



CUNOC

Dirección General de Investigaciones

Baldomero Arriaga Jerez



Proyecto Filtros Versátiles
Tomo 2
Artículos de Investigación



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE -CUNOC-

Horno Pirolítico para la generación de Carbón Vegetal para emplear en el filtrado de agua en un territorio vulnerable

E.R., Hernández¹, A. Gil² y E.O. Flores¹

Centro Universitario de Occidente (CUNOC), de la Universidad de San Carlos de Guatemala¹

Departamento de Química Aplicada, Universidad Pública de Navarra²

Resumen— En el estudio se realizó la adaptación de la tecnología del horno pirolítico para la transformación de la biomasa en carbón vegetal lo que permite obtener un insumo para una transformación de ese carbón como medio filtrante, la biomasa a carbonizar son elementos disponibles en el Caserío de Chirijcájá, San Cristóbal, Totonicapán. Entre la biomasa disponible se puede mencionar: el xilote (olote) es un residuo del maíz que se da en tiempos de cosecha, la cascará de coco es residuo disponible en puestos de mercado y la leña que proviene de los árboles de cerezo.

Abstract— In the study, the adaptation of the pyrolytic oven technology was carried out for the transformation of biomass into charcoal, this allows obtaining an input for a transformation of that charcoal as a filter medium, the biomass to be carbonized are elements available in the Chirijcájá Village, San Cristóbal, Totonicapán. Among the available biomass we can mention: the xylote (olote) is a residue of corn that is produced during harvest times, the coconut shell is a residue available in market stalls and the firewood that comes from cherry trees.

Palabras clave— pirolítico (*pyrolytic*), carbón vegetal (*charcoal*), adsorción (*adsorption*), filtrado (*filtered*).

1. INTRODUCCIÓN

En Guatemala los proyectos de inversión para agua y saneamiento se han centralizado en las áreas urbanas, por lo tanto, las áreas rurales quedan sin acceso a este recurso. El área rural tiene disposición en algunos casos de cuerpos de agua no contaminados que permiten el acarreo, pero con la dificultad de las distancias, en algunos otros casos tiene que ser comprado por diferentes costos del acarreo con vehículo. En época de invierno las personas en la mayoría del área rural colocan los techos y canales para la captación de agua de lluvia, este presenta una situación de almacenamiento que a los dos días existe una contaminación del agua por la disposición en los recipientes, esta agua de lluvia es captada directamente y no tiene una forma de la retención de sedimentos y otras partículas que puedan ser arrastradas por la superficie que está siendo captada.

Los costos de filtros industriales y la instalación dirigen a las personas a captar el agua en la forma que se pueda, en el caso del carbón activo como medio filtrante es muy útil para adsorción de los sedimentos y otras partículas, los costos de este material suelen ser caros y las comercializan por presentaciones pequeñas. Existe una forma de poder hacer carbón activado con elementos cotidianos, pero en este caso lo ideal es poder carbonizar biomasa en un horno pirolítico que pueda resultar de fácil elaboración y acceso como material filtrante para luego poder hacer los procesos de disposición en los filtros de agua, el horno pirolítico es elaborado con materiales comunes y de igual manera la disposición de la biomasa.

El carbón obtenido por el proceso de carbonización de la biomasa en el horno pirolítico puede utilizarse de manera directa, esto con un prelavado para colocarlo en el recipiente que servirá como filtro, este recipiente tendrá la dirección del flujo de agua de las bajadas de agua de lluvia, la transmisividad no es un impedimento para que pueda mantener un caudal adecuado, esto permite retener los sedimentos y partículas no deseada, cuyo objetivo principal es poder transformar biomasa en carbón vegetal para retener sedimentos en la filtración del agua.

2. Áreas de disponibilidad de la Biomasa

De acuerdo con la información obtenida del señor López (2024), quien es uno de los líderes comunitarios, recientemente este lugar dejó de ser paraje y pasó a ser caserío, el cual está compuesto por catorce sectores denominados en idioma k'iche: Chomojon, Pasajquin, Xecushcubel, Chitucur, Paxshicai, Pabeyal, Chiquixix, Centro-escuela, Chichijonbal, Chutak'b'al k'uch, Chitoq'che, Xeja, Paxk'an y Chucaja.



Fig. 1. Caserío Chirijcá, del municipio de San Cristóbal del departamento de Totonicapán.

3. Adaptabilidad de Tecnologías

Fabricar y usar un sistema de purificación de agua de baja tecnología es un verdadero desafío para las comunidades en busca de autonomía, luego para cientos de millones de personas sin acceso a tecnología referente al recurso hídrico, el interés por la autonomía para la filtración de agua a bajo costo, permite visualizar la fabricación de carbón vegetal como una alternativa. El carbón vegetal después de ser utilizado como medio filtrante en las carcasas de los filtros puede ingresar a otro sistema y sería la fertilización del suelo local.

Las comunidades en Guatemala tienen desconfianza en los productos químicos o industriales porque no se conoce el proceso de fabricación y por factores culturales, la elaboración de los hornos, el calentamiento y visualizar la carbonización inspira confianza en los comunitarios para utilizar estos medios filtrantes para uso en la filtración de agua de lluvia, los medios filtrantes serán elaborados por los mismos comunitarios y serán de fácil mantenimiento y acceso para tener la garantía y confianza de lo que se está utilizando en el lugar. Proyectos similares de filtración de agua no permite esta interacción de materiales filtrantes en las comunidades y el conocimiento de fabricación, de igual forma los costos de compra son un impedimento para la apropiación de esas tecnologías industrializadas.

En los sistemas de captación de agua superficial y agua de lluvia se tiene problema con turbidez, debido a factores de turbulencia, superficies contaminadas por sedimentos o partículas del entorno, esto genera una contaminación del agua sobre todo si es almacenada, el carbón puede colocarse granulométricamente para poder hacer retención de estos sedimentos y minimiza la turbidez del agua, las propiedades del carbón principalmente la absorción de los elementos presentes en el flujo del agua, cuando se genera el carbón por un horno pirolítico no solo representa un beneficio económico sino un beneficio al ambiente porque el ingreso de los materiales que funcionan como combustible son residuos a nivel local, entre ellos la cáscara de coco y el xilote. Los beneficiarios serían los comunitarios principalmente las familias que tengan problemas de ingresos de agua de lluvia con turbidez.

4. Fundamentación teórica

De acuerdo con Sinchire (2020) indica: “Se diseñó un horno pirolítico de doble cilindro en acero inoxidable AISI 304 de 200 litros de capacidad, el mismo que cuenta de dos partes principales: zona de pirólisis y zona de combustión, obteniendo una eficiencia teórica de 48,5 % mediante los cálculos realizados de balance de masa, balance de energía y pérdidas de calor, asumiendo una temperatura ambiente de 20°C, poder calórico y humedad del eucalipto de 16000 kJ/kg y 7,73 % respectivamente”.

“Se demostró que el horno diseñado para la generación del biochar solicitado, es dependiente de la temperatura ambiente y cantidad de combustible utilizado, puesto que en los resultados de las simulaciones realizadas al tomar una temperatura de 9 °C no alcanza la temperatura para el proceso de pirólisis, por otra parte, al disminuir el combustible en un 25 %, el cual representa utilizar más hojarasca y menor leña, la temperatura del horno disminuye, por lo cual no se realiza el proceso pirolítico”.

“Para una correcta combustión se recomienda usar biomasa seca (7,73 % de humedad), ya que la madera o biomasa residual fresca no llegaría a quemarse, por lo cual no llegaría a producirse las condiciones de temperatura para el proceso de pirólisis”.

Según Pantoja (2015) se entiende que la: “La activación termoquímica constituye una alternativa de producir bienestar con una alta superficie activa, para el caso particular de la cascara de coco, se obtuvo un producto con un buen rendimiento másico y buenas propiedades de manejo. Por otro lado, la activación termo física, donde se incluyeron rampas de calentamiento con temperaturas de carbonización y activación, así como la presencia de atmosfera inertes y reactivas, permitieron obtener un material con una

capacidad adsortiva comparable al del CA de referencia, buenas propiedades de manejo y rendimientos que dependen del grado de carbonización y el tipo de biomasa. Con base de la investigación, fueron el cuesco de palma y la escarilla de arroz, los residuos con mejores características finales para su posterior aplicación como enmiendas, teniendo en cuenta que las variaciones estructurales en las partículas de la cama de material, dependieron de las operaciones y los parámetros de procesos”.

Viétez (2024) indica: “El ‘biochar’ es una forma de carbón creado calentando biomasa, como residuos agrícolas, astillas de madera o residuos de cultivos, en un entorno de bajo contenido de oxígeno a través de un proceso llamado pirólisis. Luis Ortiz, Antonio Vázquez, Juan Luis Rodríguez Somoza y Óscar González Prieto trabajan en este proyecto y han alcanzado un producto que presenta una concentración de carbono fijo superior al 50%, con aplicaciones energéticas y con una elevada capacidad de absorción”.

5. Horno Pirolítico

El horno pirolítico es un dispositivo diseñado para que ocurra la descomposición de los materiales orgánicos por altas temperaturas que oscilan entre los 400 °C a 700 °C, siendo característico el estado líquido en gases o aceites según la naturalidad de la materia y el carbono en forma de biochar. La inherencia de los factores dependientes: temperatura, tiempo de residencia y las composiciones de la biomasa.

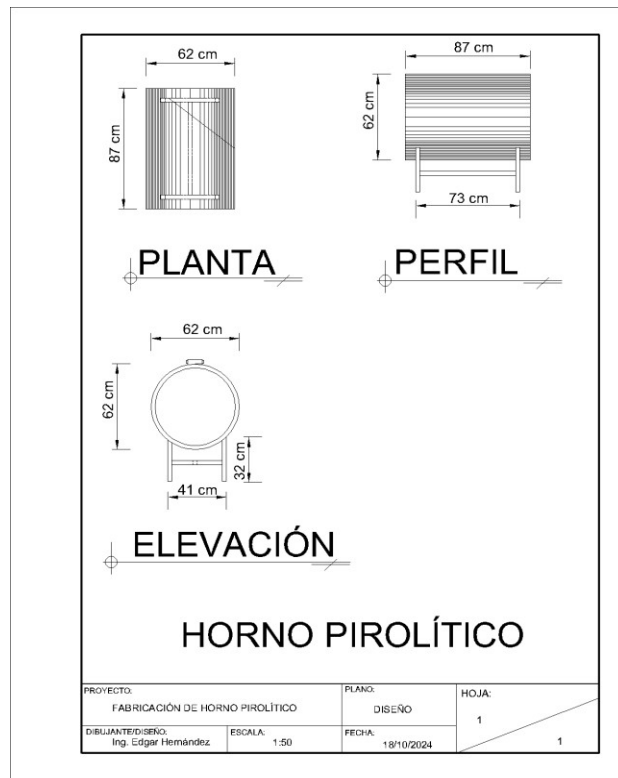


Figura 2. Diseño de horno pirolítico.

El diseño de este horno pirolítico es de lecho fijo porque calienta la biomasa desde abajo de la capa, la biomasa ubicada en la cámara de reacción donde ocurre la pirolisis, en este caso el tonel, el sistema de calentamiento funciona por la combustión de la biomasa que está en disposición a lo largo de la cámara de reacción, siendo el sistema de condensación y manejo de los gases a través de los tubos perforados conectados desde la cámara de reacción hasta los apoyos del horno.

La ventaja de los hornos pirolíticos radica en la versatilidad de utilizar las biomásas de forma interna y externa para la pirolisis y la combustión, también la eficiencia de recuperar en cierta medida la energía generada por los gases en la cámara de reacción, de

igual forma la reducción de emisiones al ser un proceso cerrado con tapadera. Entre una de las aplicaciones el carbón vegetal puede utilizarse en sistema de filtración de agua potable o de aguas residuales a través de la adsorción de partículas disueltas, como también al utilizarse para mejorar los suelos a través de los nutrientes aportados.

Los hornos pirolíticos pueden fabricarse con materiales reciclables pero resistentes que permitan una versatilidad en el diseño según las condiciones que se requiera, enfocado en mejorar y optimizar para adaptarse a los contextos económicos y ambientales, considerando las características principales como el tamaño, la capacidad y el uso de la tecnología adaptada. Además, la fabricación es de un sentido común siendo a nivel técnico factible para la construcción como el acceso a los materiales e insumos a utilizar.

5.1 Materiales e insumos para fabricación

Los materiales de fabricación están acordes a las características principales y secundarias del horno pirolítico, podemos mencionar al tonel de metal elegido por la forma cilíndrica y con capacidad de 0.26 m³ - 60 galones, este tonel debe de tener una tapadera metálica ajustada al borde con abrazadera para que se le puede agregar un tornillo, para las bases y el sistema de condensación y sistemas de gases se necesita un tubo cuadrado de 1"x 1" x 6 m y como insumo de unión de elementos es necesario el electrodo 3/32" - E6013.



Fig. 3. Material para fabricación de horno pirolítico, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

5.2 Materiales para experimentación

La disposición de la cáscara de coco está en los puestos de mercados, se considera como un residuo después de la venta del agua de coco. En el caso del xilote o también llamado olote es considerado un residuo después de las cosechas de la milpa en las áreas de cultivo de los comunitarios. En cambio, la cáscara de patate es de disposición en árboles frutales en lugares cálidos, pero se ha considerado como una biomasa versátil en la costa y por la composición de la cáscara.



Figura 4. Materias primas empeladas para filtrar (tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA).

5.3 Proceso de fabricación

Se tiene que iniciar dimensionando la altura y el radio del tonel, verificar el estado del material en su totalidad, medir con flexómetro la longitud para cortar los tubos cuadrados según esta dimensión, marcar y cortar los tubos cuadrados, por fatiga del material unir y formar la estructura del tubo cuadrado, se coloca las piezas para ajustar la estructura antes de fijar.

Posteriormente se tiene que soldar las uniones de la estructura de la base del horno, perforar con el barrero los tubos de soporte, en el tonel marcar la perforación de la longitud y las zonas a perforar con esmeril, se considera oportuno cortar las zonas marcadas, se fatiga el material esmerilado para que se pueda quitar, se encaja el tubo con las perforaciones efectuadas en el tonel y se puede soldar el tubo en el tonel.

Se procede a retirar los residuos del electrodo en la superficie soldada con una lija o espátula, luego se debe medir y cortar las piezas para el soporte del horno, se rectifica la simetría de los soportes del horno y nuevamente se retira los residuos del electrodo en la superficie soldada, para fijar se debe de escuadrar las siguientes piezas de soporte del horno, nuevamente se debe de soldar los soportes del horno para hacer las pruebas de estabilización por último colocar la tapadera y el tornillo del sellado del horno.



Fig 5. Proceso de fabricación el horno pirolítico, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

5.4 Proceso de experimentación

La biomasa se ordena dentro del horno de tal forma para poder visualizar los cambios del material según la energía térmica, se sella completamente asegurando que se conserve la mayor parte de calor en el tonel, en este proceso sucede la deshidratación, el horno ha sido expuesto a la energía térmica por 3 horas dando un resultado favorable hasta un 100% de carbonización del material ingresado por disposición de la combustión en medio del horno, de igual forma se ha experimentado de forma simultánea en un horno

eléctrico a 450 °C de temperatura durante 3 horas con un resultado del 30% de carbonización del material.

Es necesario antes de uso del horno hacer un deshidratado de manera natural la biomasa (Xilote, cáscara de coco y pataste) durante una semana por 5 horas expuestas al sol. Esto permitirá un ahorro de energía térmica dentro de la cámara de reacción, para iniciar se retira la tuerca del tornillo de la tapadera del horno pirolítico, se retira la abrazadera, se coloca la biomasa en orden en el horno, el combustible en la parte inferior y la tapadera, ajustar la abrazadera y el tornillo-tuerca en el horno pirolítico. Por último, encender con fuego para iniciar el proceso del precalentado y pirolítico, por 3 horas continuas de fuego. Después destapar el horno pirolítico transcurriendo las 16 horas de enfriado.



Fig. 6. Proceso de fabricación el horno pirolítico, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.



Fig. 7. Proceso de fabricación el horno pirolítico, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

5.5 Resultados

Resultado de carbonización en el horno pirolítico de xilote, cáscara de patate y cáscara de coco. Carbonización al 100% biomasa en disposición media del horno pirolítico. De cáscara de patate se obtuvieron 0.294 kg, de xilote se obtuvieron 0.322 kg, de cáscara de coco se obtuvieron 0.638 kg de biomasa carbonizada.



Fig. 8. a) Cáscara de patate, b) xilote y c) cáscara de coco carbonizada, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

Resultado de carbonización en horno eléctrico de Xilote, cáscara de patate y cáscara de coco. Es necesario un comparativo en cuanto al tiempo de carbonización de los mismos materiales en un horno eléctrico, ha sido horneado a 450 grados centígrados por 3 horas y existe una variación del material ingresado, este no ha llegado al punto de carbonización como el horno pirolítico. Carbonización al 30%



Fig. 9. Cáscara de patate, xilote y cáscara de coco carbonizada, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

Tabla 1. COMPARACIÓN DE MATERIAL OBTENIDO POR LOS DOS MÉTODOS DE CARBONIZACIÓN.

No.	Material	Método de Carbonización	Estado	Temperatura °C	Posición	Peso (kg)
1	Cáscara de Coco	Pirolítico	100%	≥700	Central	0.64
2	Xilote	Pirolítico	100%	≥700	Central	0.32
3	Cáscara de Patate	Pirolítico	100%	≥700	Central	0.64
4	Cáscara de Coco	Pirolítico	40-65%	[400-700]	Extremos	5.02
5	Xilote	Pirolítico	40-60%	[400-700]	Extremos	0.43
6	Cáscara de Patate	Pirolítico	40-60%	[400-700]	Extremos	0.3
7	Xilote, Cáscara de coco y patate	Eléctrico	30%	450	Uniforme	0.38

Los resultados indican que la efectividad de la carbonización de la biomasa es de un alto porcentaje en el horno pirolítico, también es importante la disposición del fuego en la longitud de la cámara de reacción y que este sea constante, la deshidratación natural ayudará a tener mejor resultados en menor tiempo ahorrando energía térmica.

6. Conclusiones

Durante el desarrollo de esta investigación se elaboró un horno pirolítico para la transformación de las biomásas en carbón vegetal para retener sedimentos en la filtración de agua, considerando la principal función de biochar para aprovechar la característica de

adsorción como medio filtrante, con el método técnico de fabricación básico y de materiales a costo accesible que permitiera la movilidad y fácil uso por el usuario.

Se estableció el diseño de la estructura del horno a biochar con elementos internos y externos que permitiera el pirólisis. Los elementos estructurales que serían la cámara de reacción y los soportes pudieron ser de forma reciclada pero resistente a la energía térmica a los que estarían sometidos.

Se usaron las biomásas disponibles a nivel local, como combustibles a carbonizar en el horno pirolítico. Esta disponibilidad hace sostenible el insumo para la carbonización del material, como también material de combustión externo y permita un flujo de producción de carbón para los filtros y también puedan ingresar al sustrato de los cultivos para dar nutrientes continuando el beneficio al ambiente.

En los resultados obtenidos se utilizó el horno pirolítico con las biomásas obtenidas, siendo comparado la carbonización en un horno eléctrico, en el mismo tiempo de ingreso, pero con diferentes temperaturas, y los compartimientos de deshidratación distintos.

7. Recomendaciones

Antes de la prueba es necesario con un removedor de pintura eliminar el revestimiento del interior de la cámara de reacción, entonces al no quitar esta pintura la primera vez se recomienda desprenderla antes de volver a usarla, en la parte interna con una espátula es práctico remover debido a la corrugación por temperatura del primer uso.

El uso del horno pirolítico se recomienda hacerlo en espacios circulantes de al menos 1.5 metros equidistantes del equipo en lugares cerrados por la intensidad del calor, evitando ser un riesgo físico para las personas y ser un ente de combustión en cadena.

La biomasa que tenga una disposición local natural en abundancia utilizarla en la cámara de reacción como también en la parte externa siendo material de combustión.

El uso del horno pirolítico debe de realizarse en suelo plano, sino fuera el caso el equipo debe de ir a la dirección de la tapadera hacia la pendiente más baja por el aceite que desprender por deshidratación de la biomasa.

Es imperativo considerar una presión de ajuste entre la tapadera la cámara de reacción que permita desfogar el líquido y los gases que puedan desprender en el precalentamiento y calentamiento.

El equipo de protección personal es importante, desde la preparación del uso del equipo de igual forma al retirar la biomasa carbonizada, también al utilizar las herramientas y estar en contacto en el entorno del horno pirolítico por ser un trabajo en caliente y con riesgos físicos latentes.

8. Referencias

Pantoja, D. (2015). PARTICIPACIÓN EN EL DISEÑO DEL HORNO DE PIROLISIS PILOTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES CON FUNCIONAMIENTO POR ETAPAS PARA PRODUCIR BIOCHAR EN EL ÁREA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE I&D DE LA EMPRESA INNOVATIVA.

Sinchire, H. (2020). DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN HORNO PIROLITICO DE 200 LITROS PARA LA GENERACIÓN DE CARBON.

Viétez, O. (2024). Pontevedra Viva. Un horno pirolítico diseñado en Pontevedra transforma restos forestales en 'biochar'. https://www.pontevedraviva.com/es/general/un-horno-pirolitico-disenado-en-pontevedra-transforma-restos-forestales-en-biochar_356056_102.html.(online) consulta: 24/07/2024.

Hernández, E. (2024). “Guía de proceso de fabricación y uso de horno pirolítico para la generación de carbón vegetal”, Proyecto de Filtros Versátiles en comunidades vulnerables CUNOC-USAC/UPNA.

**Evaluación de la reducción de la turbidez en filtros de carbón
activado con limón, vinagre y solución salina, para uso en
territorios vulnerables de Guatemala**

J. L. Cuzal¹, E. O Flores¹ y A. Gil²

Centro Universitario de Occidente (CUNOC), de la Universidad de San Carlos de
Guatemala¹

Departamento de Química Aplicada, Universidad Pública de Navarra²

Resumen— El carbón activado es una estructura altamente porosa que actúa como un adsorbente natural, comúnmente utilizado en filtros de fluidos. Su activación ya sea por medios físicos o químicos requiere procedimientos complejos y difíciles de replicar en ambientes domésticos. La activación química industrial requiere del uso de sustancias como cloruro de zinc, ácido fosfórico o ácido nítrico cuyo manejo requiere formación técnica. En este estudio se evaluaron alternativas caseras para la activación química utilizando solución salina al 25 % p/v, ácido cítrico (jugo de limón) y ácido acético (vinagre). El carbón activado con estas sustancias sometidas a procesos térmicos demostró eficiencia en la eliminación de la turbidez simulada con azul de metileno de 25 NTU a 0 y mejora en la calidad organoléptica del agua, siendo el carbón activado con vinagre el que presentó mejores resultados.

Palabras clave— Azul de metileno, carbón activado, filtro de agua, limón, sal, turbidez, vinagre.

Abstract. Activated carbon is a highly porous structure that acts natural adsorbent, commonly used in fluid filtration systems. Its activation, whether through physical or chemical means, requires complex procedures that are difficult to replicate in domestic settings. Industrial Chemical activation involves substances such as zinc chloride, phosphoric acid, or nitric acid, which require technical training for safe handling. This study evaluated household alternatives for chemical activation using a 25 % w/v saline solution, citric acid (lemon juice), and acetic acid (vinegar). Activated carbon treated with these substances and subjected to thermal processes demonstrated efficiency in removing simulated turbidity with methylene blue, reducing turbidity from 25 NTU to 0, and improving the organoleptic quality of water. Among the tested methods, vinegar-activated carbon showed the best results.

Key Words – Methylene blue, activated carbon, water filter, lemon, salt, turbidity, vinegar.

1. Nomenclatura

°C Grados centígrados

CARS Cuenca alta del río Samalá

Cm Centímetros

COGUANOR Comisión guatemalteca de normas

NTG	Norma técnica guatemalteca
NTU	Unidad nefelométrica de turbidez
p/v	Peso en volumen
m ² g ⁻¹	Metro cuadrado por gramo
nm	nanómetro
VOC	Compuestos orgánicos volátiles
v/v	Volumen en volumen

2. Introducción

La contaminación del agua para consumo humano representa un desafío significativo para la salud pública a nivel mundial, se estiman cinco millones de defunciones al año como consecuencia de enfermedades transmitidas por el agua (Funcagua, 2024). En Guatemala la calidad del agua para consumo humano está regulada por la NTG COGUANOR 29 001 que establece los límites máximos aceptables y permisibles para proteger la salud de sus consumidores.

Entre los contaminantes más comunes se encuentran la turbidez y los sólidos suspendidos y disueltos, que afectan la calidad del agua potable. El carbón activado es uno de los materiales más utilizados para depurar estos contaminantes debido a las

propiedades adsorptivas que posee, atrapa compuestos principalmente orgánicos, presentes en un gas o líquido. Lo hace con tal efectividad que es el purificante más utilizado por el ser humano (Hernández Vásquez, 2020).

El alto costo comercial de este compuesto complica su uso para filtros en comunidades vulnerables, la falta de formación técnica, para su producción es necesario utilizar equipo especial para tratamientos térmicos y reactivos que son peligrosos para el ser humano. Recientes investigaciones plantean el uso de formas alternativas y sostenibles para producirlo a nivel casero, pero su efectividad y viabilidad en contextos específicos de Guatemala aún no ha sido evaluada.

El objetivo de este trabajo es evaluar la efectividad del carbón activado mediante tres formas alternativas, en la adsorción de contaminantes que provocan turbidez en el agua, se emplearon tres sustancias activadoras: una solución salina en una concentración de 25 % (p/v), jugo de limón y vinagre. El carbón se activó mediante procedimientos establecidos en estudios previos y ajustados mediante nuevas propuestas basadas en la experiencia. Su eficiencia fue evaluada mediante la adsorción de azul de metileno, utilizando un colorímetro.

3. Carbón activado y métodos de activación

Con el término genérico carbón se conoce a los compuestos que tienen en su composición al elemento carbono (C), ordenado regularmente. El carbón común posee fuerzas de atracción libre, debido a que los átomos situados en la parte exterior de su estructura cristalina disponen de fuerzas que les permiten atraer compuestos existentes en su inmediato alrededor (Manual del carbón activo, s.f.).

El objetivo de activar el carbón es aumentar la porosidad de los granos de carbón, incrementar su área superficial que permite aumentar la atracción de compuestos, debido a ello es un filtrante por excelencia en líquidos y gases.

3.1 ¿Qué es carbón activado?

Para comprender el por qué es necesario activar el carbón para mejorar su capacidad para filtrar agua, es necesario definir primero qué es el carbón activado, para ello se citan las siguientes definiciones.

El carbón activado es un adsorbente versátil que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito que proviene de la descomposición térmica de madera, cortezas vegetales, carbón, etc., tiene alta porosidad y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 300 a $1200 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ con un promedio de diámetro de poro de 10 a 60 nm (Medina Aguirre, 2021).

El carbón activado es una serie de carbones preparados artificialmente que presentan una alta porosidad y área superficial. Desde el punto de vista estructural, el carbón activado se puede definir como un material carbonoso poroso preparado a partir de un precursor a base de carbón con gases, y en ocasiones con la adición de productos químicos (por ejemplo, ácido fosfórico, cloruro de cinc, hidróxido de potasio, etc.), durante y después de la carbonización, para aumentar la porosidad (Luna, González, Gordón, & Martín, 2007).

Es una forma de carbono microcristalino y no grafito. El carbón activado se refiere a la porosidad rodeada por átomos de carbono. Es de color negro, poroso, friable y de una

gran superficie de contacto. La porosidad tiene el tamaño de moléculas y tiene la forma de un corte (Grajeda Cárdenas, 2013).

Por otra parte, en su tesis de licenciatura (Hernández Vásquez, 2020) define el carbón activado o carbón activo como un carbón poroso, atrapa compuestos principalmente orgánicos, presentes en un gas o líquido. Lo hace con tal efectividad que es el purificante más utilizado por el ser humano.

Analizando los conceptos de los autores citados, se llega a la conclusión de que el carbón activado es una estructura reticular cristalina extremadamente porosa que tiene amplia área superficial, se obtiene a través de carbón de origen vegetal o mineral y se activa con el objeto de aumentar su porosidad a través de métodos físicos o químicos, con ello aumenta sus características de adsorción.

3.2 ¿Qué función tiene el carbón activado en filtros de agua?

El agua para consumo humano, dependiendo del contexto puede tener diferentes contaminantes perjudiciales para la salud del ser humano, en filtros de agua el carbón activado es utilizado para mejorar las propiedades físicas y organolépticas del agua, es decir, que mejoran el color, olor y sabor del agua, también puede adsorber algunos organismos microbiológicos en sus poros.

Es excelente para retener moléculas de compuestos orgánicos aromáticos (aquellos que pueden ser oídos), tiene una muy buena efectividad para eliminar el olor y sabor del cloro residual (Chiclote Gonzales, 2018).

Los filtros de carbón activado eliminan los compuestos orgánicos volátiles (VOC), los pesticidas y herbicidas, los compuestos con trihalometano, radón, los solventes y otros productos hechos por hombre y que encontramos en las aguas. (Visbal H. & Rozo Q.).

En general el carbón activado en los filtros de agua tendrá la función de mejorar las características físicas y organolépticas.

3.3 Fuentes de obtención de carbón para su activación.

El carbón activado puede producirse casi a partir de todos los materiales orgánicos que contienen carbono, principalmente madera, cáscaras de nueces, huesos de frutas, cáscara de coco, carbón mineral entre otros (Medina Aguirre, 2021). La forma más económica y asequible de producir el carbón activado es utilizando precursores de origen vegetal.

El precursor es la materia prima principal que se utiliza para obtener el carbón activado y que normalmente debe contar con un alto contenido de carbono fijo y de materia volátil, alta densidad de empaquetamiento y bajo contenido de cenizas. El uso de un precursor adecuado está condicionado principalmente por su disponibilidad y costo, aunque también depende de las principales aplicaciones del carbón activado que va a ser fabricado y del tipo de tratamiento dado. (Medina Aguirre, 2021).

Para seleccionar el precursor se debe tomar en cuenta varios criterios según (Marsh & Rodríguez Reinoso, 2006):

- Baja cantidad de materia orgánica: el precursor debe tener baja cantidad de materia orgánica, para de esta forma obtener un carbón con bajo contenido de cenizas.
- Disponibilidad y costo: es importante ya que da viabilidad y factibilidad a la producción.
- Baja degradación durante el almacenamiento: garantiza que la materia prima sea aprovechada en su gran mayoría.
- Facilidad de activación: muestra ventajas en la adsorción y cinética de las reacciones.

4. Métodos tradicionales de activación del carbón

4.1 Medios físicos

Para activar carbón por medios físicos se requiere de equipo especializado, en particular hornos que tengan la capacidad de elevar la temperatura hasta 1000 °C de forma controlada y puedan lograr un proceso de pirólisis en los mismos. Para realizar este proceso es necesario tener hornos de activación y generadores de vapor (Rincón, y otros, 2015).

En el trabajo experimental de (Rincón, y otros, 2015) elevaron el carbón a temperaturas entre 700 y 900°C y utilizaron vapor de agua para activar el carbón, dejando un tiempo de residencia de entre una y tres horas, según el programa de activación.

4.2 Medios químicos

Para activar químicamente el carbón se utilizan agentes de activación como ácido fosfórico y ácido nítrico en una concentración de al menos 30 %, también se hace uso de sales como el cloruro de calcio o cloruro de cinc, sin embargo, el uso del cloruro de cinc se ha restringido por la contaminación que genera al medio ambiente (Grisales Motato & Rojas Arrieta), es más común recurrir a la activación química mediante ácido fosfórico, ácido nítrico e incluso ácido sulfúrico.

Para lograr la activación es necesario que se deje en remojo el carbón por lapsos entre 12 y 48 horas en el agente activante, haciendo énfasis en que la función del agente activante es la deshidratación del carbón y con ello aumentar la porosidad. Los reactivos se mezclan con la materia prima, teniendo en cuenta un tiempo y temperatura de reacción apropiados (Grisales Motato & Rojas Arrieta).

Para eliminar el exceso de los agentes activadores, es necesario el uso de grandes cantidades de agua para lograr estabilizar un pH neutro, por último, es necesario secar nuevamente el carbón para eliminar humedad y otro tipo de materia que pueda estar obstruyendo los poros.

5. Métodos alternativos para la activación del carbón

Este trabajo va encaminado a proveer de tecnología endógena para que comunidades con problemas en la calidad del agua para consumo humano puedan producir sus propios filtros, con materiales que puedan encontrar en su entorno, el fin principal es proveer de herramientas a los pobladores para que puedan generar sus propios filtros para mejorar problemas físicos y organolépticos, para ello se propone el uso de filtros a base de carbón activado, los cuales mejoran la calidad del agua significativamente.

El pie cúbico de carbón activado comercial tiene un precio aproximado de Q.850.00 en el mercado guatemalteco, un precio poco accesible para las comunidades vulnerables, la activación a nivel industrial utilizando los métodos convencionales, en la parte química los materiales además de ser poco accesible por los controles de los ministerios encargados (se requiere una licencia para el manejo de precursores químicos), son materiales peligrosos y se requiere formación técnica tanto para su utilización como para su correcta disposición final y evitar una contaminación aún mayor a los cuerpos de agua.

Por medios físicos, se requiere de equipo muy especializado que implica un alto costo y la utilización de grandes cantidades de energía, por esta situación no se considera el implementar esta tecnología que definitivamente por el contexto no se puede implementar dentro de estas comunidades, no obstante, es necesario la inclusión de tecnología que pueda utilizarse en la comunidad y que sea sostenible en el tiempo y los mismos comunitarios puedan generar el material con el que puedan asegurar el funcionamiento de esta.

Con base a previos trabajos se proponen tres métodos para la activación de carbón.

5.1 Activación de carbón mediante una solución salina

Un método alternativo para la activación de carbón por medios químicos lo propone la empresa social (Faircap, s.f.) en la página de Autodesk Instructables, proponen la utilización de una solución salina como agente activante, el cloruro de sodio (sal de mesa) es un medio alternativo al uso de cloruro de zinc que su función principal en la activación del carbón es deshidratar los átomos de carbono y mejorar el contenido de carbono a través de la formación de una estructura gráfica aromática (Hock & Muhammad Abass, 2018).

El proceso de activación propuesto por el proyecto de Faircap consiste en combinar el carbón con una solución compuesta por un 25 % de sal y un 75 % de agua, mezclando hasta que se integre por completo, seguidamente se deja reposar la mezcla durante 24 horas, lo que permite que la sal penetre en el carbón, logrando con ello la deshidratación de este aumentando la apertura de sus poros.

Por último, se debe enjuagar el carbón sumergiéndolo en agua limpia, se deja reposar una hora y se renueva el agua varias veces hasta que en este no quede rastro de sal.

5.2 Activación de carbón mediante jugo de limón

Otro tipo de precursores químicos utilizados en la activación de carbón son los ácidos que básicamente tienen la función de reducir el contenido de cenizas en éste (Navarrete, Giraldo, Boquero, & Moreno, 2005), deshidratar el material formando estructuras de

enlace cruzado que se relacionan con el desarrollo de la porosidad (Donald, Ohtsuka, & Xu, 2011). Los ácidos utilizados en la industria suelen ser difíciles de adquirir, requieren de un manejo técnico para evitar accidentes y una disposición final adecuada para evitar la contaminación del medio ambiente, sustituir los ácidos industriales por ácido cítrico, en este caso jugo de limón, sugiere una buena alternativa en la producción de carbón activado.

Un método alternativo para la producción de carbón activado con jugo de limón se describe a continuación: Primero se introdujo fragmentos pequeños del carbón vegetal seco en una licuadora de uso doméstico para producir carbón vegetal en polvo (también se puede hacer en un mortero o con martillo), el que se pasó por un colador de cocina (No. 10 ASTM E11) para evitar los granos grandes. En una jarra medidora se preparó 150 ml de jugo de limón exprimido con 200 ml de agua de cañería, obteniendo una mezcla homogénea de 350 ml (sin semillas). Posteriormente, se introdujo 280 g del carbón vegetal en polvo dentro de un bowl (recipiente para preparar alimentos) junto con la mezcla anterior y se tapó dejándola reposar durante 12 horas aproximadamente. Este resultado, se pasó por un filtro de tela limpio (colador de café), para separar el carbón de la mezcla líquida y se enjuago cuatro veces con agua de cañería pasándolo, en cada repetición, por el filtro de tela para retener el carbón. Este procedimiento se realizó con delicadeza para evitar perder muestras significativas del material. Luego, en una fuente pequeña para horno, se agregó toda la cantidad resultante amojosada y se la introdujo en el medio de un horno de cocina a gas de uso doméstico, que estuvo calentado durante 10 min. Finalmente, se dejó este contenido dentro del horno durante una hora a una temperatura promedio de 180 °C (Décima, 2024).

5.3 Activación de carbón mediante vinagre blanco

Para obtener un carbón activado utilizando vinagre blanco como agente activador, en un tríptico interinstitucional de la UNA, Costa Rica, proponen la siguiente metodología: Se tritura el carbón hasta tener el carbón en polvo, se pasa a una olla de metal u otro recipiente y se le agrega vinagre blanco hasta que esté cubierto por completo. Esta mezcla se calienta con una fuente de calor hasta que el vinagre se evapore por completo seguido de los procesos de lavado y secado que se han practicado en B.

Una recomendación general de este proceso es que se debe realizar en un lugar ventilado, por la emanación de gases nocivos para el sistema respiratorio, además de tener cuidado en el manejo del material a altas temperaturas.

6. Materiales y métodos

Este trabajo va encaminado a proveer de tecnología endógena para que comunidades con problemas en la calidad del agua para consumo humano puedan producir sus propios filtros, con materiales que puedan encontrar en su entorno, el fin principal es proveer de herramientas a los pobladores para que puedan generar sus propios filtros.

Para estos ensayos se utilizó carbón vegetal de uso doméstico, los trozos de carbón se trituraron con el apoyo de un mortero con pistilo y un molino manual de granos al cual se le dejó una abertura entre discos de tres milímetros, seguidamente se tamizó el material con tamices No. 4, 8 y 40, obteniendo la siguiente granulometría.



Fig. 1. Trabajo de molienda del carbón.

En el tamizaje realizado se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1. Resultados de tamizaje de carbón activado para filtro.

			Tamiz 3/8 9.5mm	Tamiz #4 4.75mm	Tamiz 8 2.36 mm	Tamiz 40 0.425 mm
Cantidad gramos	obtenida	en	1.006	133.798	203.212	161.966
Cantidad porcentaje	obtenida	en	0.20%	26.80%	40.60%	32.40%

	Tamiz 3/8	Tamiz #4	Tamiz 8	Tamiz 40
	9.5mm	4.75mm	2.36 mm	0.425 mm
Cantidad obtenida en gramos	1.006	133.798	203.212	161.966
Cantidad obtenida en porcentaje	0.2%	26.8%	40.6%	32.4%

Fuente: Proyecto Desarrollo de Filtros Versátiles.

El carbón triturado y tamizado, se sometió a un proceso de secado, colocando el material en un recipiente metálico forrado con papel aluminio sobre una estufa eléctrica durante 60 minutos, obteniendo así el material listo para su activación.

6.1 Proceso de activación de carbón mediante una solución salina

Para preparar el carbón activado utilizando como agente activador una solución salina al 25 % (p/v) se realizó el siguiente procedimiento:

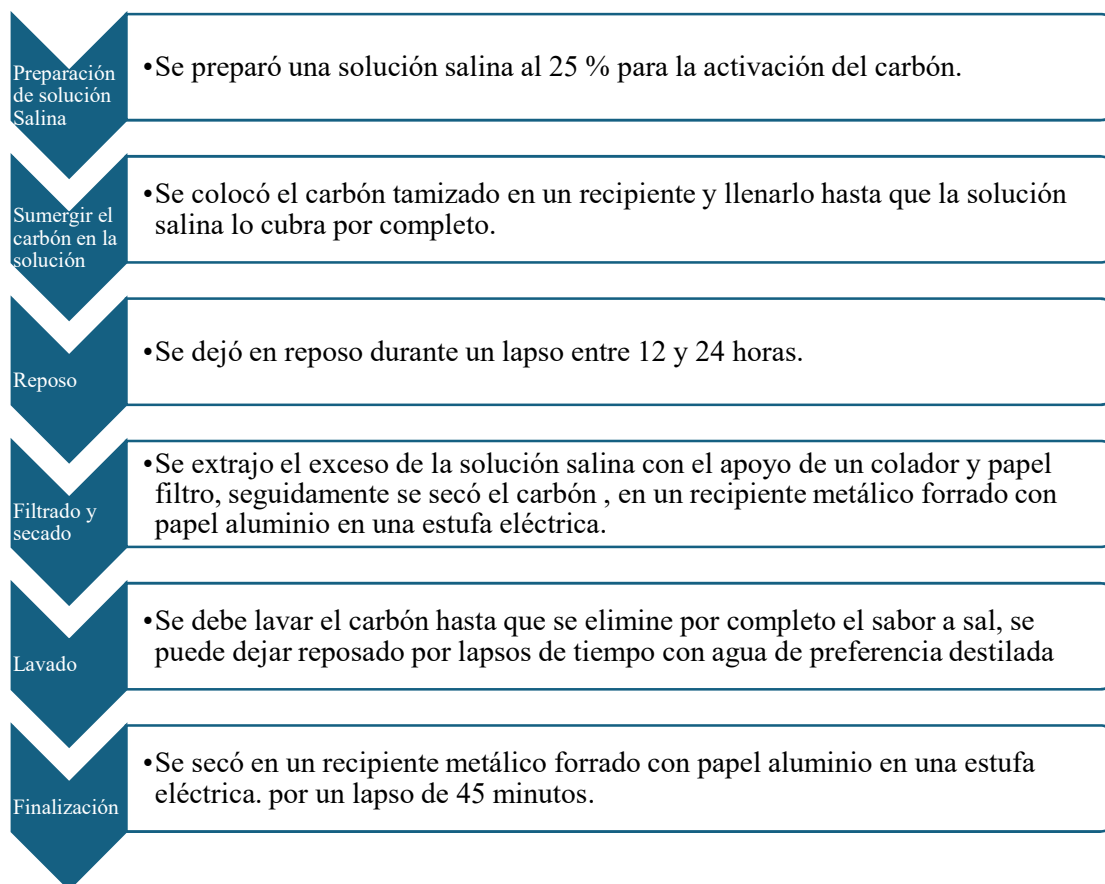


Fig. 2. Proceso de activación de carbón con una solución salina

En los procesos sugeridos por Faircap no se mencionan procesos de secado, no obstante, el agregar calor a este proceso a mayor temperatura aumenta la porosidad del carbón (Obregón Espino, 2016), bajo esta premisa se sometió la mezcla de carbón y la solución salina a un proceso de secado con una estufa eléctrica y un recipiente metálico, considerando que es lo que se tiene al alcance de los pobladores en condiciones vulnerables.

En los procesos de secado es necesario realizar una agitación constante para evitar la ignición espontánea del carbón y garantizar una distribución uniforme del calor, esto se realizó a través de una espátula durante todo el proceso.

La cantidad de agua necesaria para eliminar el sabor a sal de la mezcla es bastante considerable, idealmente se debe realizar con agua desmineralizada para evitar que el carbón empiece a adsorber impurezas del agua y tener mejores resultados.

6.2 Proceso de activación de carbón mediante jugo de limón

Para preparar el carbón activado utilizando como agente activador jugo de limón se realizó el siguiente procedimiento:

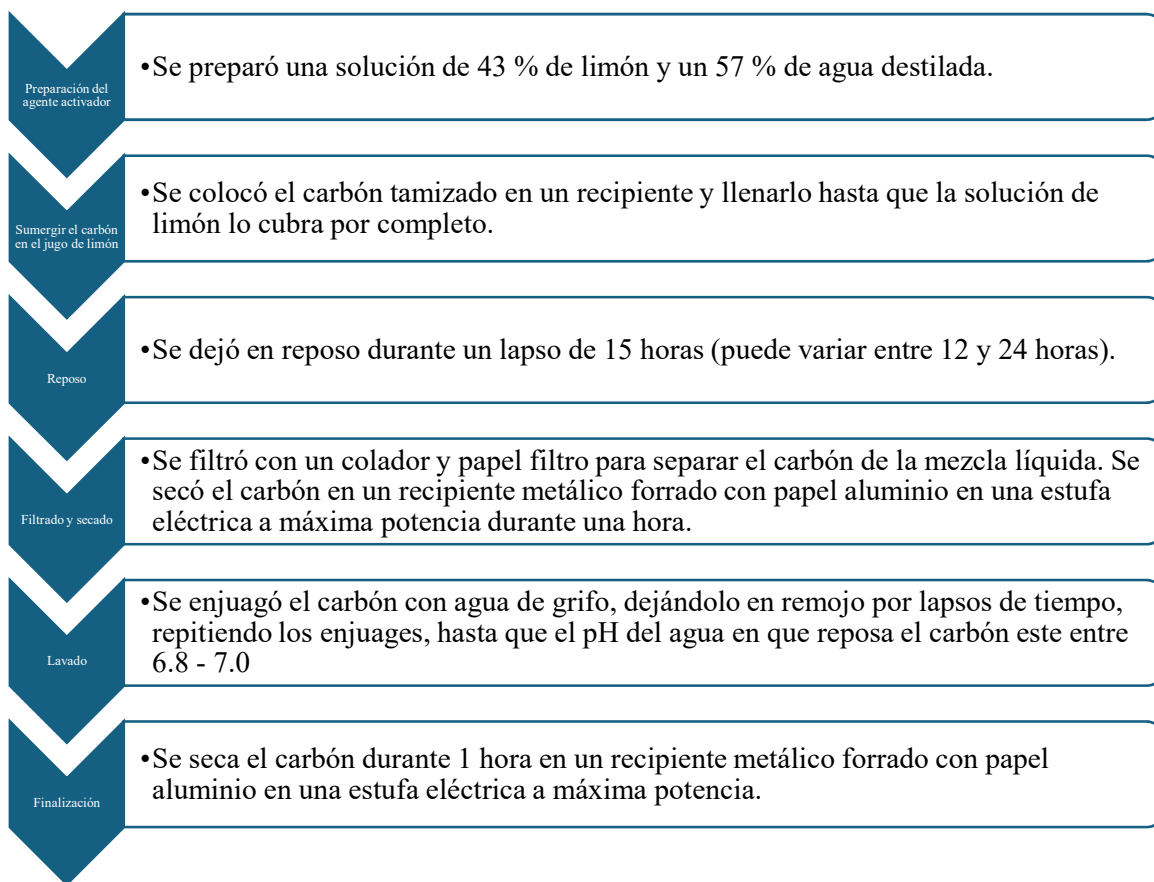


Fig. 3. Proceso de activación de carbón con jugo de limón.

La preparación de la mezcla de jugo de limón con agua destilada requirió exprimir 14 limones para obtener 430 mL de jugo, se agregó agua destilada hasta obtener un litro de la mezcla con un pH de 1.80, esta mezcla se vertió en un recipiente sobre 500 gramos de carbón. En el método descrito en la sección IV-B no se menciona un proceso de secado por medios térmicos, sin embargo, considerando la misma premisa que en la sección V-A se sometió al mismo tratamiento térmico para aumentar la porosidad del carbón.

El proceso de secado se realizó al aire libre, debido a la emisión de humos, que puede ser perjudicial para la salud, para mitigar el riesgo se utilizó equipo de protección personal adecuado para proteger las vías respiratorias.

Al igual que en V-A se utilizó una cantidad considerable de agua para enjuagar y lavar el carbón hasta que el pH se neutralizara, también se sugiere realizar los enjuagues con agua desmineralizada.

6.3 Proceso de activación de carbón mediante vinagre

Para preparar el carbón activado utilizando como agente activador vinagre se realizó el siguiente procedimiento:

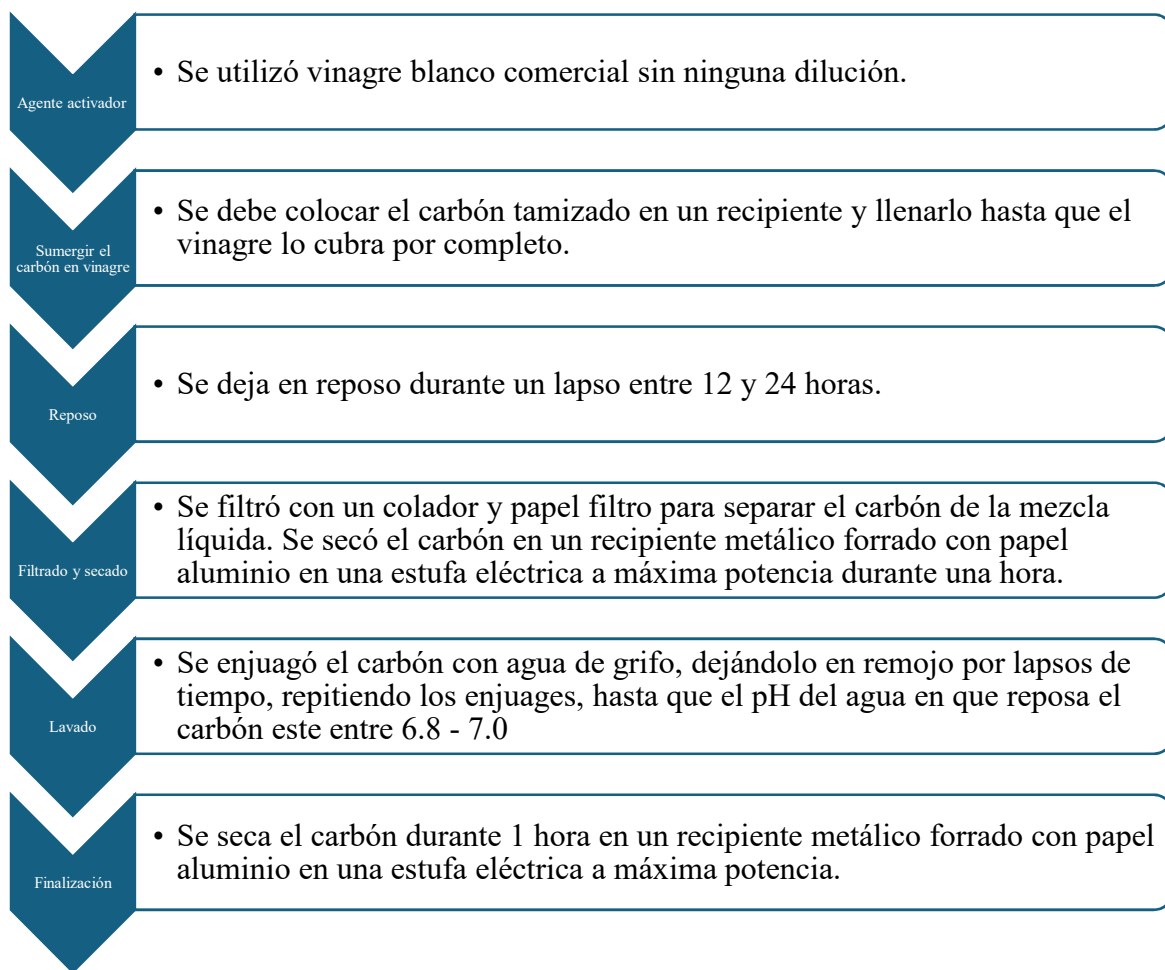


Fig. 4. Proceso de activación de carbón con vinagre.

Como agente activador se utilizó ácido acético comercial (vinagre blanco de cocina) cuyo pH midió 2.83, se vertió un litro de vinagre sobre 500 gramos de carbón, dejándolo en remojo por un lapso de 24 horas, calentando esta mezcla en un recipiente metálico forrado con papel aluminio, sobre una estufa eléctrica a su máxima potencia durante una hora, teniendo los mismos cuidados que se mencionaron en la sección III-B para evitar daños a la salud.

Nuevamente fue necesario utilizar una considerable cantidad de agua para neutralizar el pH en 7, se utilizó agua de grifo, aunque nuevamente se hace la recomendación de utilizar agua desmineralizada, se utilizó agua de grifo considerando que son métodos caseros y la población que puede reproducir estos métodos difícilmente tendrá a su alcance agua desmineralizada o destilada.

7. Ensayos y evaluación

Para este ejercicio se cuenta con carbón activado mediante métodos alternativos tal que pueda ser producido por cualquier persona, sin necesidad de tener equipo con tecnología fuera del alcance de personas en áreas rurales de la CARS.

7.1 Construcción de prototipos

A continuación, se detallan los materiales filtrantes utilizados en la construcción de los prototipos para la prueba de materiales:

- Carbón activado tratado:
 - 1000 cm³ de carbón activado con solución salina (sección V-A).
 - 1000 cm³ de carbón activado tratado con ácido cítrico (limón) (sección V-B).
 - 1000 cm³ de carbón activado tratado con ácido acético (vinagre) (sección V-C).

- Arenas y grava:

Arena de mina (1000 cm³): Obtenida de un terreno montañoso en el municipio de Cantel. Fue sometida a un proceso de cernido para eliminar partículas de mayor tamaño y garantizar un tamaño de grano uniforme.

Arena sílice 20/30 (2500 cm³): Material homogéneo adquirido en un proveedor de materiales filtrantes para sistemas hidráulicos.

Grava 3/8" (1500 cm³): Pequeñas piedras utilizadas como material de soporte, adquiridas en un proveedor especializado en filtración hidráulica.

Otros materiales:

Algodón medicinal (1 libra): Utilizado como elemento de retención de partículas, adquirido en farmacia.

Tubo de PVC de 2" (8 metros): Empleado para la conducción del agua, utilizando un metro por prototipo.

Tapaderas de PVC de 2": Se perforaron con una broca de 5/64" de diámetro para permitir el paso del agua filtrada.

7.2 Proceso de limpieza de los materiales filtrantes:

Previo a la construcción de los filtros, el carbón activado, la arena y la grava fueron lavados exhaustivamente con agua de grifo con el fin de eliminar impurezas, polvo y residuos generados durante su manipulación y almacenamiento. El proceso de lavado se llevó a cabo en recipientes con agua limpia y mediante enjuague con agua corriente. Cada material fue lavado repetidamente hasta que el agua de enjuague se tornó completamente cristalina, asegurando así la eliminación de partículas flotantes y sedimentos.

7.3 Construcción de prototipos

Los materiales filtrantes empleados para la elaboración de los prototipos para prueba de materiales se detallan a continuación:

Los prototipos de carbón fueron contruidos de la siguiente forma:

- Teniendo los materiales anteriormente mencionados, se procedió a colocar la tapadera de tubo PVC en uno de los extremos de un tubo.
- Se acomodó una capa de algodón de aproximadamente 5 cm de altura en toda la sección del tubo, pegada a la tapadera, esta para retener los materiales filtrantes.
- Se midió el volumen necesario de carbón (una prueba con 10 cm de altura y otra con 20 cm de altura) con el apoyo de cristalería de laboratorio y se procedió a introducirlo

en el tubo con extremo cuidado para evitar la pérdida de material a su vez que este se acomodara de forma homogénea en el fondo, seguidamente del algodón.

- Se midió el volumen necesario de arena sílice con cristalería de laboratorio, luego se introdujo como capa superior a la de carbón activado.
- Se midió el volumen necesario de grava de retención con cristalería de laboratorio, luego se introdujo como capa superior a la de arena.

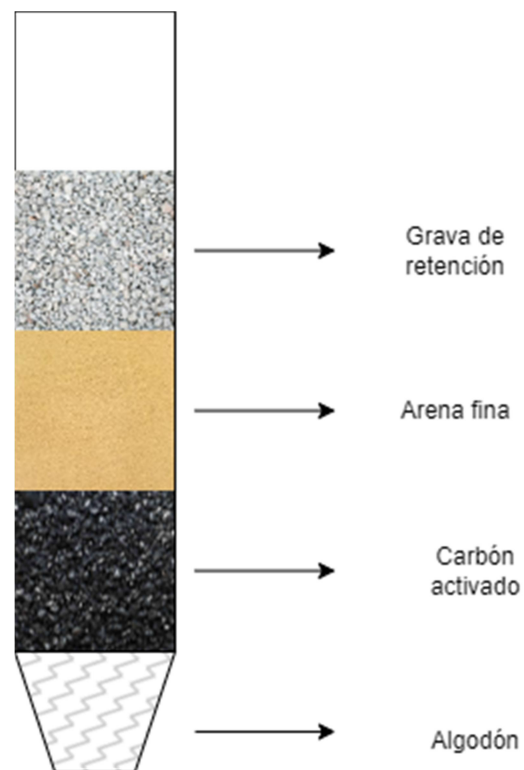


Fig. 5. Esquema de acomodamiento de materiales en los prototipos de prueba de materiales (*Fuente: Proyecto desarrollo de filtros versátiles*).

7.4 Método y equipo de evaluación

Para evaluar el desempeño y efectividad en la remoción de turbidez en filtros en los que el elemento filtrante predominante es el carbón activado, se cuenta con un colorímetro Hach Dr 900, del que se utilizó el método absorbométrico 8237, se trata de una prueba de turbidez que mide una propiedad óptica de una muestra, resultado de la dispersión y absorción de luz por partículas en la muestra. La cantidad de turbidez medida depende de variables como el tamaño, forma, color y propiedades refractivas de las partículas (HACH, 2013). Los valores de los resultados los da en unidades de FAU. Una FAU equivale a una NTU (Unidad Nefelométrica de Turbidez) de Formazina.

Para medir o realizar un comparativo de la reducción de turbidez se tomó como cero en el colorímetro agua de grifo sin filtrar, y para simular la turbidez se realizó una solución de azul de metileno líquido en agua de grifo.



Fig. 6. Equipo Hach utilizado para la medición de la turbidez (Fuente: Proyecto desarrollo de filtros versátiles).

7.5 Preparación del azul de metileno

Se utilizó azul de metileno utilizado para la tinción de muestras para visualizar en microscopio óptico, en una concentración desconocida, la cual fue diluida en agua. Para ello se diluyeron 54 mililitros de azul de metileno para formar una solución de 18 litros, utilizando la ecuación de concentración de una solución en porcentaje de volumen en volumen.

Ecuación 1. Ecuación de porcentaje volumen en volumen:

$$\% \frac{v}{v} = \frac{\text{volumen del soluto}}{\text{volumen de la solución}} * 100$$

Donde % v/v es el porcentaje volumen en volumen de la solución de azul de metileno y agua. El soluto es azul de metileno comercial utilizado para tinciones de microscopio y se utilizó como solvente agua de grifo. Se obtiene que la concentración de % v/v de la solución es del 0.3 %, a su vez que se fue medida la turbidez que simula esta solución dando como resultado una medición de 25 NTU.

7.6 Resultados

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la evaluación de la adsorción de azul de metileno, de la solución preparada simulando 25 NTU, se lograron reducciones luego de verter 500 ml de la solución en los filtros y ésta pasar a través de ellos. También se muestra la densidad del carbón activado de las tres formas y los sólidos disueltos después de la filtración, así como la temperatura del agua después de la filtración.

Tabla 2. Resultados de la evaluación de reducción de turbidez (Fuente: Proyecto desarrollo de filtros versátiles)

No.	Agente activador	Altura de carbón en cm	Volumen en cm ³	Densidad g/cm ³	Turbidez NTU	TDS mg/l	Temperatura °C
1.	Solución Salina	10	203	0.25	2	138	16.7
2.	Solución Salina	20	406	0.25	0	116	16.8
3.	Limón	10	203	0.22	10	110	16.9
4.	Limón	20	406	0.22	4	110	16.7
5.	Vinagre	10	203	0.27	0	121	16.7
6.	Vinagre	20	406	0.27	0	132	16.8

En el proceso pueden observarse visualmente la reducción del azul de metileno en este proceso, lo que presenta una idea de la reducción de la turbidez con cada prototipo estudiado.

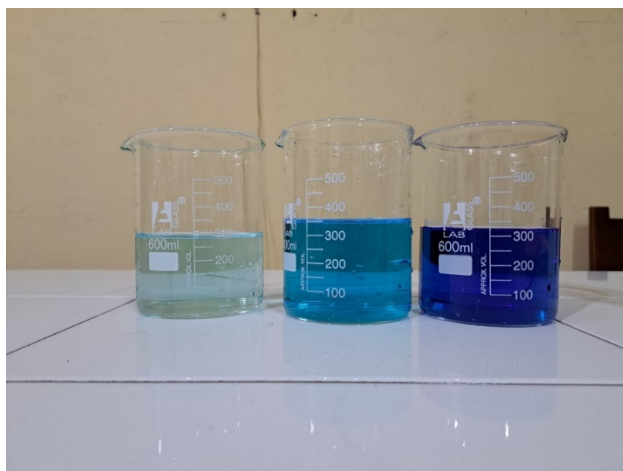


Fig. 7. Resultados de filtración con carbón activado con solución salina (Fuente: Proyecto desarrollo de filtros versátiles).



Fig. 8. Resultados de filtración con carbón activado con limón. (Fuente: Proyecto desarrollo de filtros versátiles).

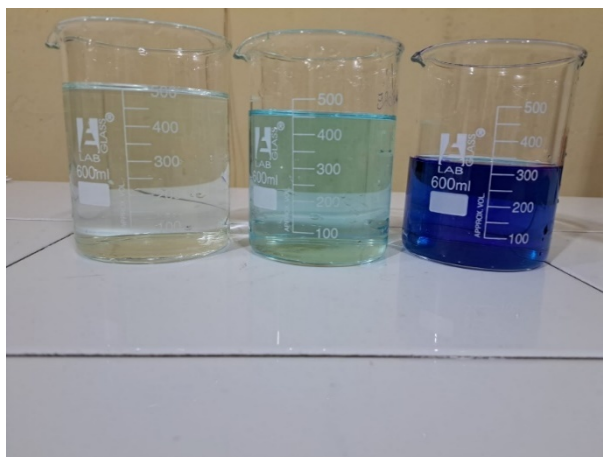


Fig. 9. Resultados de filtración con carbón activado con vinagre. (Fuente: Proyecto desarrollo de filtros versátiles).

En las figuras mostradas de los resultados, de derecha a izquierda se observa en el primer beaker el coloramiento de la solución de azul de metileno, en el beaker del centro se observa la filtración con una columna de 10 centímetros de carbón y en el beaker de la izquierda se observa el beaker que contiene la filtración con 20 centímetros de carbón activado, para las activaciones con los diferentes materiales.

Cualitativamente se observa una reducción en la eliminación de azul de metileno, aunque cabe la pena mencionar que se obtienen mejores resultados aumentando la altura de la columna de arena, se realizaron pruebas al azar sin el afán de realizar mediciones, pero con resultados visuales satisfactorios.

8. Discusión de resultados

El fin principal de la construcción de estos prototipos es la mejora de la calidad del agua en sus características físicas y organolépticas utilizando como medios filtrantes materiales de fácil acceso a los habitantes de la CARS, la grava utilizada puede sustituirse con lo que comúnmente se conoce en el medio como piedrín, se utilizó arena de mina y arena de sílice demostrando la misma eficiencia, la arena de mina es de fácil acceso para los comunitarios, se puede encontrar en suelos arenosos o adquirir en venta de materiales para la construcción.

En el caso del carbón activado, se demostró la eficiencia del carbón vegetal, para este estudio se usó carbón comercial usualmente utilizado en parrilladas. Para futuras líneas de investigación se puede indagar en el proceso de carbonización de precursores disponibles en el contexto, entre los que se pueden mencionar olote de maíz, maderas propias de las comunidades en la CARS, cáscara de coco, entre otros materiales que según investigaciones previas son precursores efectivos para la elaboración de carbón activado.

Uno de los procesos más importantes es la activación del carbón, para el que se propusieron métodos alternativos a los utilizados a nivel industrial, demostrando efectividad en la filtración de agua, no obstante, en los resultados se observa un leve aumento de los sólidos disueltos, que no superan los límites permitidos por la NTG COGUANOR 29 001, que se atribuyen al polvillo que se desprende del carbón.

Los resultados demostraron efectividad en la disminución de la turbidez del agua simulada con una solución de azul de metileno, reduciendo de 25 NTU de turbidez a cero

NTU, medida con un colorímetro, lo que demuestra la efectividad del proceso y una forma sostenible para que los pobladores de áreas vulnerables como la comunidad focal del proyecto Desarrollo de filtros versátiles para el tratamiento de agua en territorios vulnerables. Formación básica y aplicaciones (1ª Fase), el Caserío Chirijcá del municipio de San Cristóbal, departamento de Totonicapán.

La combinación de elementos filtrantes es efectiva en la eliminación de turbidez, para mayor efectividad se sugiere el agregar mayor cantidad de arena, así se asegura la eliminación de turbidez, sólidos suspendidos y elementos físicos que puedan alterar la calidad del agua, por otra parte, es necesario realizar estudios microbiológicos que permitan determinar si a través de atracción iónica se eliminan aspectos bacteriológicos que alteren la calidad del agua.

9. Conclusiones

El filtro purificador de agua casero mostró eficiencia en cuanto a la filtración de agua, para este caso la eliminación de la turbidez simulada con una solución azul de metileno, demostrando que tanto el carbón activado como la arena de sílice son elementos filtrantes efectivos, se obtuvo del filtro agua incolora e inodora.

El carbón activado obtenido en el presente trabajo, resultado de una activación química con tres diferentes agentes químicos: solución salina al 25 % de peso en volumen, jugo de limón y vinagre, el resultado de los diferentes tipos de activación demostró mejorar sustancialmente la calidad con respecto a la turbidez, teniendo una relación de proporción directa en la adsorción de la solución de azul de metileno con la cantidad de carbón activado empleado, esto se demostró en la cantidad inicial de

adsorbato (solución de azul de metileno) y su disminución en la escala colorimétrica resultante y las mediciones de turbidez realizadas.

Por último, se evaluó que tanto en la escala colorimétrica como las mediciones de turbidez el carbón que mejor adsorción de la azul de metileno tuvo fue el activado con vinagre, demostrando así que es el más eficaz en la eliminación de turbidez y que es el apto para realizar una producción en serie de filtros de este tipo, es el agente activador más eficiente.

10. Referencias

Chiclote Gonzales, Y. E. (2018). *Mejora de la calidad del agua del río Cumbe empleando filtro de carbón activado [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte Cajamarca Perú]*. Repositorio Institucional UPN. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/13839>

Décima, S. (2024). Elaboración y evaluación de un filtro purificador de agua casero con carbón activado previamente preparado y su reproducción por estudiantes avanzados del nivel secundario. *Revista de Tecnología y Ciencia, Universidad Tecnológica Nacional*, 14-36. doi:<https://doi.org/10.33414/rtyc.49.14-36.2024>

Donald, J., Ohtsuka, Y., & Xu, C. (. (28 de 02 de 2011). Effects of activation agents and intrinsic minerals on pore development in activated carbons derived from a Canadian peat. *Materials Letters*, 65(4), 744-747.

Faircap. (s.f.). *Autodesk Instructables*. Obtenido de Filtro de agua impreso en 3D de código abierto: <https://www.instructables.com/Open-Source-3D-Printed-Water-Filter/>

Funcagua. (2024). *Funcagua*. Obtenido de <https://funcagua.org.gt/contaminacion/>

Grajeda Cárdenas, C. J. (2013). *Producción de carbón activado a partir de madera de pino y encino [Tesis de licenciatura, UVG]*. Repositorio UVG. Obtenido de <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/1367>

Grisales Motato, A., & Rojas Arrieta, W. (s.f.). Obtención de carbón activado a partir de activación química de pulpa de café y su aplicación en la remoción de colorantes en aguas de origen industrial, [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de Pereira]. 2016. Repositorio Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11059/6965>

Hernández Vásquez, W. G. (2020). *Elaboración de un filtro ecológico a base de carbón activado obtenido del endocarpio de coco para filtrado de agua con una presión mínima de 20 PSI [Tesis de licenciatura, UVG]*. Repositorio UVG. Obtenido de <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/5134>

Hernández Vásquez, W. G. (2020). *Elaboración de un filtro ecológico a base de carbón activado obtenido del endocarpio de coco para filtrado de agua con una presión mínima de 20 PSI [Tesis de licenciatura, UVG]*. Repositorio UVG. Obtenido de <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/5134>

Hock, P. E., & Muhammad Abass, A. Z. (2018). Activated carbons by zinc chloride activation for dye removal — a commentary. *Centre of Lipids Engineering & Applied Research, Ibnu-Sina Institute for Scientific & Industrial Research*, 99-106.

Luna, D., González, A., Gordón, M., & Martín, N. (2007). Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco. *ContactoS* 64, 39 - 48.

Medina Aguirre, K. Y. (2021). *Propuesta para el desarrollo de carbón activado magnético partiendo del elote de maíz (tusa) [Tesis de licenciatura, Fundación Universidad América Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Química]*. Repositorio Fundación Universidad de América. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8307>

Navarrete, L. F., Giraldo, L., Boquero, M. C., & Moreno, J. C. (2005). Carbón activado: efecto del lavado con ácido sulfúrico del precursor lignocelulósico, cuesco de palma africana, sobre los procesos de carbonización y activación. *Revista colombiana de química*, 67-78.

Obregón Espino, J. P. (2016). *COMPARACIÓN DE LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A NIVEL LABORATORIO A PARTIR DEL ENDOCARPIO DEL COCO [Tesis de licenciatura, USAC]*. Repositorio USAC. Obtenido de <https://biblio.ingenieria.usac.edu.gt/tesis16/T13496.pdf>

Universidad Politécnica de Valencia & Universidad de Sevilla. (s.f.). *Manual del carbón activo*. Obtenido de [aguapedia.net: http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf](http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf)

Visbal H., L., & Rozo Q., A. (s.f.). *Diseño de un Sistema de Filtración Continua Arena - Carbón Activado como herramienta Didáctica en el Laboratorio de Operaciones Unitarias [Facultad de Ingeniería, Arquitectura, Artes y Diseño, Universidad de San Buenaventura]*.

Biblioteca Digital Universidad de San Buenaventura, Cartagena, Colombia. Obtenido de

[https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/1563d504-c586-441e-b258-](https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/1563d504-c586-441e-b258-9d70aafa5efa/content)

[9d70aafa5efa/content](https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/1563d504-c586-441e-b258-9d70aafa5efa/content).

Agua y saneamiento del caserío Chirijcajá, San Cristóbal, Totonicapán

E. R. Hernández¹, A. Gil² y E. O. Flores¹

Centro Universitario de Occidente (CUNOC), de la Universidad de San Carlos de
Guatemala¹

Departamento de Química Aplicada, Universidad Pública de Navarra²

Resumen— La investigación realizada en el caserío Chirijcajá, San Cristóbal, Totonicapán, permite evidenciar que el agua siendo un líquido vital para la sobrevivencia y desarrollo de las comunidades es un recurso limitado, básico e importante. El recurso hídrico debe distribuirse por cantidades apropiadas según la población o el tipo del uso que se le dé a la misma que en este caso es residencial. Se toma como referencia la información proporcionada como dotación promedio de agua por persona en función de lo rural en la población. Se considera la compra de este servicio y un saneamiento básico.

Abstract. The research carried out in the Chirijcajá hamlet, San Cristóbal, Totonicapán, shows that water, being a vital liquid for the survival and development of communities, is a limited, basic and important resource. The water resource must be distributed in appropriate quantities according to the population or the type of use given to it, which in this case is residential. The information provided is taken as a reference as the average amount of water per person depending on the rural population. The purchase of this service and basic sanitation is considered.

Palabras clave— Agua (water), saneamiento (sanitation), dotación (endowment), gestión del riesgo (risk management), gestión de salud (health) recurso hídrico (water resource).

1. Introducción

En la región del departamento de Totonicapán, Guatemala, la problemática del abastecimiento de agua potable se hace cada vez más notorio tanto en los sectores urbanos como rurales y de igual manera el manejo de las aguas residuales, siendo uno de los objetivos prioritarios de la Agenda 2030 a nivel mundial y Plan K'atun a nivel nacional objetivo llamado Agua y Saneamiento, esto hace que la captación de agua de lluvia sea necesaria y por la misma escasez se utiliza el agua de lluvia en la forma en la que es captada sin ningún tipo de tratamiento como una buena práctica de saneamiento. La implementación de cloro que se adecua a los requerimientos para ser distribuida el agua es importante, ya que de este depende los efectos negativos o positivos del consumo del agua tratada, considerando aspectos como el almacenamiento de este, los procesos adicionales para la distribución, la dosificación permitida y por supuesto los costos para brindar agua con calidad.

También uno de los retos que se tiene actualmente es sobre el manejo de las aguas residuales debido a que se están vertiendo a la superficie en los cultivos y la instalación de letrinas sin previa planificación para no contaminar pozos artesanales, esto por ser vertido de una forma directa lo cual provoca contaminación de residuos líquidos y sólidos por las residencias en apogeo a la necesidad de vivienda y el crecimiento comunitario.

2. Generalidades

2.1 Caserío Chirijcaja, San Cristóbal, Totonicapán

El caserío Chirijcaja, ubicado a 7 km aproximadamente del municipio de San Cristóbal. Este caserío abarca un área superficial de 886.37 m² y se encuentra geográficamente localizado en las coordenadas 14°55'39.84"N y 91°28'28.67"O. Chirijcaja significa atrás del cerro, Chirij: atrás y cajá: cerro, está escrito en idioma quiché y es del municipio de San Cristóbal del departamento de Totonicapán, el cerro que está en el centro de la comunidad es Chucaja que significa en el cerro, atraviesa el río Pabacúl, y tiene colindancias con otras comunidades, se puede mencionar: Nimasac (Sur) que significa campo de pastoreo, campo de grama y Patachaj (Oeste) que significa pino ambos escritos en idioma quiche y son del municipio de San Andrés Xecul, también colinda con Pacanac (Norte) que significa árbol de montaña y Chuicotom (Este) que significa pared de tierra o paredón, ambos escritos en idioma quiche y son del municipio de San Cristóbal Totonicapán.



Fig. 1. Caserío Chirijcaja, San Cristóbal, Totonicapán, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

El patrono de la comunidad es San José Patriarca que se celebra el 18 y 19 marzo de cada año, esta comunidad ha sido independizada por una propia alcaldía en los años 2000 y 2001, Chirijcájá forma parte de las 14 comunidades de San Cristóbal, Totonicapán. El acceso vial (pavimentación) en el sector Xeja es proyecto reciente y fue finalizado en el año 2024, la comunidad cuenta con tres altares mayas que lo usan para solicitar agua de lluvia, agradecer al aire como religión maya celebrado entre abril y mayo, el primer copal o altar maya tiene el nombre de San Antonio, el segundo San Simón y el último es el Chitoq'che, de igual forma la comunidad tiene una iglesia católica, una escuela, un cementerio, un puente como acceso alternativo, dos cataratas en el río Pabacúl, catarata Xeja y Turbala.

Esta comunidad también cuenta con catorce sectores denominadas en idioma quiche y podemos mencionar:

1. Sector Chomojon: significa límite monjón
2. Sector Pasajquin: significa sacates grandes
3. Sector Xecushcubel: significa abajo del cerezo
4. Sector Chitucur: significa aquí tecolote
5. Sector Paxshicai: significa pequeños palitos
6. Sector Pabeyal: significa camino de agua

7. Sector Chiquixix: significa cipreces
8. Sector el Centro-Escuela
9. Sector Chichijonbal: significa donde lavan las personas
10. Sector Chutak'b'al k'uch: significa donde se paran los zopilotes-mirador
11. Sector Chitoq'che: significa donde están los palos, arriba de los palos
12. Sector Xeja: significa debajo de la casa
13. Sector Paxk'an: significa semilla de árbol, bellotas, donde se consigue semilla de encino
14. Sector Chucaja: significa delante del cerro

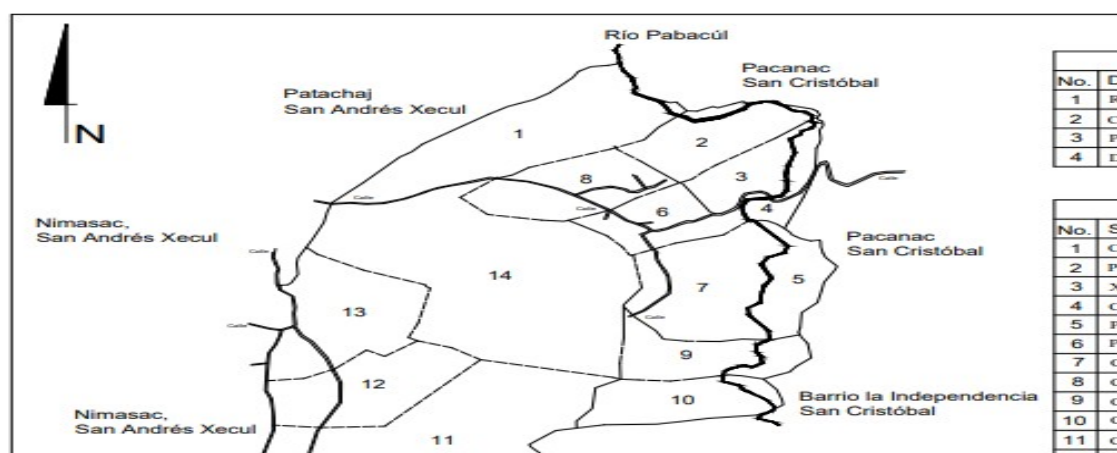


Fig. 2. Mapa caserío Chirijcajá, San Cristóbal, Totonicapán.

2.2 Gobierno local

Según autoridades locales, la comunidad cuenta con 98 casas, en donde habitan de 5 a 12 personas por domicilio; sin embargo, un dato exacto de hogares aún no se tiene registrado. Según las autoridades locales del lugar, los datos recabados por el censo INE (2018), no registró a toda la población, por lo que se realizó un censo con apoyo del centro de salud.

La estructura organizativa de la comunidad está contemplada bajo tres órganos:

- a. Alcaldes auxiliares
- b. COCODES
- c. Comité de agua/ camino

El primero lo integran tres personas y el segundo 10, quienes son electos cada mes de diciembre, y fungen durante un año. El Proyecto de Filtros Versátiles (2024) indica que los integrantes de estos tres órganos están compuestos en su totalidad por hombres.

Cuando las personas no pueden estar en reuniones importantes de la comunidad deben pagar Q25.00 por ausencia y Q60.00 cuando es colaboración de jornada de trabajo que va dirigido a caja chica del comité o COCODE que sirve para refacción o alguna compra de material.

Estructura Organizativa Local		
Caserío, Chirijcája, San Cristóbal, Totonicapán		
1	Raul Chanax Morales	Primer Alcalde Comunal
2	Tiburcio Ordoñez Pec	Vicipresidente COCODE
3	Joel Antonio Mejía Pec	Secretario
4	Santos Marvin Ordoñez Chay	Pro-secretario
5	Celso Chanax Ajataz	Tesorero
6	Calixto Ordoñez Mejía	Pro tesorero
7	Ambrocio Toribio Ordoñez	Vocal I
8	Gregorio Ordoñez	Vocal II
9	Aparicio Ordoñez Pec	Vocal III
10	Juan Francisco Ordoñez Ordoñez	Vocal V
11	Mario Sebastián Ordoñez Ordoñez	Vocal VI
12	Santos Julian Ordoñez Mejía	Vocal VII
13	Bruno Santos Tizol Barreno	Guardian de Cementerio

Fig. 3. Estructura organizativa caserío Chirijcája, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA (2024).

Los líderes comunitarios son actores clave de toma de decisiones en relación con proyectos de cualquier índole en la comunidad, principalmente temas relacionados al agua potable, la participación de cada uno de los comunitarios es imperativo para la mejora conjunta, por factores culturales se debe tener incidencia en el bien comunitario.

2.3 Salud

La vulnerabilidad que se determina es por la escasez y contaminación del recurso hídrico en esta comunidad, validado por los resultados obtenidos del análisis de muestreo de agua para consumo humano y muestreo de agua residual, en abril 2024 del Proyecto de Filtros Versátiles para comunidades vulnerables de la cuenca alta del río Samalá. Por la escasez los pobladores se arriesgan a utilizar el agua del río de Chirijcája, la cual se

encuentra contaminada desde aguas arriba de la microcuenca. El agua directamente del río presenta en el parámetro de coliformes fecales de 39,000 número más probables (NMP) por cada muestra de 100 mililitros de agua, con un color aparente de 34 UC y un color real de 27 UC.

Según el dictamen del Laboratorio de Aguas CUNOC-USAC, los parámetros indicados por la COGUANOR NTG 29,001 a través de los límites máximos y permisibles determinan que no es apta para el consumo humano.



Fig. 4. Historial causas de morbilidad Quetzaltenango – Totonicapán, 2020, 2021 y 2022., tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

Entre las enfermedades con mayor frecuencia relacionadas al recurso hídrico se pueden mencionar: amebiasis, diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso, parasitosis intestinales, sin otra especificación y otras infecciones intestinales bacterianas, esto según el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (2020-2022). Según el historial, Totonicapán es el departamento con mayores casos de enfermedades, desde el año 2020 hasta 2022, aunque también se ven afectados algunos municipios de

Quetzaltenango. Se pudo visualizar que las poblaciones de los municipios de la cuenca hidrográfica alta del río Samalá se ven afectados por diversos factores, principalmente por la contaminación del recurso hídrico.

Tabla 1. Enfermedades Intestinales Caserío Chirijcajá.

Enfermedad	Año 2023	Año 2024
Diarreas y gastro enteritis	13	4
Amebiasis no especificada	9	4
Infección intestinal	7	2
Suma Total	28	10

El Centro de Salud del municipio de San Cristóbal, en la actualización del censo del caserío Chirijcajá, en el mes de julio del año 2024 hizo el comparativo de las enfermedades relacionadas al recurso hídrico, registrando a 98 viviendas, un total de 199 mujeres y 193 hombres, habiendo una reducción de enfermedades a 10 casos evaluados.

2.4 Gestión del Riesgo

Aproximadamente son 5 viviendas que se encuentran cercanas al río pero que no corren mayor riesgo, sin embargo, el riesgo se corre por parte de las personas que llegan a lavar al río ya que en temporada de tormentas aumenta el caudal.



Fig. 5. Río Pabacúl, aguas abajo, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

Indican los líderes comunitarios, que la sequía ha afectado recientemente los cultivos que es de lo que depende la mayoría de las familias. A continuación, se presentan las áreas de cultivo que se detectaron en la comunidad según el mapa de Google Earth.



Fig. 6. Río Pabacúl, aguas arriba, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

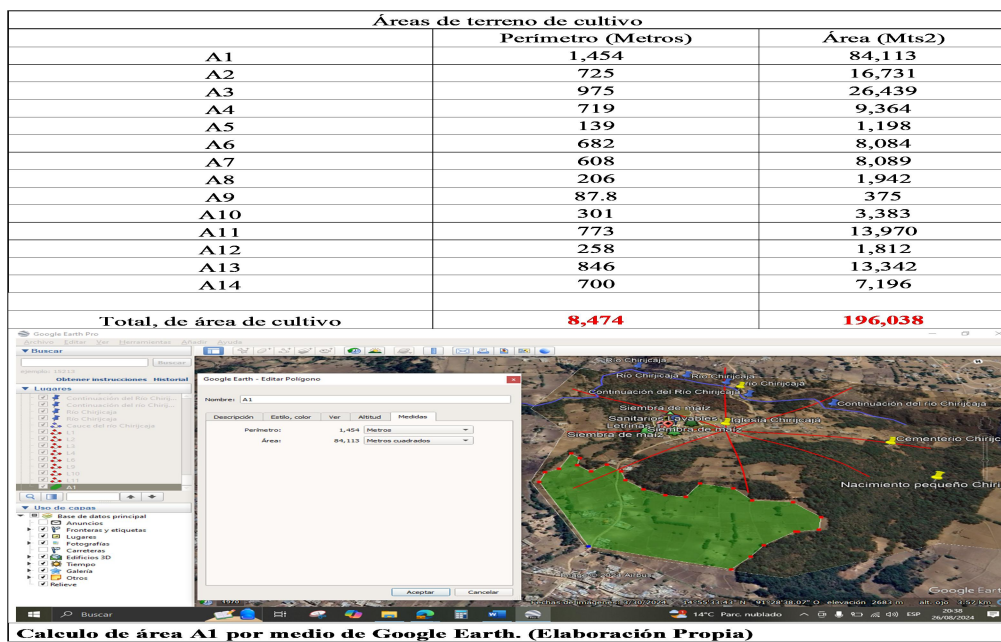


Fig. 7. Áreas de terreno de cultivo, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

AMENAZA	TIPO DE EVENTO	AMENAZA				VULNERABILIDAD				RIESGO R = A * V	
		2	4	8	10	2	4	8	10		
Hidrometeorológicas	Huracán, ciclón			X				X		64	Alto
	Tomados, vientos fuertes									0	Bajo
	Tormenta tropical	X				X				4	Bajo
	Onda térmica fría	X					X			8	Bajo
	Inundaciones por lluvias	X				X				4	Bajo
	Sequias (perdidas)			X				X		64	Alto
	Otro									0	Bajo
Geofísico	Caída de rocas	X				X				4	Bajo
	Deslizamientos	X					X			8	Bajo
	Flujos de lodo y lava									0	Bajo
	Sismos			X			X			32	Bajo
	Erupciones volcánicas									0	Bajo
	Tsunamis									0	Bajo
Antropogénico	Explosiones									0	Bajo
	Incendios	X					X			8	Bajo
	Derrames									0	Bajo

AMENAZA	VULNERABILIDAD	RIESGO
2 = Insignificancia	2 = Baja	100 = Alto con daños
4 = Mínima	4 = Media	80 = Alto
8 = Moderada	8 = Alta	60 = Controlable
10 = Severa	10 = Extremadamente alta	40 = Bajo

Fig. 8. Matriz de riesgo, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

Los eventos hidrometeorológicos son permanentes y latentes por la sequía ocasionada por la temporada irregular de lluvias durante el año afecta en un alto porcentaje a toda la población, considerado este caserío con situación socioeconómica de pobreza, los cultivos son de consumo de la comunidad, sin los cultivos toda la población se ve afectada directamente.

Por otra parte debido a la ampliación de las áreas de cultivo, también existe un riesgo bajo que puedan afectar los cultivos por las ondas térmicas frías que queman como

ha ocurrido estos últimos años, también sufren por impacto de tormentas tropicales, a constantes lluvias puede ocasionar inundaciones en las viviendas que están en la parte baja de la microcuenca, también deslaves debido a la erosión del suelo imposibilitando el acceso vial; también con el fenómeno de sequía prologando, conecta estos dos riesgos de origen hidrometeorológico.

De origen geofísico al tener un acceso vial rodeado de barrancos en tiempo de lluvia que puede deslizarse las rocas grandes o cuando ocurra sismos, Totonicapán está en la zona 3 de sismicidad y por consiguiente si afecta los movimientos telúricos, aunque las viviendas en su mayoría son de un nivel, de infraestructura mixta, paredes de mampostería y techo de lámina galvanizada troquelada.

En cuanto a los eventos antropogénicos se han ocasionado incendios forestales provocados por limpieza de barrancos en los perímetros de la comunidad donde colinda con el río, han ocurrido dos eventos de este tipo en la comunidad.

2.5 Agua Potable

La comunidad de Chirijcaja actualmente atraviesa un problema para el abastecimiento del recurso hídrico, debido a que el proyecto de construcción de sistema de agua potable con perforación de un pozo realizado en el año 2022 no presentaba un estudio técnico integral, previo a la ejecución. Este pozo lo perforaron en una microcuenca que no retiene recurso hídrico y, por lo tanto, no proporciona agua a los comunitarios. Por aparte, los pocos pozos artesanales familiares que existen se encuentran ubicados de manera aleatoria y en lugares cercanos a focos de contaminación, los cuales en época de verano se quedan sin agua. Ante tal situación los comunitarios se han visto obligados a utilizar el

agua contaminada del río Pabacúl que pasa por la comunidad. Este río está contaminado por las aguas residuales de las comunidades de la parte alta de la microcuenca.

Tabla 2. Dotación de agua necesaria en caserío Chirijcájá.

Tipo de obra	Clima	Dotación individual	Población	Dotación comunitaria
Rural	Frío	90 (lts/hab/día)	500 comunitarios aprox.	45,000 (lts/hab/día)
Escuela	Frío	100 (lts/alumno/día)	192 niños	19,200 (lts/alumno/día)

En cuanto al abastecimiento de agua es complicado, sin embargo, se identifican cinco opciones que tiene la población, dependiendo de una variable principal, económico, según Proyecto Filtros Versátiles.

2.6 Pozos Artesanales

Actualmente ocho viviendas se suministran mediante pozos artesanales, los cuales tienen una profundidad que oscila entre 15 – 27 varas. Estos pozos lamentablemente no están al alcance de todos, debido al alto costo que representa para las familias que se encuentran en condiciones de escasos recursos. Según información proporcionada por un vecino cuesta Q200.00 por vara excavado; sin embargo, cuando se perfora y se encuentra piedra, automáticamente queda perdido ese agujero. La poca agua en disposición de los pozos artesanales según el dictamen del Laboratorio de Agua CUNOC/USAC, está contaminado. La situación los expone de manera potencial a enfermedades relacionadas con el recurso hídrico, principalmente la niñez. El pozo artesanal es muy complicado por la situación económica que vive el caserío; sin embargo, según los resultados, las personas que tienen un pozo tienen el problema que el agua está contaminada con coliformes totales.

2.8 Pipas municipales de agua

Ante la situación de escasez en la comunidad, la municipalidad ha optado por apoyar mediante la distribución de una pipa de agua por semana; sin embargo, esta es incipiente para dotar a toda la población, por lo que la organización comunitaria juega un papel fundamental en Chirijcájá, quienes indican la distribución de dos toneles por familia cada 15 días. Esta acción es una manera paliativa, no obstante, ha sido sesgada por cuestiones políticas: el abastecimiento se dio por un lapso de un año, durante el proceso electoral del año 2023 no se contó con el apoyo municipal, porque las prioridades eran

otras; reanudando el servicio a partir de enero del 2024. El agua de las pipas de la municipalidad no se sabe la procedencia.

2.9 Acarreo de agua

En este caso, lo hacen desde dos alternativas, la primera es desde el río que pasa en la comunidad, mismo que está altamente contaminado, pero representa la opción viable para satisfacer algunas necesidades como el lavado de ropa y aseo personal. Realizar esta acción sin duda pone en riesgo la salud de la población; especialmente en la piel y por otra parte la integridad física y sexual de las mujeres, niños, quienes realizan este recorrido hacia el río.

El acarreo de agua lo hacen de dos sitios: un nacimiento se ubica a unos 30 minutos aproximadamente y otras personas lo realizan de otras comunidades cercanas. Este recorrido les lleva una hora aproximadamente. Los comunitarios expresaron que en esta actividad participa toda la familia y la realizan a pie, “hasta los niños van, porque ellos también traen una tinajita, y ya es agua que sirve para la casa”, comentó un vecino del lugar. no obstante, según datos obtenidos en el diagnóstico, del Proyecto de Filtros Versátiles CUNOC-USAC/UPNA se evidenció que el 69% es realizado por mujeres, 25% hombres y el 6% por niñas y niños. Este escenario es repetido día a día. La tarea del acarreo la realiza el 70% dos veces al día, el 20% más de dos veces al día y el 10% cuando sea necesario.

2.10 Compra de agua

La compra de agua cada vez se convierte en una alternativa más frecuente, debido a que permite contar con mayor cantidad del recurso hídrico sin invertir demasiado tiempo; pero el costo que representa es alto, pues cada tonel es lleno en la comunidad tiene un costo de Q125.00. Algunos vecinos comentaron que requieren de cinco toneles por semana; este dato varía según el número de integrantes de la familia. Una opción más económica es acercarse a gasolineras aledañas, donde el costo por tonel oscila entre Q5.00 – Q10.00. aunque deben contar con vehículo y sufragar el costo de combustible o flete. La procedencia del agua que venden la extraen de Pacanac, Totonicapán. Considerar la compra de agua purificada, no es opción, pues no llega ese servicio a la comunidad.

2.11 Captación de agua de lluvia

La captación de agua de lluvia es la última alternativa de algunos pobladores, pues son pocos hogares que tienen las posibilidades de contar con el equipo necesario, tomando en consideración que los toneles son escasos y no pueden destinarlos para otra función, que no sea el llenado constante de agua. El agua de lluvia se empieza a cosechar después de la tercera caída para que se limpie el techo.

Ante estas circunstancias se estableció que el 93% de la población sufre escasez de agua. Este escenario refleja la ingobernabilidad, es competencia del Estado, mediante la municipalidad atender esta necesidad, no se ha dado continuidad a los procesos realizados para gestionar el apoyo requerido que la satisfaga. En este caso particular, el 2

de julio de 2024 se sostuvo una reunión con el señor alcalde Carlos Say del municipio de San Cristóbal Totonicapán, quien indico: “En la comunidad de Chirijcájá se tiene un problema de abastecimiento de agua potable debido a que tuvieron un proyecto anterior con una deficiencia técnica, financiera, administrativa y legal”.



Fig. 9. Comunitarios regresando del nacimiento de agua de Chirijcájá, San Cristóbal, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

En casos extremos, cuando tiene que acarrear agua del río contaminado de Chirijcájá, la ponen a hervir y resulta con una apariencia de color amarillo. Uno de los jóvenes comunitarios comentó que al captar el agua de lluvia solo puede almacenar dos toneles y el resto se desperdicia, porque no se puede conectar a la pila, debido a que está lejos y no tiene recursos económicos para completar el sistema de captación. El joven tiene la posibilidad de transportar el agua, equivale a Q100.00 por semana, es decir Q400.00 por mes. De las 98 viviendas un 50% tiene medio de transporte, el resto de la población tiene

que comprar las pipas de agua adicionales en Q150.00 promedio por semana, es decir Q600.00 mensuales.

Uno de los líderes comunitarios comentó que existen cuatro pozos artesanales privados detrás de la escuela y un zanjón que funciona como reservorio de agua; además indicó que uno de ellos es propietario de un pozo que le compró a su progenitor en Q7,000.00, que equivale el costo de la elaboración del pozo más los gastos administrativos de la escritura pública, incluyendo el derecho de paso para la tubería da un total de Q15,000.00.



Fig. 10. Pozo artesanal sin tapadera, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.



Fig. 11. Almacenamiento de agua en el caserío Chirijcájá, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

La disposición de los recipientes en la orilla de calle para el almacenamiento del agua, tapado con nylon o tapadera de plástico.



Fig. 12. Distancia de almacenamiento de recipiente de agua hacia la vivienda, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

En la comunidad les es distribuido el agua comprada o por pipa municipal en la parte de afuera de las viviendas porque subirlo no es opción por practicidad de abastecimiento y la poca longitud de la manguera (presión de las pipas de agua).



Fig. 13. Diferentes pozos en un solo terreno, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

En un solo terreno familiar están ubicados cuatro pozos artesanales de aproximadamente 15 varas con una cercanía de 5 metros de punto a punto.

2.12 Drenaje Sanitario

El caserío no cuenta con un sistema de drenaje sanitario, por lo que se ven obligados a tener letrinas sin ninguna regulación técnica para ubicarlos. Se tiene letrinas de 12 varas de profundidad que duran de 4 a 5 años; y las letrinas de 12 metros de profundidad dura 8 años aproximadamente, aunque dependerá de la cantidad de personas que la utilicen.



Fig. 14. Letrinas de escuela Chirijcajá, tomada de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.



Fig. 15. Letrinas cercanas a los pozos artesanales, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA (2024).

Resultados:

						AG 235-2006 Artículo 18 Etapa III
CODIGO	PARAMETRO	REF.	RESULTADO	UN	LMA	LMP
1. PROPIEDADES FÍSICAS Y AGREGADOS						
FYA1	Color aparente / real	SM 2120 (3-200)	34/27	uc	-	750
5. MICROBIOLÓGICOS						
MCB4	Coliformes fecales	SM 9222-D	3.9×10^4	NMP/100 MI	--	1×10^4

Fig. 16. Parámetros relevantes del agua residual del río Chirijcajá, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

						COGUARNO NTG 29001
CODIGO	PARAMETRO	REF.	RESULTADO	UN	LMA	LMP
1. PROPIEDADES FÍSICAS Y AGREGADOS						
FYA1	Color aparente / real	SM 2120 (3-200)	37/11	UC	5	35
FYA2	Turbidez	SM 2130 (0-1000)	9.63	NTU	5	15
FYA8	Dureza Total	SM 2340-C (0-25,000)	44.4	mg/L	100	500
3. INORGÁNICOS NO METALES						
NMI9	Nitrato	SM 4500 -NO ₃ -E (0.3-30.0)	4	mg/L	0	50
5. MICROBIOLÓGICOS						
MCB2	Coliformes totales	SM 9222-B	98	UFC/100ml	0	0
MCB3	E Coli	SM 9222-G	12	UFC/100ml	0	0

Fig. 17. Parámetros relevantes del agua de consumo humano del pozo artesanal de Escuela pública Chirijcajá, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

La poca agua en disposición de los pozos artesanales según el dictamen de Laboratorio de Agua CUNOC/USAC, no satisface los criterios de la calidad de la norma COGUARNOR NTG 29,001, que es el agua para consumo humano, llamado agua potable. La situación los expone de manera potencial a enfermedades relacionadas con el recurso hídrico, principalmente la niñez.

					COGUARNO NTG 29001	
CODIGO	PARAMETRO	REF.	RESULTADO	UN	LMA	LMP
1. PROPIEDADES FISICAS Y AGREGADOS						
FYA1	Color aparente / real	SM 2120 (3-200)	22 / 11.	UC	5	35
FYA2	Turbidez	SM 2130 (0-1000)	3.37	NTU	5	15
FYA8	Dureza Total	SM 2340-C (0-25,000)	101.4	mg/L	100	500
3. INORGANICOS NO METALES						
NMI9	Nitrato	SM 4500-NO3-E (0.3-30.0)	9.8	mg/L	0	50
5. MICROBIOLOGICOS						
MCB2	Coliformes totales	SM 9222-B	100	UFC/100ml	0	0
MCB3	E.Coli	SM 9222-G	0	UFC/100ml	0	0

Fig. 18. Parámetros relevantes del agua de consumo humano del pozo artesanal de un domicilio, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

					COGUARNO NTG 29001	
CODIGO	PARAMETRO	REF.	RESULTADO	UN	LMA	LMP
1. PROPIEDADES FISICAS Y AGREGADOS						
FYA1	Color aparente / real	SM 2120 (3-200)	107 / 7	UC	5	35
FYA2	Turbidez	SM 2130 (0-1000)	28.8	NTU	5	15
FYA8	Dureza Total	SM 2340-C (0-25,000)	118.4	mg/L	100	500
3. INORGANICOS NO METALES						
NMI9	Nitrato	SM 4500-NO3-E (0.3-30.0)	6.5	mg/L	0	50
5. MICROBIOLOGICOS						
MCB2	Coliformes totales	SM 9222-B	900	UFC/100ml	0	0
MCB3	E.Coli	SM 9222-G	0	UFC/100ml	0	0

Fig. 19. Parámetros relevantes del agua de consumo humano del pozo artesanal compartido por cuatro familias, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

Se establece que el acceso a un pozo artesanal es muy complicado por la situación económica que vive el caserío, además de esto según los resultados las personas que tiene este el privilegio de contar con un pozo está contaminado con coliformes totales.

					COGUARNO NTG 29001	
CODIGO	PARAMETRO	REF.	RESULTADO	UN	LMA	LMP
1. PROPIEDADES FISICAS Y AGREGADOS						
FYA1	Color aparente / real	SM 2120 (3-200)	14/12.	UC	5	35
FYA2	Turbidez	SM 2130 (0-1000)	3.74	NTU	5	15
FYA8	Dureza Total	SM 2340-C (0-25,000)	61.2	mg/L	100	500
3. INORGANICOS NO METALES						
NMI9	Nitrato	SM 4500 -NO3-E (0.3-30.0)	4.6	mg/L	0	50
5. MICROBIOLOGICOS						
MCB2	Coliformes totales	SM 9222-B	36	UFC/100ml	0	0
MCB3	E.Coli	SM 9222-G	0	UFC/100ml	0	0

Fig. 20. Parámetros relevantes del agua de consumo humano del pozo artesanal de una vivienda de Chirijcajá, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

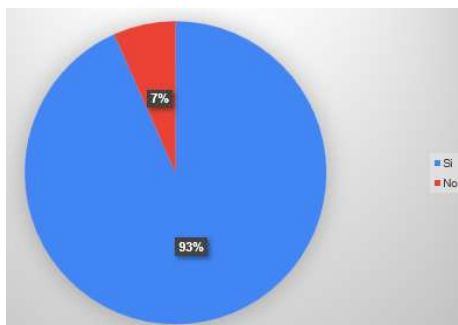


Fig. 21. ¿Ha sufrido escasez de agua?, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

En cuanto a la escasez de agua de los comunitarios el 93% de la población sufre constantemente y el 7% satisfacen la necesidad con los pozos artesanales, aunque estén contaminados, esta situación es constante.

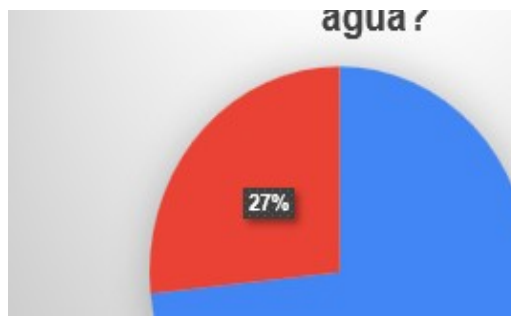


Fig. 22. ¿Realiza actividad de acarreo de agua?, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

La actividad de acarreo de agua la realizan el 73% de la población de diferentes formas, mientras que el 27% la compra o posee pozos artesanales.



Fig. 23. ¿Con qué frecuencia realiza el acarreo de agua?, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

La frecuencia que realizar del acarreo de agua depende de la cantidad de personas que habitan en la vivienda, que es proporcional al consumo por persona, el 10% lo hace cuando realmente es necesario y un porcentaje alto dos veces al día como mínimo.

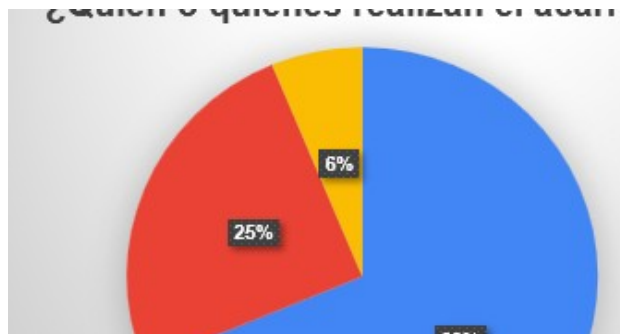


Fig. 24. ¿Quién o quiénes realizan el acarreo de agua?, tomado de Proyecto de Filtros Versátiles, CUNOC-USAC/UPNA.

El acarreo de agua es participativo con todos los miembros de la familia, pero tiene una recurrencia alta de 69% lo realizan las mujeres, debido a los usos cotidianos, mientras que los hombres trabajan.

Conclusiones

Para proponer alternativas y solventar la escasez de agua se visualizaron los principales fuentes de abastecimiento de agua contaminados o no contaminados, la disponibilidad del agua en verano es crítico que motiva a los pobladores a beber agua directamente del río Chirijcájá, al determinar los parámetros críticos de los resultados del agua residual la contaminación hídrica es relevante que en ninguna manera satisface los parámetros establecidos por la COGUANOR 29001 para agua de consumo humano, estos parámetros determinar el diseño de propuesta para capturar la carga bacteriana en la filtración futura del proyecto, la colaboración de los comunitarios de mostrar las condiciones y exteriorizar las vivencias que han tenido por la escasez del agua, ayuda a dirigir esta información para establecer los puntos críticos a considerar en las propuestas de diseño y viabilidad de un saneamiento básico.

En el análisis de sitio apertura a contextualizar los factores que le afecta del manejo del recurso hídrico, se comprende principalmente la gobernanza municipal y la gestión local, de igual manera que el factor socioeconómico de los pobladores porque la principal fuente de ingreso es la agricultura u oficios diversos, la altitud topográfica evidencia que no en todo lugar es apto elaborar un pozo artesanal porque consumiría mucho tiempo y esfuerzo para alcanzar el nivel freático de entre 30 a 40 varas de profundidad exponiendo a los comunitarios a gases propiamente del suelo, esto genera lugares específicos de perforación de pozos artesanales con un costo elevado de escritura de propiedad, derecho de paso, mano de obra de perforación y elaboración de brocal, en otros casos el costo adicional de instalación de máquinas de extracción. La contaminación viene de aguas arriba por desfuegos de aguas de drenajes sanitarios no regulados y de residuos de la industria textil, el correcto conocimiento de la zonificación de mantos freáticos y de ubicación de letrinas reducen muchos factores económicos que influyen posteriormente de mantenimiento, filtración, sistema de purificación o de un monitoreo constante.

Referencias

Hernández, E. (2024). "Guía de proceso de fabricación y uso de horno pirolítico para la generación de carbón vegetal", Proyecto de Filtros Versátiles en comunidades vulnerables CUNOC-USAC/UPNA.

López, C. (abril de 2024). Diagnóstico. (E. Hernández, Entrevistador).

Población de Totonicapán (2022).

[https://sistemas.segeplan.gob.gt/sideplanw/SDPPGDM\\$PRINCIPAL.VISUALIZAR?pID=POBLACION_PDF_802](https://sistemas.segeplan.gob.gt/sideplanw/SDPPGDM$PRINCIPAL.VISUALIZAR?pID=POBLACION_PDF_802) (online) consulta: 24/07/2024.

Resultado de boletas de encuestas (2024). Proyecto de Filtros Versátiles en comunidades vulnerables CUNOC-USAC/UPNA.

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1w7cO8xqlkaIR_x1WkwITBY7kBgERJDP2/edit?usp=sharing&ouid=110106017334775570884&rtpof=true&sd=true (online)
consulta: 24/07/2024.

Resultado de análisis de agua potable (2024). Proyecto de Filtros Versátiles en comunidades vulnerables CUNOC-USAC/UPNA.

<https://drive.google.com/file/d/1zT-Y1rLeOualsbiMyJrVOIF7fopK1FSa/view?usp=sharing> (online) consulta: 24/07/2024.

Resultado de análisis de agua residual (2024). Proyecto de Filtros Versátiles en comunidades vulnerables CUNOC-USAC/UPNA.

Evaluación de medios filtrantes orgánicos para la desinfección de agua para consumo humano

A. M. Aguilar¹, E. O. Flores¹ y A. Gil²

Centro Universitario de Occidente (CUNOC), de la Universidad de San Carlos de
Guatemala¹

Departamento de Química Aplicada, Universidad Pública de Navarra²

Resumen

Esta investigación evaluó la eficacia de materiales orgánicos, como cáscara de limón, olote y semilla de durazno, en la desinfección del agua para consumo humano. El estudio se centró en la aplicación de estos materiales mediante el proceso térmico a diferentes temperaturas como lo indican los autores de investigaciones recopiladas sobre la eficiencia de los materiales orgánicos, con ello determinar su capacidad para reducir las unidades formadoras de colonia -UFC- en agua contaminada.

Los resultados obtenidos mostraron que la semilla de durazno fue el material más efectivo, reduciendo las UFC de 34 a 3 UFC/100 mL mientras que el olote presentó un leve aumento de 34 a 38 UFC/100 mL, la cáscara de limón mostró una reducción parcial (34 a 30 UFC/100 mL). Al ensamblar el filtro con los materiales orgánicos evaluados, se observó un cambio en el color de agua causada por la cáscara de limón, por consiguiente, y con referencia a los resultados se sugiere que los materiales orgánicos, especialmente la semilla de durazno, pueden ser una alternativa viable y ecológica para la desinfección de

agua, con un impacto notable en la calidad microbiológica del agua y que sea apta para consumo humano.

Abstract

This research evaluated the effectiveness of organic materials such as lemon peel, corn cob and peach seed in the disinfection of water for human consumption. The study focused on the application of these materials through the thermal process at different temperatures as indicated by the authors of research compiled on the efficiency of organic materials, thereby determining their ability to reduce colony forming units -CFU- in contaminated water.

The results obtained showed that peach seed was the most effective material, reducing CFU from 34 to 3 CFU/100 mL while corn cob showed a slight increase from 34 to 38 CFU/100 mL, lemon peel showed a partial reduction (34 to 30 CFU/100 mL). When assembling the housing with the organic materials evaluated, a change in the color of the water was observed caused by the lemon peel, therefore, and with reference to the results, it is suggested that organic materials, especially peach seed, can be a viable and ecological alternative for water disinfection, with a notable impact on the microbiological quality of the water and making it suitable for human consumption.

Palabras clave: Desinfección de agua, materiales orgánicos, consumo humano, cáscara de limón, semilla de durazno, olote, alternativas ecológicas.

Introducción

El agua es un recurso importante para la vida humana y el desarrollo sostenible. A pesar de su importancia, muchas comunidades alrededor del mundo siguen careciendo de acceso a agua potable y servicios adecuados de saneamiento. El agua potable debe presentar características de calidad como libre de turbidez, de color y de sabor perceptibles como se estipula en la normativa COGUANOR 29001 “Agua para consumo humano (agua potable) especificaciones donde se mencionan los límites máximos aceptables - LMA- y límites máximos permisibles -LMP- de las características físicas, organolépticas y microbiológicas que debe presentar el agua para consumo humano en Guatemala.

Según el Acuerdo Ministerial No. 1148-09, titulado “Manual de normas sanitarias que establecen los procesos y métodos de purificación de agua para consumo humano”, se establecen los métodos de purificación incluyen la coagulación y floculación. Este procedimiento es esencial para eliminar partículas presentes en el agua que, debido a su tamaño y carga superficial, requieren una alternación electroquímica para ser removidas. Así mismo, el proceso de desinfección es obligatorio en cualquier sistema de abastecimiento de agua destinada al consumo humano, garantizado su calidad y seguridad.

Uno de los coagulantes más utilizados para el tratamiento de agua se encuentra: el sulfato de aluminio, las sales férricas y los polímeros sintéticos orgánicos; siendo el sulfato de aluminio el más ampliamente usado en las plantas de tratamiento, el cual se ha demostrado que puede ser nocivo para la salud al ser ingerido. Razón por la cual surge la necesidad de evaluar la efectividad de especies vegetales como coagulantes que

permitan la sustitución total o parcial del sulfato de aluminio en el tratamiento del agua. (Álvarez Suazo, 2017).

Entre los coagulantes naturales de origen vegetal se encuentra: semilla de Durazno (*Prunus pérsica*), Olote de maíz (*Zea mays*) y como agente natural desinfectante limón (*Citrus limon*). La presente investigación tiene como objetivo evaluar la efectividad de la semilla de durazno, el olote de maíz y el limón en los procesos de desinfección de agua y analizar su eficiencia en la eliminación de bacterias.

1. Antecedentes

Guzmán, Villabona, Tejado y García (2013) explicaron que Pritchard et al. (2009) menciona que la mayoría de los extractos naturales provienen de diversas partes de las plantas como son semillas, hojas, corteza o savia de raíces y de fruto extraídos de árboles y plantas, así mismo, informan que se han adelantado estudios sobre el desempeño como coagulantes de los extractos de plantas, como el árbol de nirmali (*S. potatorium*), tamarindo (*Tamerindous indica*) guar (*Cyamopsis psoraloides*), red sorella (*Hibiscus sabdariffa*), fenugreco o alholva (*Trigonella foenum*) y lentejas (*Lens esculenta*), usando agua cruda con turbiedad en los rangos de 50 a 750 NTU (Shultz & Okun, 1992).. De igual manera Asrafuzzaman et al. (2011) describe que los polímeros orgánicos naturales se han usado por más de 4000 años en India, en África y en China como coagulantes eficientes y como ayudantes en coagulación de aguas con alta turbidez para uso doméstico en áreas rurales. Sciban et al. (2015) mencionó que, en dichas regiones, se han usado plantas nativas como las semillas del árbol de Nirmali (*Strychnos potatorium*), granos tostados de maíz (*Zea mays*) o savia de cactus (*Opuntia ficus indica*); Los autores Ozacar & Sengil,

(2000) mencionan que los coagulantes naturales pueden ser utilizados solos o como sustitutos de coagulantes y de floculantes químicos, sin que estos afecten a la salud.

Guzmán et al (2013) describe que según Antov et al. (2007) realizó un estudio sobre la actividad de coagulación de extractos de semillas del frijol común (*Phaseolus vulgaris*), utilizando soluciones salinas como medio de extracción a diferentes concentraciones, del cual obtuvieron, reportes de valores altos en concentraciones de proteínas y actividades de coagulación, cercanas al 40% en el extracto crudo, cuando utilizan 0.5 mol/L de NaCl, demostrando que la purificación de las proteínas extraídas de las semillas del frijol común tienen características de coagulantes naturales.

Guzmán et al. (2013) recopiló el estudio de Yongabi (2004) en el cual reporto haber probado la capacidad coagulante y desinfectante de la Moringa (*Moringa oleífera*), Piñón Mejicano (*Jatropha curcas*), Hongo (*Pleurotus tuberregium sclerotium*), Rosa Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) comparándolas con el alumbre en muestras de aguas residuales; Según Sciban et al. (2005) mencionan acerca de “plantas recientemente ensayadas” como coagulantes frijol mezquite (*Prosopis juliflora*) y Cactus (*Cactus latifaria*) en Venezuela; en el norte de Sudán y Egipto varios tipos de frijoles, alverjas, cacahuates y de lupinos, semillas de *Cassia angustifolia* y semillas de *M. oleífera*.

Guzmán et al. (2013) mencionan que Fernández et al. (2008) realizaron un estudio sobre exudado gomoso de Goma guar (*Cassia siamea*) como coagulante en agua turbia sintética. El estudio encontró que, en una dosis de 50 mg/L, la turbidez se redujo a niveles entre 2 y 4 NTU, y el color se redujo a valores de hasta 5 UC utilizando entre 10 y 20 mg/L de la goma.

2. Marco teórico

2.1 Cultivo de Maíz (*Zea mays*)

Se encuentra entre las fuentes de recursos no maderables con un alto contenido de Xilanas, por lo que ha sido considerado de interés como fuente alternativa de diferentes compuestos químicos de interés comercial o industrial, entre otras fuentes de biomasa (Córdoba *et al*, 2010, Samanta *et al*, 2012, Oliveira *et al*, 2010). El olote es un residuo o subproducto agrícola que se genera en grandes cantidades en el proceso de separación del grano de la mazorca y se estima que por cada tonelada de maíz se obtienen 170 kg de olote. El olote de maíz, comúnmente considerado un residuo, emerge como un tesoro nutricional desapercibido. Su riqueza en fibra, vitaminas y minerales esenciales subraya su potencial para mejorar la salud digestiva, abordar deficiencias nutricionales y contribuir a la prevención de enfermedades. Al reconsiderar el valor del olote, podemos avanzar hacia una dieta más equilibrada y beneficios para la salud, o bien, diseñar estrategias que permitan recuperar estos compuestos biológicos, para otorgar un valor agregado a este material al obtener moléculas de interés industrial. (Chávez, 2024).

2.2 Funciones para la filtración de agua

El Xilote tiene diversas propiedades entre las más sobresalientes esta la propiedad de adsorción porque tiene una estructura porosa, esto significa que puede atraer y retener ciertas impurezas del agua; las partículas del olote pueden ayudar a eliminar sedimentos y partículas grandes del agua, actuando como un prefiltros, esto puede ser útil para

limpiar agua que contiene partículas visibles o sedimentos. El olote puede tener cierta capacidad para adsorber compuestos orgánicos debido a sus propiedades químicas, esto puede ayudar a mejorar la calidad del agua al reducir los contaminantes orgánicos presentes (Suaquita, 2022).

2.3 Obtención del olote de maíz

El olote de maíz se utiliza como material absorbente, que se recolecta como residuo. Este material se seca en condiciones ambientales, para reducir el efecto de la humedad y así aumentar el efecto de la absorción del crudo. El olote de maíz se lleva a tres tamaños de partículas diferentes utilizando un molino de cuchillas. Para obtener los diferentes tamaños de partícula, el olote de maíz molido se somete a un proceso de tamizado, con tamices # 16, # 30 y # 50, cumpliendo con la especificación de la Norma ASTM E-11. Las partículas utilizadas en la experimentación son las retenidas en cada tamiz. La muestra las partículas separadas por tamaño después del proceso de tamizado. (Deceano, 2022).

2.4 Cultivo del limón (*Citrus limón*)

Es un cítrico, fruto en baya del limonero, árbol de hoja perenne y espinoso de la familia de las Rutáceas. Este árbol se desarrolla con éxito en los climas templados y tropicales, cultivándose actualmente en todo el mundo. Aporta una gran cantidad de vitamina C, potasio y cantidades menores de otras vitaminas y minerales. La vitamina C interviene en muchas reacciones enzimáticas, es indispensable en la producción del colágeno, el cual es necesario para el crecimiento y reparación de células, tejidos, encías, vasos sanguíneos y huesos. Además, tiene la propiedad de mejorar la cicatrización, y la función

del sistema inmunitario fortaleciendo las defensas generales del organismo, también colabora en el transporte de hierro, posee capacidad antioxidante que ayuda a reducir el riesgo de algunas enfermedades. (Asociación interprofesional de Limón y Pomelo - AILIMPO-, 2005).

Función para la filtración de agua tomando de referencia la investigación realizada por la Universidad Politécnica de Valencia sobre la Capacidad antimicrobiana del limón frente a *e. coli*, se demuestra mediante los resultados la eficiencia del limón para la eliminación de la bacteria y como es el procedimiento para la preparación, en el estudio se evaluó en diferentes temperaturas, teniendo mejor resultado en baja temperatura.

En el estudio de tratamiento casero alternativo de agua para consumo humano por medio de fitoquímicos se hace mención que en el caso del limón se extrae el líquido, posteriormente se administra el producto natural y se verifica el efecto; en el caso de la investigación de la Universidad Politécnica de Valencia se utiliza la cascará del limón y se tritura y pulveriza, utilizando esa parte para la desinfección del agua.

2.5 Cultivo del durazno (*Prunus pérsica*)

Es considerado como uno de los frutos caducifolios más importantes del mundo, durante mucho tiempo se le consideró originario de Persia, sin embargo, algunas investigaciones han señalado que existen referencias del durazno en China, con antigüedad de 2,000 años.

El duraznero pertenece a la familia de las Rosáceas (Rosácea) al Género Prunos y a la especie pérsica (Rueda et al., s/f). La semilla es acuminada en uno de sus extremos,

extremadamente dura; almendra compuesta por dos cotiledones y un embrión. Fruto en drupa, oblonga, ovalada, esférica o semiesférica, con un surco longitudinal marcado, epidermis delgada, lisa o pubescente, de color verde, amarillo, rojiza o purpura, mesocarpio de color blanco, amarillo o rojo, succulento dulce y perfumado (Iglesias, 2017).

2.5.1 Función para la filtración de agua

El durazno tiene propiedad de coagulante a partir de la molienda de la semilla *Prunus pérsica* S “Salcajá” a una concentración y tiempo de aplicación. Las semillas de los frutos remueven la turbiedad de agua debido a que las proteínas liberadas se enlazan con las partículas y bacterias suspendidas, formando aglomerados que son removidos en sedimentación según la investigación realizada por estudiante de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, USAC. (Alonzo, 2022)

2.5.2 Obtención semillas de durazno

Al extraer las semillas se pudo encontrar que la calidad de la semilla variaba en función a la calidad del endocarpio, siendo las semillas que poseen el endocarpio negro, una semilla de mala calidad. Las semillas de mala calidad no tienen peso. El método más práctico es el uso de martillo (método mediante impacto), debido a que el método de corte destruye el cotiledón y demora más tiempo para separar los fragmentos del endocarpio y del cotiledón.

El coagulante natural se preparó a partir de una molienda extraída de la semilla del durazno. Esta molienda se preparó en dos etapas: 1) rallado de la semilla con un rallador de cocina, lográndose con ello una molienda no muy fina, lo cual permitió que el calor se

distribuyera de mejor manera. Se separó el tegumento. 2) Con un matraz de laboratorio se procedió a moler el material base para el coagulante. La molienda obtenida se tamizó con un tamiz fino de un milímetro, dejando reposar por 24 horas. (Alonzo, 2022)

3. Metodología

Se recopiló información de estudios similares y protocolos relacionados a la investigación que se plantea realizar. Con la finalidad de establecer la ruta de trabajo a utilizar, las líneas a evaluar y procedimientos a realizar para el proceso de los materiales orgánicos

3.1 Fase de campo:

3.1.1. Preparación de materiales vegetativos: Se procedió a adquirir los materiales que se utilizarían para desarrollar la fase de comunidad vulnerables de la cuenca alta del río Samalá.

3.1.2 Evaluación de protocolos propuestos para materiales orgánicos.

3.1.2.1 Durazno (*Prunus pérsica*)

Se adquirieron semillas de durazno frescas sin signos de enfermedades o plagas que puedan afectar al fruto. Posteriormente se retiró la pulpa de la semilla y se procedió a limpiarla para retirar todos los residuos con un cepillo y agua de grifo. A continuación, se

trituraron las semillas logrando con ello una molienda muy fina con un martillo, lo cual permitirá que el calor se distribuyera de mejor manera.

En el siguiente paso, se sometieron las muestras de semillas de durazno a calor constante a 180°C durante 90 minutos en el horno. Luego la molienda se tamizó utilizando un tamiz para separar las partículas. Una vez tamizado, se añadió un volumen 84.82 cm³ de la semilla de durazno en un recipiente preparado con perforaciones (se realizaron con aguja estéril) para tener un flujo de agua vertical ascendente.

Después se vertió un volumen de 282.74 mL de agua de lluvia, previamente colectada en la capa filtrante, se recolectó la muestra de agua filtrada con la semilla de durazno en un frasco estéril de 150 mL. Finalmente, se preparó la cadena de frío y se procedió a ingresar la muestra en el laboratorio de agua de la dirección de salud del departamento de San Marcos.

3.1.2.2. Cáscara de limón (*Citrus limon*)

Se adquirieron limones frescos de buena calidad, sin signos de deterioro, enfermedades o plagas, luego se retiró la cáscara de los limones mediante un proceso de pelado manual, asegurando la preservación de sus características físicas. A continuación, se procesó la cáscara de limón mediante la homogenización mecánica con equipo de licuado, logrando una textura uniforme para su posterior procesamiento.

Posteriormente, se sometió la cáscara de limón procesada a calor constante a 180°C durante 90 minutos en el horno, después se agregó un volumen de 113.09 cm³ de la

cáscara de limón triturado en un recipiente preparado con perforaciones (se realizaron con aguja estéril) para que tener un flujo de agua vertical ascendente.

Seguido lo antes descrito, se vertió un volumen de agua de 282.74 mL de agua de lluvia, previamente colectada en la capa filtrada. Luego, se recolectó la muestra de agua filtrada con la cáscara de limón en un frasco estéril de 150 mL. Por último, se preparó la cadena de frío y se procedió a ingresar la muestra en el laboratorio de agua de la dirección de salud del municipio.

3.1.2.3 Olote de Maíz (*Zea mays*)

Se recolectaron muestras de olote (en buen estado, evitando muestras de cosechas anteriores para evitar plagas o enfermedades). Después, se procesó el olote mediante trituración en un molino, obteniendo partículas más pequeñas adecuadas para su posterior análisis. A continuación, se sometieron las muestras de olote a un proceso de tamizado, empleando un equipo de malla comercial.

Posteriormente, se procedió a secar las muestras en un horno a calor constante a 180°C durante 90 minutos, Seguido a esto, se agregó un volumen de 98.60 cm³ de olote en un recipiente preparado con perforaciones (se realizaron con aguja estéril) para tener un flujo de agua vertical ascendente.

Luego, se vertió un volumen de 282.74 mL de agua de lluvia, previamente colectada en la capa filtrante. Después, se recolectó la muestra de agua filtrada con la semilla de durazno en un frasco estéril de 150 mL.

Por último, se preparó la cadena de frío y se procedió a ingresar la muestra en el laboratorio de agua de la dirección de salud del departamento de San Marcos.

4. Evaluación de filtro con materiales orgánicos

Se prepararon los materiales orgánicos: semilla de durazno, cáscara de limón y olote siguiendo las indicaciones descritas en la sección anterior para su adecuada manipulación y procesamiento. A continuación, se ensambló el filtro utilizando recipientes previamente preparados, en los cuales se realizaron perforaciones con aguja estéril, asegurando el paso de agua a través de cada capa del material filtrante.

Después, se ordenaron las capas filtrantes en el siguiente orden, respetando un volumen específico:

Primero, se dispuso la cáscara de limón, con un volumen de 113.09 cm^3

Segundo, se colocó la semilla de durazno, con un volumen de 84.82 cm^3

Finalmente, el olote con una capa de material con un volumen de 98.60 cm^3

Posteriormente, se adiciono un volumen de 424.11 mL de agua de lluvia previamente colectada, en el primer recipiente, con el fin de visualizar un flujo constante de agua a través del sistema de filtración. Luego, se recolectó la muestra de agua filtrada del sistema de filtración de materiales orgánicos, utilizando un frasco de 150 mL , evitando la contaminación.

Por último, se preparó la cadena de frío y se procedió a transportar las muestras al laboratorio de agua de la dirección de salud del departamento de San Marcos.

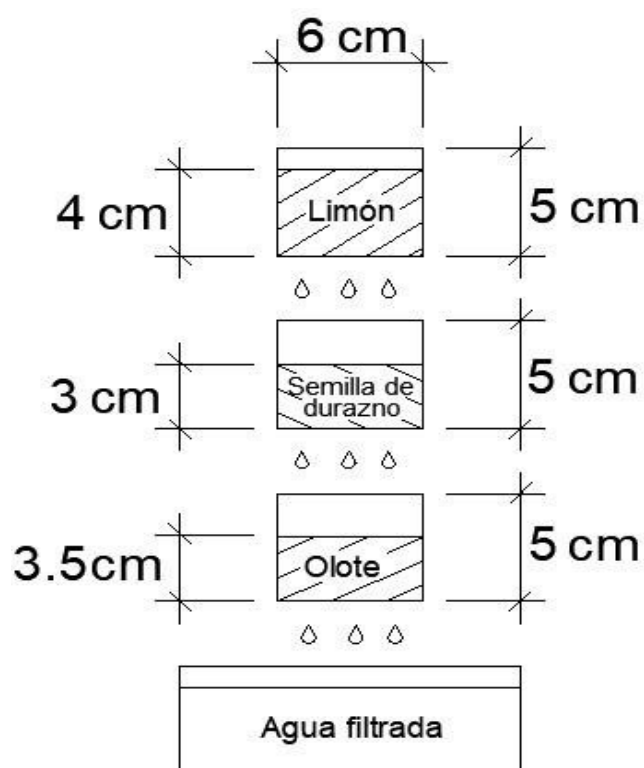


Fig. 1. Esquema de la disposición de medios filtrantes orgánicos.

Resultados

Se realizaron los procesos de preparación de los materiales orgánicos tomando de referencia los protocolos previamente identificados mediante la revisión bibliográfica. Al iniciar la investigación se comprueba o anula la propiedad propuesta por autores de desinfección.

Evaluación de filtración de material y conocer la propiedad que cumple en el proceso de desinfección de agua.

La investigación inicio de forma aislada de los materiales filtrantes a base orgánica, de los cuales se describe los resultados a continuación, todos los resultados obtenidos fueron comparados con

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que la semilla de durazno es el material orgánico más efectivo para la desinfección del agua, logrando una reducción significativa de las unidades formadoras de colonia -UFC-de 34 a 3 UFC/100mL, como se puede observar en la gráfica 1. Este hallazgo es consistente con estudios previos que sugieren que materiales orgánicos contienen propiedades de coagulación y desinfección. Sin embargo, se observa que el olote no mostró el mismo resultado, ya que aumentaron las UFC, lo que podría explicarse por las características físicas del material que favorecieron el crecimiento bacteriano en lugar de su eliminación.

En el caso de la cáscara de limón, demostró que, aunque no tan efectivo como la semilla de durazno, logró una reducción de 34 a 30 UFC/100 mL, lo que sugiere su potencial como un material viable para la desinfección de agua por sus propiedades. No obstante, cabe destacar que, durante el proceso de filtración, la cáscara de limón liberó compuestos que alteraron el color del agua, lo cual podría indicar una interacción sinérgica entre los componentes orgánicos y las partículas presentes en el agua.



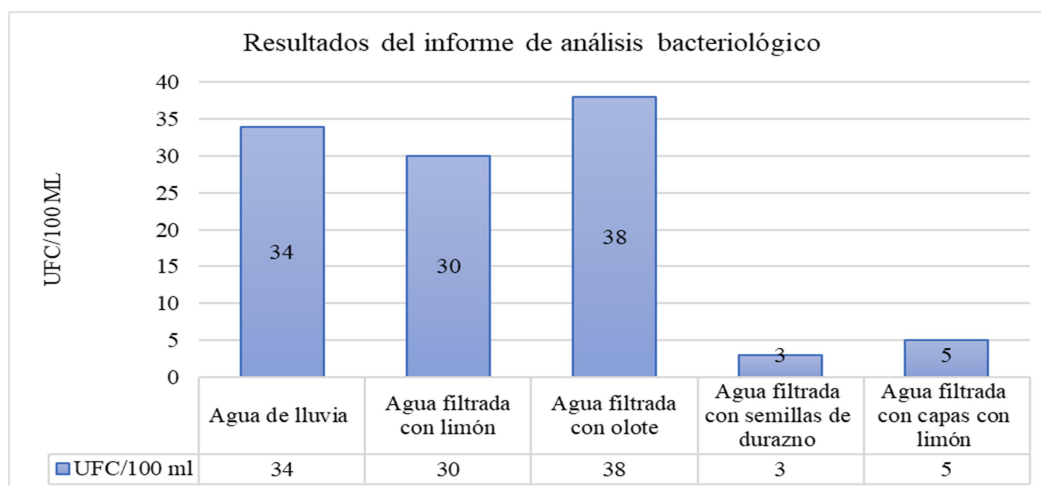
Fig. 1. Preparación de materiales orgánicos para la desinfección del agua a través del calor. **Fuente:** Proyecto filtros versátiles UPNA/CUNOC.

En la figura 1 se puede observar las muestras de material orgánico, cáscara de limón, olote y semillas de durazno, sometidas a procesos térmicos, estos materiales fueron tratados a altas temperaturas con el fin de evaluar su efectividad en la reducción de unidades formadoras de colonias -UFC- en agua, como parte del protocolo de desinfección del agua para consumo humano. El proceso térmico es crucial para liberar las propiedades activas que contribuyen a la eliminación de patógenos en el agua.

5. Evaluación de la eficiencia de la combinación de las etapas para la desinfección de agua.

Posterior a realizar los ensayos de los materiales orgánicos de forma aislada, se realizó un prototipo casero para agregar cada capa de medios filtrantes para determinar la eficiencia conjunta para la desinfección y coagulación de agua, de lo propuesto se muestra a continuación:

El prototipo de filtración casero, que combinó las tres capas de semillas, durazno olote y cáscara de limón, mostró un rendimiento prometedor en términos de desinfección del agua, los resultados indicaron una reducción significativa, demostrando una disminución de 34 a 5 UFC/100 mL. Sin embargo, uno de los efectos secundarios como se mencionó anteriormente del uso de la cáscara de limón fue la alteración de color del agua, que puede atribuirse a la liberación de compuestos fenólicos y taninos presentes en este material. Aunque el color no representa un riesgo directo para la salud, podría influir en la percepción de la calidad del agua tratada. Para abordar este inconveniente se sugiere la incorporación de materiales adsorbentes, como el carbón activado, que podría eliminar el color sin afectar la capacidad de desinfección del filtro.



Grafica 2. Resultados de laboratorio de análisis microbiológico del agua filtrada con materiales orgánicos. **Fuente:** DAS, DDRISS, San Marcos, 2024.

Alternativamente, considerando que la semilla de durazno mostró buenos resultados en la reducción de UFC sin alterar significativamente el color del agua, podría evaluarse

su uso exclusivo en el filtro, lo que podría resultar en un proceso de desinfección más eficiente y visualmente aceptable.

Conclusiones

En conclusión, el limón (*citrus limon*) es un fruto versátil, por tal razón contiene altos contenidos de ácido ascórbico, mostró un efecto limitado en la reducción de *Escherichia coli*. Si bien logró disminuir parcialmente la presencia de dicha bacteria en el agua, los resultados sugieren que su eficacia es menor en comparación a otros materiales naturales filtrantes.

Las semillas de durazno (*Prunus pérsica*) procesadas demostraron ser altamente efectivas en la filtración de agua. Los resultados del análisis microbiológico realizado en el área de salud del departamento de San Marcos indicaron una significativa reducción de las unidades formadoras de colonia -UFC- de *E. coli* pasando de 34 a 03, demostrando la eficiencia del material orgánico para el tratamiento del agua.

El uso combinado de capas de material orgánico como limón y semillas de durazno, también mostró resultados positivos. Esta estrategia de filtración mejoró la calidad del agua, resaltando el potencial de combinar diferentes materiales orgánicos para obtener soluciones eficientes y sostenibles.

A pesar de haber sido evaluado como material filtrante, el olote (*Zea mays*) no ha mostrado resultados satisfactorios en este estudio, su efectividad limitada en la eliminación de bacterias e impurezas indica que este material podría no ser el más adecuado para el proceso de purificación de agua.

Recomendaciones

Fomentar el uso de semillas de durazno debido a que demostró un alto potencial para la purificación del agua. Se podría promover su uso en la comunidad vulnerables del territorio de la cuenca alta del río Samalá, que busca alternativas orgánicas, sostenibles y de bajo costo para mejorar la calidad del agua.

Promover combinaciones de materiales orgánico, como en este caso las semillas de durazno que mostró resultados favorables, se podría investigar y promover la creación de un filtro que integren estos y otros materiales orgánicos como el carbón activo, con el fin de optimizar la purificación del agua y hacerlo accesible para comunidades locales.

Bibliografía

Alonzo, A. B. (2022). Eficiencia de la semilla de durazno *Prunus pérsica* S "Salcajá" como coagulante natural. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 12.

Álvarez Suazo, T. Y. (2017). Uso de la semilla de tamarindo (*tamarindus indica*) como coagulante orgánico para la remoción de turbiedad y color en el agua para potabilización. *Agua, Saneamiento & Ambiente -ASAS-, ERIS*, 2.

Asociación interprofesional de Limón y Pomelo - AILIMPO-. (2005). Valor nutricional de los limoneros. *Fundación española de la nutrición*, 16.

Chávez, I. M. (2 de febrero de 2024). *Hablemos claro*. Obtenido de

<https://hablemosclaro.org/el-olote-del-maiz-un-tesoro-nutricional-desapercibido/>

Choque Quispe, D., Choque Quispe, Y., Solano Reynoso, A., & Ramos Pacheco, B. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química, Volumen 38*, 3.

Cifuentes Taracena, E. H. (2022). Análisis de combinaciones de techo y botella para desinfección mediante la metodología SODIS. *Agua, Saneamiento & Ambiente, Vol 17.* , 1- 12.

D. Aquino, M., & Teves, S. A. (1994). El limón como biocida natural para desinfectar las aguas de consumo. Argentina: Bol Oficina Sanit Panam. Deceano, C. R. (2022). Análisis de la capacidad absorbente del olote de maíz en derrames petroleros. *Ingeniería Industrial*, 13.

Dr. Celso David Cerezo Mulet. (2009). *Acuerdo ministerial No. 1148-09 "Manual de normas sanitarias que establecen los procesos y métodos de purificación de agua para consumo humano"*. Guatemala.

Fernández Horóstequi, H. (2017). *Fitorremediación mediante cotiledones de durazno (Prunus persica) para reducción de turbidez y Escherichia coli de aguas domésticas*. Lima, Perú: Universidad César Vallejo.

Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista U.D.C.A.*, 255-257.

Hildebrando Ramírez, J. J. (2014). Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos. *Ingeniería Solidaria* , 13.

Iglesias, P. S. (agosto de 2017). *UAEMEX*. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/68166/Cultivo+de+Durazno.pdf;jsessionid=B8FFED7338739F7559980395CE1A569?sequence=1>

Mamani Suaquita, D. (2015). *WaterFilteringindia*.

Obtenido de

<https://www.ideassonline.org/public/pdf/WaterFilteringIndia-ESP.pdf>.

Oliveros Godínez, I. K. (2022). Uso de semilla de Mangífera indica como coagulante natural

para tratamiento de potabilización. *Agua, Saneamiento & Ambiente, Vol. 17 No. 1*, 1-9.

Ospina Zúñiga, O. E., & Ramírez Arcilla, H. (2011). Tratamiento casero alternativo de agua para consumo humano por medio de fitoquímicos. *Escuela Colombiana de Ingeniería No. 84*, 7- 17.

Picón Foronda, E. (2013). *Capacidad antimicrobiana de subproductos cítricos de limón, naranja y mandarina frente a Escherichia coli y salmonella typhimurium*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Ramírez Arcila, H., & Jaramillo Peralta, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Universidad Militar Nueva Granada*, 1-18.

Rodríguez Muñoz, S., Muñoz Martínez, R., García Roque, O., & Fernández Santana, E. (2005). Empleo de un producto coagulante natural para clarificar. *CENIC, Ciencias Químicas, Vol. 36*, 5.

Salas Martínez, S. (2018). *Ácido ascórbico en hortalizas de uso frecuente en Navarra*. Pamplona, Navarra: Universidad Pública de Navarra.

Salaverry Vera, R. S. (septiembre de 2016). *Universidad César Vallejo, Repositorio Digital Institucional*. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/6982/salaverry_vr.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Suaquita, D. M. (2022). *Ideasonline*. Obtenido de <https://www.ideassonline.org/public/pdf/WaterFilteringIndia-ESP.pdf>

Villabona Ortiz, Á., Paz Astudillo, I. C., & Martínez García, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 9.

Proceso metodológico para aceptación de cocreación con comunidades, caso Caserío Chirijcá

Y. K. Pérez¹, E.O. Flores¹ y A. Gil²

Centro Universitario de Occidente (CUNOC), de la Universidad de San Carlos de
Guatemala¹

Departamento de Química Aplicada, Universidad Pública de Navarra²

Resumen—al contemplar un producto es necesario involucrar a la población para obtener una buena aceptación. Sin embargo, cobra mayor auge cuando esta responde a una necesidad latente en el entorno. En este contexto surge el impulso de realizar una cocreación de prototipos de filtros de agua para consumo humano, ante la desconfianza existente en la utilización de un filtro.

La cocreación es un proceso que involucra en primer lugar; la aceptación, factor determinante para el éxito del producto. Esta etapa no solamente responde a una demanda sino a un contacto con la realidad de la población, por ello se requiere de un proceso metodológico que permita utilizar las herramientas, técnicas y procedimientos acorde para garantizar la aceptación.

En consecuencia, estas acciones generan un ambiente de confianza, accesibilidad y compromiso de la comunidad para ser parte de la cocreación. Aunado a ello, el acompañamiento constante es fundamental para identificar la percepción de la población

ante la aceptación de la cocreación del prototipo de filtro de agua, desde un ámbito integral.

Abstract— When considering a product, it is necessary to involve the population to obtain a good acceptance. However, it gains greater momentum when it responds to a latent need in the environment. In this context, the impulse to co-create prototypes of water filters for human consumption arises, given the existing mistrust in the use of a filter.

Co-creation is a process that involves, first of all, acceptance, a determining factor for the success of the product. This stage not only responds to a demand but to contact with the reality of the population, therefore a methodological process is required that allows the use of the appropriate tools, techniques and procedures to guarantee acceptance.

Consequently, these actions generate an environment of trust, accessibility and commitment of the community to be part of the co-creation. In addition to this, constant accompaniment is essential to identify the perception of the population regarding the acceptance of the co-creation of the water filter prototype, from a comprehensive perspective.

Palabras clave— Aceptación (acceptance), Accesibilidad (accessibility) Agua (*water*), Agua para consumo humano (*Water for human consumption*), Cocreación (*co-creation*), Comunidad (*community*), Filtros de agua (*Water Filters*), Metodología (*methodology*), población (*population*), Procesos formativos (training processes), Prototipo (*prototype*).

1. INTRODUCCIÓN

Acercarse a comunidades en Guatemala para realizar una investigación es un proceso debido a la falta de confianza. Para que proyectos de desarrollo e investigación sean apropiados por una comunidad se deben realizar conjuntamente. Este artículo aborda el acercamiento, confianza y trabajo en conjunto con la comunidad con una metodología de siete pasos propuesta en este artículo, la que se implementó en una comunidad focal del proyecto filtros Versátiles desarrollado por el CUNOC y la UPNA y patrocinado por el Gobierno de Navarra España.

2. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

En un mundo dinámico donde las necesidades y realidades de la población se ven marcadas por grandes brechas de desigualdad, es importante crear condiciones para mejorar la calidad de vida. En este contexto, la cocreación es una herramienta válida para construir experiencias mediante un enfoque colaborativo y que enlace con las personas, es lo fundamental.

2.1 ¿Qué es la cocreación?

El concepto de cocreación conlleva una dimensión colectiva y motiva la transformación de las personas o el grupo que realiza las tareas, porque la cocreación comprende tanto (compartir procesos de ideación conjunta como la toma de decisiones) (Warcowicki, 2016)

Partiendo de esta definición, es importante generar un aprendizaje que se fundamente en la cooperación, compromiso, comunicación, confianza y sobre todo un objetivo en común. Estas características deben ser de doble vía, tanto del grupo investigador como de la población con quien se estará cocreando.

Hay dos aportes valiosos que implica este proceso, el primero es que existe mayor adaptabilidad del producto a las necesidades de la población y segundo, se consolida una mayor relación y por ende el nivel de involucramiento es alto.

Como resultado de estos aportes surge la aceptación de la población ante el producto, este factor es transcendental en el proceso de la cocreación.

Con base a la literatura se han identificado dos elementos importantes a tener en cuenta para evaluar la aceptación. El primero es la credibilidad o confianza que le genera una marca al consumidor; y el segundo es el fin percibido por la marca. La extensión de marca lleva a pensar que existe mayor credibilidad y notoriedad, por lo tanto, puede gozar de una mejor aceptación. La aceptación del consumidor puede ser medida por su intención de compra del producto y su probabilidad de recomendarlo a otras personas. (Rodríguez, 2021).

En este sentido, la aceptación permite verificar no solamente la confianza que se pueda tener, en este caso con el filtro de agua, sino lo más importante, el uso permanente que se le pueda dar al producto.

2.2 Metodología para aceptación de cocreación en caserío

Chirijcajá

En las distintas intervenciones realizadas en las comunidades, han surgido diferentes procesos, por ello se considera necesario plasmar aquellas técnicas, procedimientos, métodos y herramientas utilizadas, mismas que han generado buenos resultados para la investigación.

Uno de los procesos clave es fomentar la aceptación y apropiación por parte de la población en cuanto al uso de un filtro de agua para consumo humano, no obstante, para fines de esta investigación resulta importante abordar este paso para la cocreación del filtro.

A continuación, se describe la metodología empleada para el proceso de aceptación de cocreación de filtros de agua en el caserío Chirijcajá.

2.2.1 Identificación de comunidad

Con base en el diagnóstico de las fuentes de abastecimiento de agua de la parte alta de la cuenca del río Samalá, que aborda un proceso de investigación en 35 comunidades, de 9 municipios de los departamentos de Quetzaltenango y Totonicapán. Las variables para su intervención fueron: los índices de desarrollo humano, pobreza y salud. La ejecución permitió indagar sobre la gestión municipal y comunitaria del agua, sobre todo; la calidad del agua. (Proyecto de Desarrollo de Filtros Versátiles para tratamiento de agua para territorios vulnerables, formación básica y aplicaciones. (primera fase), 2,025).

A raíz de ello se efectuaron estudios microbiológicos, mismos que se analizaron en el laboratorio de calidad de agua del Centro Universitario de Occidente- Universidad de San Carlos de Guatemala, (véase Anexo 1), permitiendo la identificación de una comunidad en condiciones precarias respecto a la dotación de agua para consumo y en la calidad de la misma. A ello se suma un escenario económico complicado, situación que pone de manifiesto la vulnerabilidad y violación al derecho humano al agua.

La Fig. 1 muestra a continuación, los parámetros evidenciados en los resultados microbiológicos del municipio con mayor cantidad de Unidades Formadoras de Colonias – UFC-

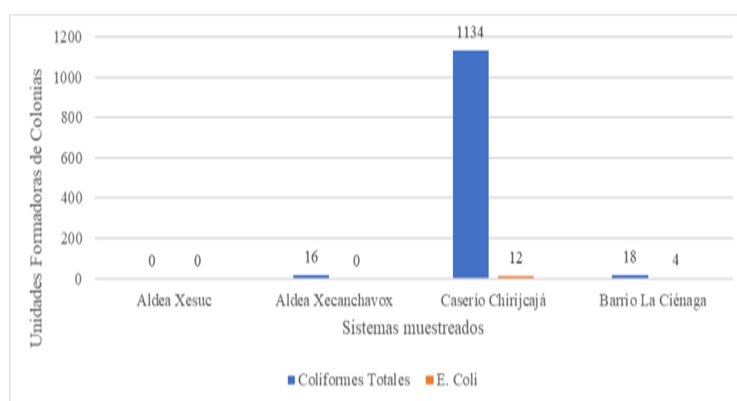


Fig.1. Resultados de las comunidades muestreadas para análisis microbiológico y fisicoquímico del municipio de San Cristóbal Totonicapán.

Para el proceso de recolección de muestras, se consideraron cuatro puntos, lamentablemente el caserío no cuenta con un sistema de abastecimiento de agua potable, por ende, la población ha optado por la perforación de pozos artesanales en algunos hogares, siendo estas las ubicaciones que se presentan en la Fig. 2.

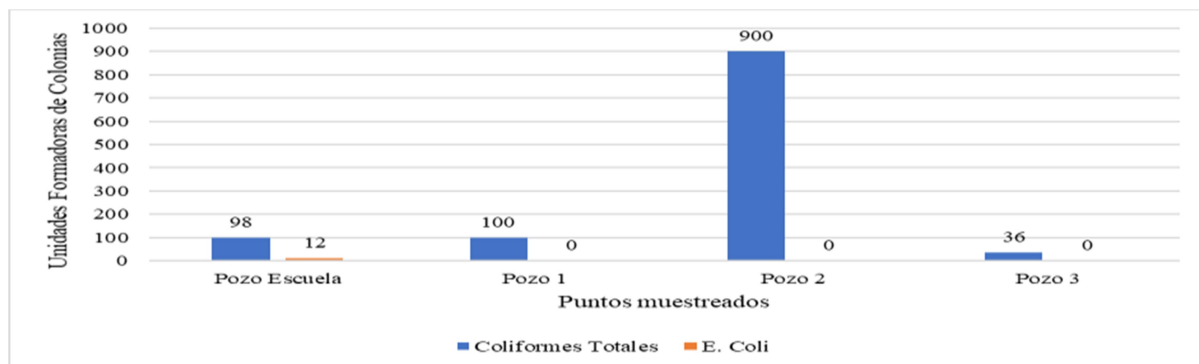


Fig. 2. Resultados del análisis de muestras de pozos del Caserío Chirijcáj del municipio de San Cristóbal Totonicapán, Totonicapán.

La fig. 2 indica los altos rangos de contaminación bacteriana, identificando la presencia de coliformes totales y *Escherichia Coli*, cuando la Norma Técnica Guatemalteca NTG29001 establece que los parámetros para análisis microbiológico deben ser igual a 0. Esta situación es difícil, principalmente si se analizan los resultados del pozo de la escuela, donde convergen más de 100 niños y niñas, quienes no cuentan con condiciones e instalaciones adecuadas para gozar de un entorno limpio e higiénico que permita la prevención de enfermedades.

Esta comunidad ha sido focalizada debido a dos situaciones puntuales: la primera es el escaso acceso a agua potable y segundo, la calidad de la poca agua con la que se puede contar. Ambas situaciones van ligadas, tomando en consideración que el caserío se ubica topográficamente en la parte alta, lo que dificulta la disponibilidad, escenario que deja vulnerable a la población, dejando como única alternativa, la utilización del agua de río Pabacúl, que es parte de la microcuenca.

Este río se encuentra altamente contaminado, a lo largo de las visitas realizadas se visualizó espuma, turbidez y desechos sólidos. Razón por la cual se realizó un análisis de aguas residuales, mismo que detectó más de 3,800 colonias formadoras de E. Coli y Coliformes totales.

Estos datos reflejan la urgente necesidad de mejorar la calidad del agua para consumo, a raíz de ello, se ha definido al caserío Chirijcájá, del municipio de San Cristóbal, Totonicapán. Para desarrollar un plan piloto y poder valorar la apropiación y funcionamiento social y técnico del prototipo.

En este sentido es fundamental saber cómo establecer un contacto adecuado para lograr el éxito al colaborar con comunidades para entablar una cocreación de productos con fines sociales. Por esta razón se desglosa el proceso metodológico para alcanzar aceptabilidad.

2.2.2 Acercamiento

Es fundamental que, al contar con la comunidad se realice un mapeo de actores, con la finalidad de identificar a los agentes sociales, analizando su interés, importancia o influencia en el territorio y con el proyecto.

Partiendo de ello se debe desarrollar una priorización de los sujetos. Para fines de esta investigación los actores claves son: alcalde municipal, ISA del centro de salud del municipio de San Cristóbal; director de la Escuela primaria del caserío de Chirijcájá, alcaldes auxiliares e integrantes del COCODE.

Los respaldos institucionales locales son trascendentales para intervenir en los territorios y con ello reducir las probabilidades de generar conflictos sociales.

En este caso, se procedió, se procedió a concretizar una audiencia con el alcalde y su concejo municipal, asimismo, con el Inspector de Saneamiento Ambiental -ISA-, para presentar los objetivos del proyecto y las acciones planificadas para ejecutar con el caserío Chirijcájá.

El segundo nivel de acercamiento se obtuvo con personal municipal designado en la materia de agua, para entablar contacto con las autoridades comunitarias, consistentes en integrantes del COCODE, alcaldes auxiliares y director de la Escuela de primaria del caserío.

En este marco es necesario hacer énfasis en el rol de los alcaldes comunitarios, más allá de una perspectiva de líder, es el trabajo, constancia, dedicación, esfuerzo y tiempo que implica este proceso para cada uno de ellos, en ocasiones requiere perder su jornada laboral para acompañar y ser parte de las distintas actividades que conlleva la investigación. Hacer énfasis en esta acción es necesario para generar principalmente tres elementos:

2.2.3 Confianza

Cuando el contacto y la presentación del equipo es realizada por empleados municipales, se crea una primera impresión de confianza, sabiendo que las personas que se enlazan a la comunidad traen consigo herramientas para mejorar las condiciones de vida de la población.

A ello se suma la continuidad en las acciones que se desarrollan, generalmente estos acercamientos se realizan una sola vez, sin embargo, para fines de este proyecto se realizaron visitas periódicas en donde involucraron a autoridades comunitarias, padres de familia y escolares.

2.2.4 Accesibilidad

Al observar las visitas constantes, la población mostró una mayor disposición para participar en las distintas actividades, especialmente en los grupos focales. En estos espacios, la interacción se volvió más dinámica, lo que facilitó el conocimiento de aspectos propios de la comunidad. (Véase Fig. 1 y Fig. 2)



Fig.1. Presentación de proyecto a autoridades del caserío Chirijcájá. Proyecto filtros versátiles, CUNOC-UPNA.



Fig.2. Entrevista sobre contextualización del caserío Chirijcajá. Proyecto filtros versátiles, CUNOC-UPNA.

Un factor determinante para lograr la accesibilidad por parte de la población es el nivel de relevancia que tiene el tema de la disponibilidad y calidad de agua en la comunidad, considerando que es sobre esta materia que se entabla la cocreación.

2.2.5 Compromiso

La disponibilidad y accesibilidad de la población, permitió generar un ambiente de compromiso y corresponsabilidad para desarrollar las diferentes sesiones, por ello se contó con el involucramiento desde la convocatoria, hasta la ejecución de puntos específicos de las agendas de trabajo.

Estos elementos se convirtieron en pilares fundamentales para que el acercamiento cumpliera con la finalidad del proyecto, siendo esta; lograr un posicionamiento para contar con accesibilidad al momento de implementar el producto a cocrear, en este caso, un filtro de agua para consumo humano.

2.2.6 Reuniones de seguimiento

Tras el acercamiento con actores claves del caserío, se consideró oportuno generar una serie de reuniones de seguimiento las que giraban en torno a dar a conocer los objetivos del proyecto y las acciones planificadas a través de un cronograma de actividades. Asimismo, desarrollar jornadas con grupos focales con distintos actores claves para profundizar en el conocimiento y la dinámica de la comunidad.

Esta acción es importante, tomando en consideración que es el punto de partida para la cocreación

2.2.7 Procesos formativos integrales

La educación ha sido y será el único y mejor método para alcanzar cambios significativos en la conducta de las personas. Por ello para este proceso de cocreación se contempló la implementación de espacios de reflexión desde los más pequeños, por ello se iniciaron jornadas de sensibilización con niños de la Escuela de educación primaria, las cuales estaba estructurada con tres módulos siendo:

1. El derecho humano al agua.
2. Importancia de contar con agua de calidad en la comunidad.
3. Medios filtrantes de agua.

El primer módulo también fue dirigido a padres de familia, esto, derivado de las condiciones actuales de la población para abastecerse de agua. (Véase fig. 3).



Fig. 3. Módulo de El derecho humano al agua con padres de familia de caserío Chirijcájá. Proyecto filtros versátiles, CUNOC-UPNA.

Contar con metodologías lúdicas es fundamental para garantizar una buena recepción por parte de los participantes. Por esta razón, se empleó material didáctico como: canciones y el uso de un microscopio, herramienta que permitió visualizar las bacterias presentes en el agua. Además, en cada aula se situaron carteles relacionados con los temas, facilitando su comprensión y manteniéndolos siempre presentes. (Véase fig. 4 y fig. 5).



Fig. 4. Observación a través de microscopio de agua contaminada, Proyecto filtros versátiles, CUNOC-UPNA.

El agua es un tema que debe visualizarse desde un enfoque integral, por lo tanto, la seguridad alimentaria no puede desligarse, por consiguiente, al contar con un abastecimiento de agua deficiente, se identifican factores de vulnerabilidad como la desnutrición y desnutrición aguada.

Según el Sistema de información municipal de seguridad alimentaria y nutricional del municipio de San Cristóbal, Totonicapán, el caserío Chirijcájá es una de las cuatro comunidades priorizadas por la Gran Cruzada Nacional por la Nutrición, debido a los indicadores antropométricos en niños menores de cinco años. (CATIE, 2,024).

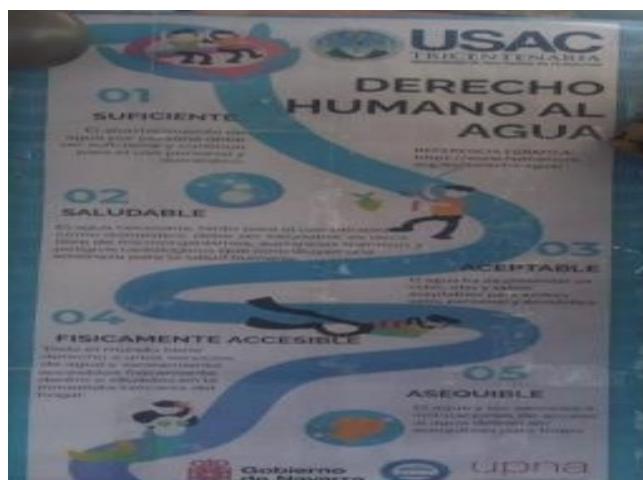


Fig. 5. Material didáctico ubicado en aulas de Escuela Rural Mixta del caserío

Chirijcajá, Proyecto filtros versátiles, CUNOC-UPNA.

Partiendo de este panorama se desarrolló un taller demostrativo para el cultivo de hongos ostra, con la finalidad de presentar alternativas que contribuyan a mejorar su calidad de vida a través del consumo de nutrientes.

Vincular el agua con las distintas actividades que se realizan en las comunidades es fundamental, principalmente cuando se habla del ciclo hidrológico, debido al manejo, protección y conservación de las zonas de recarga hídrica. Por consecuente los procesos integrales deben fundamentarse en la cooperación y trabajo en conjunto, a raíz de ello se entablaron gestiones para un proceso formativo y la dotación de 750 árboles para toda la comunidad con una organización no gubernamental, cuya finalidad es contribuir no solamente con el abastecimiento de algunos frutos, sino generar mayor infiltración de agua.

3. Visitas de seguimiento

Se han realizado una serie de visitas técnicas para recopilar información sobre la delimitación de mojones del caserío, para la elaboración de un mapa de la comunidad; mediciones para la implementación de cosechadores de lluvia como una tecnología endógena, esta contribuirá a mejorar el abastecimiento de agua para consumo. Asimismo, visitas domiciliarias y entrevistas para conocer la percepción y aceptación de la población respecto a los filtros de agua. Siendo en esta última que se hará énfasis para el desarrollo de esta sección.

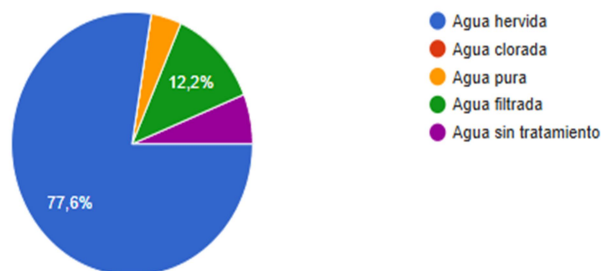


Fig. 6. Tipo de agua para beber. Proyecto filtros versátiles, CUNOC-UPNA.

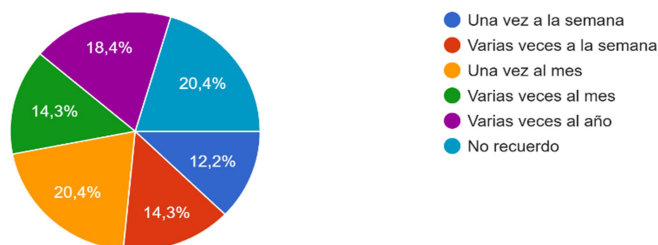


Fig. 7 Frecuencia de padecimiento de enfermedades gastrointestinales. Proyecto filtros versátiles, CUNOC-UPNA.

A pesar de las medidas tomadas respecto al agua para consumo, un 20.4% de la población se enferma una vez al mes, el mismo porcentaje comentó no recordar la frecuencia con la que se enferma y un 18.4% indicó que son varias veces al año. Situación que fundamenta la necesidad de implementar acciones para mejorar la calidad de agua y donde el uso de filtros es indispensable.

3.1 Media de habitantes por hogar

Las casas entrevistadas en promedio están conformadas por 6 habitantes, los núcleos familiares están compuestos en su mayoría por niños. Por lo que es necesario considerar que estos sistemas de cosechadores de lluvia puedan contener el agua necesaria para dotar a todos los miembros del hogar.

3.2 Viabilidad de utilizar agua de lluvia

La población percibe de manera favorable este sistema para poder abastecerse de agua, por lo que la utilizarían para subsanar sus necesidades diarias, pese a eso, consideran necesaria poder hervirla, clorarla o emplear algún método de desinfección para poder consumirla, a pesar de ser agua de lluvia puede estar contaminada, (véase anexo 2 para referencia). Esto aporta a la reducción de gastos ocasionados por la compra y/o acarreo de agua. Y por ende a reducir índices de pobreza; tomando en cuenta que estos son gastos constantes.

3.3 Accesibilidad para cocreación de prototipo de filtro de agua para consumo

A pesar de la necesidad latente respecto al tema de agua y su calidad se consideró oportuno realizar visitas domiciliarias para visibilizar la accesibilidad de la población ante la aceptación de la tecnología del prototipo mediante la cocreación, situación que implica la aprobación de un trabajo en conjunto, por ello se presentan los siguientes resultados.

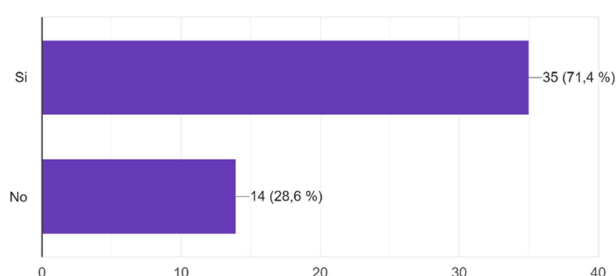


Fig. 8. Conoce que es un filtro de agua. Proyecto filtros versátiles, CUNOC-UPNA.

Si bien, cerca de tres cuartas partes de los vecinos visitados reconocen que es un filtro purificador de agua, véase la Fig. 8, el 92% de los mismos, indicaron que les gustaría utilizar un filtro de agua para consumo en sus hogares. Lo que revela muy buenas oportunidades y posibilidades de excelentes resultados para realizar la cocreación el caserío de Chirijcajá.

Partiendo de este escenario se obtuvieron insumos a considerar para su creación, dentro de los más relevantes se encuentran los siguientes.

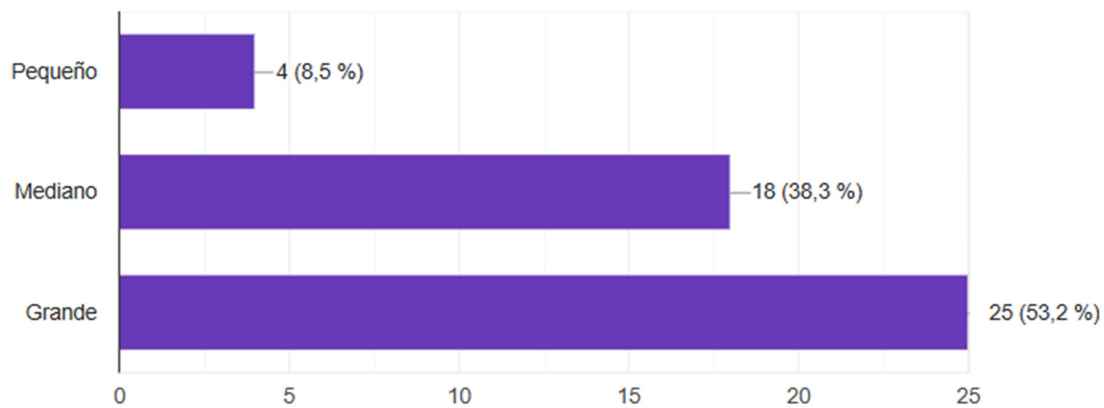


Fig. 9. Tamaño sugerido de filtro de agua para consumo humano. Proyecto filtros versátiles, CUNOC-UPNA.

La fig. 9 nos presenta que más del 50% de los entrevistados sugirieron que el filtro sea de tamaño grande, derivado a que en promedio el agua para consumo diario en sus hogares oscila entre 10 y 15 litros diarios. Es importante resaltar que esta cantidad es utilizada únicamente para elaboración de café, refrescos, atol y alimentos como caldos.

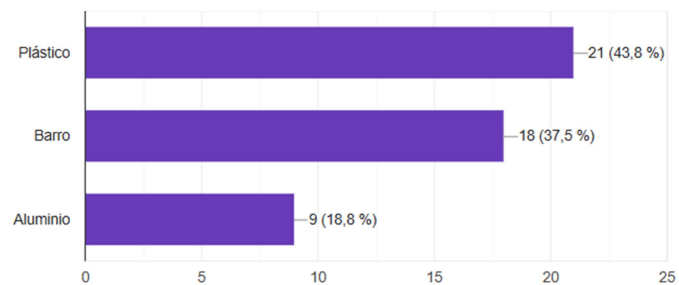


Fig. 10. Material sugerido para la construcción del filtro de agua para consumo humano. Proyecto filtros versátiles, CUNOC-UPNA.

Otro factor importante para analizar es el material de la carcasa del filtro. La fig.10 manifiesta que cerca del 44% prefiere que sea plástico, debido a la facilidad no solo en transportarlo, sino también de su mantenimiento y limpieza correspondiente.

Tomando en cuenta esta última condición el 68% de los entrevistados expusieron que la limpieza del filtro debe ser fácil y práctica, pues actualmente se identificaron hogares donde cuentan con un tipo de filtro (eco filtro) con más de 8 años y los cuales nunca han sido limpiados, lo que crea un escenario de vulnerabilidad, puesto que dentro del utensilio existe una alta probabilidad de la propagación de bacterias que contribuyen a aumentar los índices de enfermedades gastrointestinales.

Una característica más a evaluar es la confianza que genera la utilización de los filtros de agua, por lo que la fig. 11 constata que el 98% si tiene el sentimiento de comodidad y tranquilidad para utilizar los filtros de agua para consumo humano.

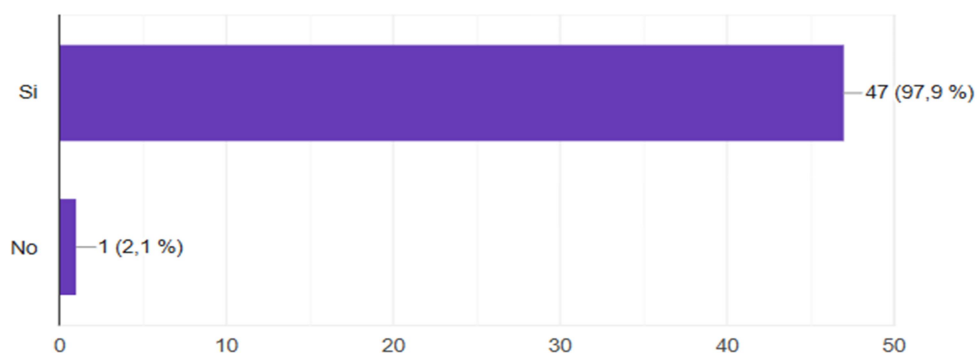


Fig. 11. Confianza para utilizar un filtro de agua para consumo humano. Proyecto filtros versátiles, CUNOC-UPNA.

Esta confianza se patentiza aún más, considerando que el mismo 98% de la población declaró que si contara con un filtro de agua en su hogar lo utilizaría sin duda alguna.

Todas estas características son necesarias tomarlas en consideración, de cierta manera esta primera fase de acercamiento con la población y la identificación de necesidades, son los inicios de la cocreación.

Otro factor importante para analizar es el material de la carcasa del filtro. La Fig.10 manifiesta que cerca del 44% prefiere que sea plástico, debido a la facilidad no solo en transportarlo, sino también de su mantenimiento y limpieza correspondiente.

Tomando en cuenta esta última condición el 68% de los entrevistados expusieron que la limpieza del filtro debe ser fácil y práctica, pues actualmente se identificaron hogares donde cuentan con un tipo de filtro (eco filtro) con más de 8 años y los cuales nunca han sido limpiados, lo que crea un escenario de vulnerabilidad, puesto que dentro del utensilio existe una alta probabilidad de la propagación de bacterias que contribuyen a aumentar los índices de enfermedades gastrointestinales.

Una característica más a evaluar es la confianza que genera la utilización de los filtros de agua, por lo que la fig. 11 constata que el 98% si tiene el sentimiento de comodidad y tranquilidad para utilizar los filtros de agua para consumo humano.

Esta confianza se patentiza aún más, considerando que el mismo 98% de la población declaró que si contara con un filtro de agua en su hogar lo utilizaría sin duda alguna.

Todas estas características son necesarias tomarlas en consideración, de cierta manera esta primera fase de acercamiento con la población y la identificación de necesidades, son los inicios de la cocreación.

Conclusiones

Un factor determinante para lograr la accesibilidad por parte de la población es el nivel de relevancia que tiene el tema de la disponibilidad y calidad de agua en la comunidad, considerando que es sobre esta materia que se entabla la cocreación. Integrar a la población en el proceso, sin duda es fundamental

Agradecimientos

Al proyecto Desarrollo de filtros versátiles para el tratamiento de aguas en territorios vulnerables de la parte alta de la cuenca del río Samalá, financiado por el Gobierno de Navarra, España. Por la facilitación de información para la validación de este artículo.

Bibliografía

CATIE. (2,024). *Sistema de Información Municipal de Seguridad Alimentaria y Nutricional* .

Obtenido de <https://sancristobaltotonicapan.simsan.org.gt/wp-content/uploads/2024/08/San-Cristobal-Totonicapan.pdf>

Chanax, F. S. (06 de Agosto de 2024). Accesibilidad para utilizar cosechadores de agua de lluvia . (Y. P. Hernández, Entrevistador)

María del Rosario Atuesta Venegas, A. F. (2015). Co-creación como metodología para la apropiación social de la ciencia y tecnología (ASCYT) del recurso agua. Caso Urabá-Antioqueño - Colombia. *El Agora USB*, 277 - 286.

Proyecto de Desarrollo de Filtros Versátiles para tratamiento de agua para territorios vulnerables, formación básica y aplicaciones. (primera fase). (2,025). *Diagnostico de Fuentes de Abastecimiento de la Cuenca Alta del Río Samalá* . Quetzaltenango, Guatemala .

Rodríguez, J. L. (2021). *ACEPTACIÓN DEL CONSUMIDOR DE LAS EXTENSIONES DE MARCA BIO: MARCAS MAINSTREAM VS. MARCAS NATIVAS*. Madrid :