptico, desechos animales, etc.) y el suministro de agua. Las bacterias que causan enfermedades pueden utilizar esta vía para ingresar al suministro de agua.

Se pueden analizar tipos específicos de bacterias coliformes, especialmente después de que una prueba de bacterias coliformes totales sea positiva. Estos subgrupos de bacterias coliformes incluyen coliformes fecales y *Escherichia coli* o *E. coli*. Las bacterias coliformes fecales son específicas del tracto intestinal de los animales de sangre caliente, incluidos los humanos, y por lo tanto se requiere una prueba más específica para detectar la contaminación por aguas residuales o desechos animales. La *E. coli* es una bacteria coliforme fecal que se encuentra comúnmente en los intestinos de animales y humanos. Un resultado positivo de *E. coli* es mucho más serio que las bacterias coliformes por sí solas porque indica que los desechos humanos o animales están ingresando al suministro de agua. Hay cientos de cepas de *E. coli*, la mayoría de las cepas son inofensivas y viven en los intestinos de humanos y animales sanos, pero algunas cepas pueden producir una poderosa toxina y causar enfermedades graves y la muerte.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Como se mencionó anteriormente, beber agua que está contaminada con bacterias coliformes no siempre causa enfermedades. La mayoría de estas bacterias son inofensivas para los humanos. Si hay bacterias que causan enfermedades, los síntomas más comunes son malestar gastrointestinal y síntomas generales similares a los de la gripe, como fiebre, calambres abdominales y diarrea. Los síntomas son más probables en los niños o en los ancianos del hogar. En algunos casos, los residentes del hogar adquieren inmunidad a las bacterias transmitidas por el agua que son comunes en el agua que beben. En este caso, los visitantes del hogar que no hayan adquirido inmunidad pueden enfermarse después de beber el agua. Dado que los síntomas de beber agua con bacterias coliformes son comunes a muchas enfermedades humanas, es difícil saber que el agua es la fuente del problema sin que ésta se analice.

Tabla 16

Resultados obtenidos del proceso de filtrado para Echerichia coli

Corrida	Resultado	Filtro 1	R	Filtro 2	R	Filtro 3	R	Filtro 4	R
1	55.00	50	3.5	55	12.5	55	11.3	60	16.5
2	60.00	50	3.5	60	16.5	60	12.5	65	17
3	80.00	55	11.3	80	12.5	80	22.5	90	23.5
4	80.00	23.5	12.5	80	12.5	80	22.5	70	12.5
5	55.00	60	16.5	55	12.5	55	11.3	30	1.5
6	55.00	55	11.3	55	12.5	55	11.3	30	1.5
Rango		R1	58.6	R2	79	R3	91.4	R4	72.5

Nota: El estadístico de prueba da como resultado 2.617233333



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

El estadístico de prueba de 2.61 indica que la prueba de hipótesis nula debe aprobarse, donde las diferencias en el filtrado son iguales para todos los filtros, si se observa las diferencias, hay que notar que incluso hay incrementos en la cantidad de bacterias. Se debe mencionar que la cantidad de unidades formadoras de colonias UFC están sobre los parámetros de la Norma COGUANOR 29001, ya que el agua de la Laguna de Lemoa es una de las fuentes más contaminadas en Guatemala, esto de acuerdo a Valenzuela (2014).

Los filtros en este caso, no presentaron la capacidad para eliminar o reducir la cantidad de bacterias. Hubo descensos en la cantidad de bacterias, especialmente en las corridas 4 de los filtros 1 y 4, pero no fue suficiente para que la prueba estadística arroje que estas diferencias son significativas.

La mayoría de las bacterias del grupo de los coliformes no causan enfermedades, pero cuanto mayor sea su número, mayor será la probabilidad de que haya bacterias que causan enfermedades. Dado que las bacterias coliformes generalmente persisten en el agua más tiempo que la mayoría de los organismos que causan enfermedades, la ausencia de bacterias coliformes lleva a suponer que el suministro de agua es microbiológicamente seguro para beber. Por lo tanto, el estándar del agua potable requiere que no haya bacterias coliformes presentes en el agua potable. Las bacterias coliformes fecales y *E. coli* también deben estar totalmente ausentes del agua potable.

Para el caso de la capacidad de filtrado con el tiempo, se analiza el conjunto de parámetros estudiados. Los estudios realizados son los siguientes, el Color (U-Pt-Co), Olor, Turbiedad (UNIT), Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Dureza total (mg/L), Calcio (mg/L), Magnesio (mg/L), Sulfato (mg/L), Manganeseo (mg/L), Hierro total (mg/L), Nitrato (mg/L), Nitrito (mg/L), Coliformes totales y *Escherichia coli*. Para todos los casos se pudo observar una disminución constante, siendo necesario tener una cantidad mayor de corridas y un tiempo mayor.

Se esperaba que, para cualquier parámetro analizado, se observara una disminución en los valores obtenidos, es decir que se observara una diferencia mayor a medida que se hacían



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

más pruebas. Para poner un ejemplo, se analiza el parámetro de E. coli, para la primera corrida se tiene

Tabla 17

Resultados de filtrado para el basalto de coliformes totales

Resultados	Filtro 1
210.00	200
200.00	180
200.00	185
390.00	350
390.00	400
175.00	180

Nota: Se observa que a medida que se realizan pruebas, las diferencias no son constantes. Lo mismo se observa para los demás parámetros. No hay evidencia que demuestre que los filtros pierden capacidad de filtrado a medida que son usados, debido a que se realizaron solamente seis pruebas.

10. Propiedad intelectual

Para este caso en particular, debido a los resultados obtenidos, los cuales demostraron la poca eficiencia de los filtros artesanales, no se tiene contemplado registrar ningún tipo de patente.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

11. Beneficiarios directos e indirectos

Tabla 18

Beneficiarios directos e indirectos de la investigación

Resultados, productos o hallazgos	Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos	Resultados, productos o hallazgos	Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)
Eficiencia de los filtros para reducir algunos parámetros de control, como la dureza y sulfatos. la reducción de la dureza tiene aplicación en la industria	Centro de investigación de Centro Universitario del Quiché	5		Reducción de la dureza del agua tratada	Centros de investigación al seguir con proyectos de investigación que utilicen otras variables y parámetros



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

12. Estrategia de divulgación y difusión de los resultados.

Tabla 19

Evidencia en las actividades realizadas

	Sí	No
Presentación TV	x	
Entrevistas radiales		
Podcast		
Entrevista DIGI		
Recursos audiovisuales	x	
Congresos científicos nacionales o internacionales		
Talleres		
Publicación de libro		
Publicación de artículo científico	x	
Divulgación por redes sociales institucionales	x	
Presentación pública		
Presentación autoridades USAC	x	
Presentación a beneficiarios directos		
Entrega de resultados	x	
Docencia en grado		



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

	Sí	No
Docencia postgrado		
Póster científico		
Trifoliales		
Conferencias		
Otro (describa)		

13. Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND)

Actualmente en Guatemala, las Prioridades Nacionales de Desarrollo, conocidas por sus siglas -PND- pueden ser vistas como un conjunto de acciones y políticas que pretenden lograr cambios profundos y a largo plazo para transformar al país. Esta transformación abarca aspectos que van desde combatir la pobreza, reducir la desigualdad, la seguridad alimentaria y mejorar la equidad.

La contribución de este proyecto de investigación se encuentra en la prioridad relacionada al Acceso al agua y gestión de los recursos naturales. Dentro de esta prioridad se puede encontrar varias metas que buscan lograr los objetivos de la prioridad mencionada anteriormente. La meta 6.1 cuyo objetivo es lograr el acceso universal y equitativo a agua potable segura y asequible para todos es donde se encuentra localizado el enfoque que este proyecto de investigación desarrolló toda su metodología.

La proporción de la población que dispone de servicios de suministro de agua gestionados de forma segura es la contribución que logró este proyecto de investigación. Los resultados de este proyecto demuestran que es posible alcanzar los conocimientos y



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

tecnologías que permitan que la población guatemalteca tenga acceso a fuentes de agua potable.

Actualmente la proporción de la población que dispone de servicios de suministro de agua gestionados de forma segura esta muy lejos de ser alcanzados. Por este motivo es que definitivamente este proyecto de investigación pudo contribuir en generar alternativas sostenibles y seguras para que se pueda acceder a agua potable de una manera barata y asequible.

14. Contribución al desarrollo de iniciativas de ley

Para este proyecto, no fue contemplada la propuesta de iniciativa de ley

15. Vinculación

Para este proyecto, fue posible establecer vinculación con organizaciones ajenas a la Universidad de San Carlos de Guatemala

- Laboratorio de Control de Calidad de Agua del Departamento de Vigilancia del Cumplimiento de Regulación.

Este laboratorio apoyó con análisis de prueba de parámetros del agua analizada, tanto antes como después de filtrar.

Actualmente este laboratorio, se comprometió a realizar pruebas para futuras investigaciones que involucren la generación de conocimiento relacionado a la potabilización de agua para consumo humano.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

16. Conclusiones

Luego de realizar todo el proceso de elaboración de filtros de roca artesanales, realizar pruebas fisicoquímicas al agua antes de ser filtrada y su posterior análisis fisicoquímico y bacteriológico al agua tratada y filtrada, se llegan a las siguientes conclusiones.

Los filtros artesanales elaborados con roca de tipo pómez, caliza, mica y basalto, no mejoran el parámetro de la turbiedad, por ejemplo, el agua antes de ser tratada, tenía un valor de turbiedad general de 3.00 UNT, en el caso del filtro de caliza, el agua filtrada dio los mismos resultados, indicando que la eficiencia de filtrado, para el caso de la turbiedad de los filtros elaborados con roca caliza no pudieron mejorar los parámetros de turbiedad.

En el caso del filtro de piedra mica, con el parámetro de la turbiedad, es el filtro que mejores resultados obtuvo. Los cambios fueron leves, pero para lo que buscaba estudiar este proyecto de investigación los resultados son significativos, porque se evidencia un cambio en los parámetros.

Los resultados obtenidos del agua antes de ser filtrada, tanto fisicoquímicos como bacteriológicos, indican, un incremento de la contaminación por bacterias que alcanzan un pico o máximo valor en el mes de agosto y septiembre, que corresponde a la época de lluvia.

La época de lluvia trae como consecuencia un aumento en los indicadores de contaminación, siendo el caso para las coliformes totales NMS 100 mL un máximo obtenido de 390 y para *Escherichia coli* NMP 100 mL de 80, lo cual es un valor alto, motivo por el cual, los filtros no pudieron disminuir los valores de contaminación.

En cuanto a la eficiencia de los filtros, para reducir los contaminantes con el tiempo, se puede afirmar que este parámetro, no fue afectado con el tiempo. Esto fue posible determinar debido a la diferencia de los filtros promedio se mantuvo. Por ejemplo, el filtro elaborado con basalto, mostró siempre la misma diferencia de reducción de contaminantes durante el tiempo que estuvo en uso.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Los filtros elaborados de materiales como basalto, mica, pómez y caliza, demostraron no tener una capacidad significativa para reducir los niveles de contaminantes fisicoquímicos y bacteriológicos, debido principalmente a la gran cantidad de contaminantes presentes en la fuente de agua de este proyecto de investigación, que era la Laguna de Lemoa, en el Municipio de Santa Cruz del Quiché.

El filtro que mostró tener propiedades filtrantes, pero que estadísticamente no fueron significativas, fue el filtro elaborado con basalto y mica, debiendo realizarse más análisis y bajo condiciones controladas para determinar si efectivamente tienen la capacidad de reducir la contaminación.

Las pruebas realizadas para determinar la eficiencia de los filtros para eliminar o reducir la carga microbiana, se puede apreciar que no hay suficiente evidencia que pruebe que los filtros puedan eliminar los microorganismos.

17. Recomendaciones

Las recomendaciones que se obtienen luego de elaborar este trabajo de investigación, van dirigidas para que futuros investigadores puedan mejorar los resultados obtenidos.

Se sugiere que los materiales empleados en la elaboración de los filtros puedan ser diversos, ya que la experiencia señala que, a pesar de tener el mismo tipo de roca, incluso dentro de la misma tipología de las rocas, existen diferencias que pueden permitir una porosidad mayor, por consiguiente, el filtrado del agua se puede ver afectado.

Se recomienda a futuros investigadores, agregar aditivos, tales como plata coloidal a las paredes de los filtros, puesto que como indica la literatura, este compuesto tiene un efecto significativo en la eliminación de patógenos y que su uso en forma adecuada es factible. Este tipo de alternativas pueden lograr mejoras significativas en la eficiencia de los filtros elaborados a partir de roca dirigidas a familias de escasos recursos.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

La eficiencia de los filtros para reducir contaminantes, no pudo verse afectada durante el tiempo que duró el proceso de filtrado, se debe indicar que solamente se hicieron 6 filtrados por cada uno de los filtros elaborados, lo cual es una cantidad muy pequeña para determinar si los filtros reducen los niveles de contaminantes.

A los nuevos proyectos que deseen seguir en esta línea de investigación, se sugiere tener agua para ser filtrada con parámetros conocidos, es decir tener un control sobre la variable independiente, ya que en este proyecto, se tomó agua de una fuente donde la contaminación estaba muy elevada, a tal punto de llegar a 390 NMS en 100 mL de coliformes totales y de 80 NMP en 100 mL de *Escherichia coli*, lo cual permite hacerse una idea del grado de contaminación que se tenía en la fuente de agua elegida.

Es evidente que, ante tal carga microbiana, los filtros no son capaces de filtrar el agua tratada, aunque pareciera que los filtros no cumplieron su función, abre la puerta para futuras investigaciones que permitan determinar el aumento de las propiedades de los parámetros, por ejemplo, al calcio, la dureza, que son indicadores que para ciertas aplicaciones son parámetros que se desea aumentar o disminuir selectivamente.

Los factores que cambiaron, durante el proceso de filtrado, son resultados sobre el cambio en los factores fisicoquímicos del agua tratada. Pudiendo modificar las mediciones de acuerdo a requerimientos específicos.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Referencias

- Arvizu, H. E., Iriondo, A., Izaguirre, A., Chávez-Cabello, G., Kamenov, G. D., Solís-Pichardo, G., ... & Cruz, L. S. (2009). Rocas graníticas pérmicas en la Sierra Pinta, NW de Sonora, México: Magmatismo de subducción asociado al inicio del margen continental activo del SW de Norteamérica. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 26(3), 709-728.
- Campos, V. (2003). Estudio de un método alternativo para la purificación de arsénico del agua. *Revista de la sociedad química de México*, 47(3), 283-286.
- Cárdenas, J. (2018). Investigación cuantitativa.
- Chán Santisteban, M. L., & Peña, W. (2015). Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Icán, Guatemala. *Cuadernos de Investigación UNED*, 7(1), 19-23.
- Chávez, J. A. V. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35, 304-308.
- Del Águila Flores, P. DE PIEDRAS DE MOLER CONTEMPORÁNEAS.
- Díaz, S. L., Jarquin, C., Morales, A. J., Morales, M., & Valenzuela, C. (2015). Carga desalmonelosis y shigelosis en cuatro departamentos de Guatemala, 2010. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 38(4), 326-33
- Flores, E., Armienta, A., Micete, S., & Valladares, M. R. (2009). Tratamiento de Agua para Consumo Humano con Alto Contenido de Arsénico: Estudio de un Caso en Zimapan Hidalgo-México. *Información tecnológica*, 20(4), 85-93.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Maldonado de León, M. G. (2016). Informe final programa Ejercicio Profesional Supervisado realizado en San Luis Jilotepeque, Jalapa. Junio 2015-junio 2016.
- Meléndez Vargas, W. (2020). Diseño y evaluación de un filtro lento de arena con carbón activado en la purificación del agua para consumo humano en el distrito de Longar.
- Molina García, M. E. (2016). Elaboración de un filtro artesanal de agua utilizando materiales no convencionales, evaluando su eficiencia para la disminución de los niveles de contaminación de aguas residuales generada por una lavadora de autos (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil).
- Lara, G., Contreras, A., & Encina, F. (2002). La almeja de agua dulce *Diplodon chilensis* (Bivalvia: Hyriidae) potencial biofiltro para disminuir los niveles de coliformes en pozos: Experimento de laboratorio. *Gayana (Concepción)*, 66(2), 113-118.
- Llanos Angeles, S. M., & Mirano Celis, H. C. (2018). Evaluación de la eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza, en la remoción de parámetros físicos, de las aguas de la quebrada La Oyada, Moyobamba, Perú–2017.
- Pérez-Vidal, A., Díaz-Gómez, J., Salamanca-Rojas, K. L., & Rojas-Torres, L. Y. (2016). Evaluación del tratamiento de agua para consumo humano mediante filtros Lifestraw® y Olla Cerámica. *Revista de Salud Pública*, 18(2), 275-289.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Rivas, G., Flores, E., & Ramírez, J. (2014). Evaluación del sistema de potabilización de agua constituido por filtros de bioarena y dióxido de titanio. *Nexo*, 27(2), 61-73.
- Rodríguez, J., Jorge, C., Zúñiga, P., Solís, J., Estrada, W., Cristóbal, R., ... & Zanabria, P. (2010). Tecnología solar aplicada a la purificación de agua. *Tecnia*, 20(1), 55-64.
- Rodríguez-Santos, J., Ortiz-Ayoví, D., Rodríguez-Baquerizo, E., & Santos-Baquerizo, E. (2018). Diseño de un filtro potabilizador ecológico para comunidades rurales, utilizando la Moringa Oleifera. *Revista Lasallista de investigación*, 15(2), 118-130.
- Solís Martin, M. E. (2019). EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL FILTRO DE BIOARENA PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN EL CENTRO POBLADO SAN JOSÉ DE UCHPAS DISTRITO DE SAN FRANCISCO DE CAYRAN–HUÁNUCO 2019
- Talavera Núñez, M. E., Zea Apaza, I., Vera Gonzales, C., Zea Álvarez, J., & Benavente Talavera, L. R. (2018). Aplicación del nanocomposito arcilla-carboximetilquitosano-nanopartículas de plata en filtros para el tratamiento de aguas de consumo de zonas rurales de Camaná, Arequipa. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 84(4), 499-512.
- Valenzuela, L. C. (2014). La química del agua. México: Plaza y Valdés. Vallejo, G., Fernández, P., & Livacic-Rojas, P. (2010). Pruebas robustas para modelos ANOVA de dos factores con varianzas heterogéneas. *Psicológica*, 31(1), 129-148.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Vásquez, A. K. (2021). Calidad de agua para consumo y evaluación del Ecofiltro® como alternativa de tratamiento intradomiciliario en la microcuenca Santa Inés, Honduras (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2021).

Vera Puerto, I. L., Rojas Arredondo, M., Chávez Yavara, W., & Arriaza Torres, B. T. (2016). Evaluación de materiales filtrantes para el reúso en agricultura de aguas residuales tratadas provenientes de zonas áridas. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 26(1), 5-19.

Zanini, J., Deodato Isique, W., Minillo, A., de Carvalho, S. L., Pereira Tangerino, E., Pinê Américo, J. H., & Sánchez Ortiz, I. A. (2014). Remoción del herbicida atrazina utilizando la combinación de filtros lentos de arena y filtros con carbón activado granular. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 37(2), 125-134.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Apéndice

Tabla 20

Resultados obtenidos del agua antes de ser filtrada, de fecha 30 de junio de 2024, altura 2016 msnm, hora 11:00 AM.

Parámetro	Resultado
Color (U-Pt-Co)	0.000
Olor	No rechazable
Turbiedad (UNIT)	2.540
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	123.700
Dureza total (mg/L)	104.000
Calcio (mg/L)	40.000
Magnesio (mg/L)	64.000
Sulfato (mg/L)	65.600
Manganeso (mg/L)	0.200
Hierro total (mg/L)	0.270
Nitrato (mg/L)	1.200
Nitrito (mg/L)	0.001
Coliformes totales	200.000
Escherichia coli	50.000

Nota: Resultados antes de pasar el agua por los filtros



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 21

Resultados obtenidos del agua antes de ser filtrada, de fecha 15 de Julio de 2024, altura 2016 msnm, hora 09:00 AM.

Parámetro	Resultado
Color (U-Pt-Co)	0.000
Olor	No rechazable
Turbiedad (UNIT)	3.100
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	123.700
Dureza total (mg/L)	104.000
Calcio (mg/L)	40.000
Magnesio (mg/L)	64.000
Sulfato (mg/L)	65.600
Manganeso (mg/L)	0.200
Hierro total (mg/L)	0.270
Nitrato (mg/L)	1.200
Nitrito (mg/L)	0.001
Coliformes totales	390.000
Escherichia coli	80.000

Nota: Resultados antes de pasar el agua por los filtros



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 22

Resultados obtenidos del agua antes de ser filtrada, de fecha 28 de Julio de 2024, altura 2016 msnm, hora 11:30 AM.

Parámetro	Resultado
Color (U-Pt-Co)	0.000
Olor	No rechazable
Turbiedad (UNIT)	3.100
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	123.700
Dureza total (mg/L)	104.000
Calcio (mg/L)	40.000
Magnesio (mg/L)	64.000
Sulfato (mg/L)	65.600
Manganeso (mg/L)	0.200
Hierro total (mg/L)	0.270
Nitrato (mg/L)	1.200
Nitrito (mg/L)	0.001
Coliformes totales	390.000
Escherichia coli	80.000

Nota: Resultados antes de pasar el agua por los filtros



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 23

Resultados obtenidos del agua antes de ser filtrada, de fecha 10 de Agosto de 2024, altura 2016 msnm, hora 11:30 AM.

Parámetro	Resultado
Color (U-Pt-Co)	0
Olor	No rechazable
Turbiedad (UNIT)	3.12
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	140
Dureza total (mg/L)	112
Calcio (mg/L)	44
Magnesio (mg/L)	68
Sulfato (mg/L)	70.6
Manganeso (mg/L)	0.1
Hierro total (mg/L)	0.15
Nitrato (mg/L)	1.1
Nitrito (mg/L)	0.002
Coliformes totales	390
Escherichia coli	80

Nota: Resultados antes de pasar el agua por los filtros correspondientes a la corrida 4



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 24

Resultados obtenidos del agua antes de ser filtrada, de fecha 25 de Agosto de 2024, altura 2016 msnm, hora 11:30 AM.

Parámetro	Resultado
Color (U-Pt-Co)	0
Olor	No rechazable
Turbiedad (UNIT)	3.12
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	140
Dureza total (mg/L)	100
Calcio (mg/L)	60
Magnesio (mg/L)	40
Sulfato (mg/L)	71
Manganeso (mg/L)	0.1
Hierro total (mg/L)	0.09
Nitrato (mg/L)	4.6
Nitrito (mg/L)	0.004
Coliformes totales	390
Escherichia coli	55

Nota: Resultados antes de pasar el agua por los filtros correspondientes a la corrida 5



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 25

Resultados obtenidos del agua antes de ser filtrada, de fecha 11 septiembre de 2024, altura 2016 msnm, hora 11:30 AM.

Parámetro	Resultado
Color (U-Pt-Co)	0
Olor	No rechazable
Turbiedad (UNIT)	3.12
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	140
Dureza total (mg/L)	100
Calcio (mg/L)	60
Magnesio (mg/L)	40
Sulfato (mg/L)	61.3
Manganeso (mg/L)	0.1
Hierro total (mg/L)	0.09
Nitrato (mg/L)	4.6
Nitrito (mg/L)	0.004
Coliformes totales	175
Escherichia coli	55

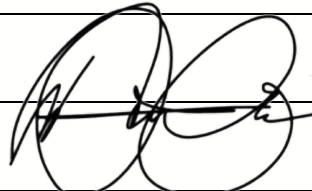
Nota: Resultados antes de pasar el agua por los filtros correspondientes a la corrida 6



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

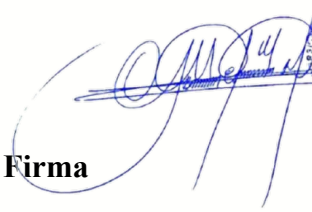
Declaración del coordinador (a) del proyecto de investigación

El coordinador (a) 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, dejo constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordino ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

Midzar Daniel García Estrada	Firma 
Fecha: 28/02/2025	

Aval del director (a) del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro regional universitario

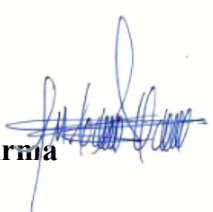
De conformidad con el artículo 13 y 19 del Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación otorgo el aval al presente informe final de las actividades realizadas en el proyecto (escriba el nombre del proyecto de investigación) en mi calidad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

Vo.Bo. MA. Bayron Estuardo Zapeta Reynozo Coordinador de Investigación del Centro Universitario del Quiché	 Firma
Fecha: 28/02/2025	



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Aprobación de la Dirección General de Investigación

Vo.Bo. Inga. Liuba María Cabrera Ovalle Coordinadora del Programa Universitario de Investigación	 Firma
Fecha: 28/02/2025	

/Digi2024