

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Eficiencia del filtro lento de arena y carbón activo de Attalea
phalerata y Mauritia flexuosa en el tratamiento del agua de la
CCNN Shukshuyaku**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniera Ambiental

Autor:

Ana Cristhina Aquino Alvarado

Asesor:

Ing. Jhon Patrick Ríos Bartra

Tarapoto, Octubre 2021

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Jhon Patrick Ríos Bartra, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EFICIENCIA DEL FILTRO LENTO DE ARENA Y CARBÓN ACTIVO DE ATTALEA PHALERATA Y MAURITIA FLEXUOSA EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE LA CCNN SHUKSHUYAKU”** constituye la memoria que presenta la Bachiller Ana Cristhina Aquino Alvarado para obtener el título de Profesional de Ingeniera Ambiental cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Tarapoto, a los 12 días del mes de Octubre del año 2021



Jhon Patrick Ríos Bartra

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En San Martín, Tarapoto, Morales, a...4..... día(s) del mes de.....octubre.....del año 20..21. siendo las....09:30...horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mtra. Katterin Jina Luz Pinedo Gómez....., el (la) secretario(a): Ing. Juana Elizabeth Vásquez Vásquez.....y los demás miembros: Dr. Víctor Hugo Muñoz Delgado.....

.....y el (la) asesor(a) Ing. Jhon Patrick Rios Bartra..... con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Eficiencia del filtro lento de arena y carbón activo de Attalea phalerata y Mauritia flexuosa en el tratamiento del agua de la CCNN Shukshuyaku.

.....del(los) bachiller/es: a) Ana Cristhina Aquino Alvarado

.....b).....

.....c).....

.....conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Ambiental

(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller-(a): Ana Cristhina Aquino Alvarado

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	20	A+	Excelente	Excelencia

Bachiller -(b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

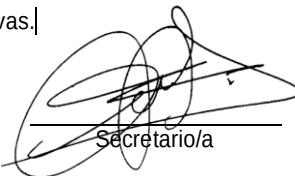
Bachiller -(c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.]

Presidente/a



Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Bachiller (a)

Bachiller (b)

Bachiller (c)

(*) Tabla de Calificación

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	20	A+	Con nominación de Excelente	Excelencia
	19	A		
	18	A-	Con nominación de Muy Bueno	Sobresaliente
	17	B+		
	16	B	Con nominación de Bueno	Muy Bueno
	15	B-		
	14	C	Con nominación de Aceptable	Bueno
DESAPROBADO	Menos de 14	D	Con nominación de Deficiente	Insuficiente

Eficiencia del filtro lento de arena y carbón activo de *Attalea phalerata* y *Mauritia flexuosa* en el tratamiento del agua de la CCNN Shukshuyaku

Efficiency of the slow filter of sand and activated carbon of *Attalea phalerata* and *Mauritia flexuosa* in the water treatment of the Shukshuyaku NNCC

Ana Cristhina Aquino Alvarado¹ Jhon Patrick Ríos Bartra²

RESUMEN

Objetivo

Evaluar la eficiencia del filtro lento de arena y carbón activo de *Attalea phalerata* y del filtro lento de arena y carbón activo de *Mauritia flexuosa* en tratamiento del agua de la Comunidad Nativa Shukshuyaku, proveniente del manantial Rumisillo.

Método

Esta investigación busca determinar la relación que existe entre la calidad de agua y eficiencia de sistemas de filtrado con carbón activo. Para esto es necesario producir de manera artesanal carbón activo de shapaja y aguaje; además se construye a escala piloto 3 sistemas de filtros lentos. Las pruebas se hacen con 3 repeticiones y las muestras de agua se analizan en un laboratorio acreditado por INACAL.

Resultados

El filtro lento de arena sílica presenta una eficiencia máxima del 5.11% en la regulación de pH. Los filtros lentos de arena sílica + carbón activo de shapaja y arena sílica + carbón activo de aguaje, tienen una eficiencia máxima de de 99.89% en la remoción de coliformes termotolerantes; mientras que el filtro lento de arena sílica + carbón activo de shapaja obtuvo una eficiencia de 99.93% en la reducción de coliformes totales.

Conclusiones

Los sistemas de filtros lentos de arena y carbón activo son altamente eficientes en la reducción de coliformes totales y coliformes termotolerantes.

Palabras Clave

Filtro lento de arena, carbón activo, shapaja, aguaje.

ABSTRACT

Objective

To evaluate the efficiency of the *Attalea phalerata* slow sand and active carbon filter and the *Mauritia flexuosa* slow sand and active carbon filter in the treatment of the water of the Shukshuyaku Native Community, from the Rumisillo spring.

Method

This research seeks to determine the relationship between water quality and efficiency of active carbon filtration systems. For this it is necessary to produce in a handmade way active carbon of shapaja and aguaje; in addition, 3 systems of slow filters are built at a pilot scale. The tests are done with 3 repetitions and the water samples are analyzed in a laboratory accredited by INACAL.

Results

The slow silica sand filter has a maximum efficiency of 5.11% in pH regulation. The silica sand slow filter + shapaja active carbon and silica sand + aguaje active carbon have a maximum efficiency of 99.89% in the removal of thermotolerant coliforms; while the silica sand slow filter + shapaja active carbon obtained a 99.93% efficiency in the reduction of total coliforms.

Conclusions

Slow sand and activated carbon filter systems are highly efficient in reducing total coliforms and thermotolerant coliforms.

Keywords

Slow sand filter, active carbon, shapaja, aguaje.

¹ Bachiller en Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión. Actualmente se desempeña como Especialista Ambiental en el Gobierno Regional de San Martín. Moyobamba, Perú.

² Ingeniero Geógrafo y Ecológico de la Universidad Alas Peruanas. Actualmente se desempeña como Docente Universitario en la Universidad Peruana Unión. Tarapoto, Perú.

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable es esencial para el desarrollo de las poblaciones humanas; por lo que se le considera como un derecho humano elemental. La inaccesibilidad a fuentes de agua potable, junto con la poca disponibilidad de sistemas de saneamiento básico, representan uno de los problemas de salud pública más críticos a nivel mundial (Rickert et al., 2016). Es por ello que para Villena (2018): “Los esfuerzos para lograr cobertura universal son mundialmente prioritarios, no obstante, es necesario que el servicio sea continuo, de calidad y de bajo costo” (p. 306).

En consecuencia, en el Perú, el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) ha realizado denodados esfuerzos para reducir la brecha de acceso al agua potable. Sin embargo, Chávez (2019) señala que actualmente: “88 obras de agua y saneamiento, equivalentes a 1714 millones de soles, están paralizadas a causa de deficiencias en la elaboración del expediente técnico (49 %), incumplimiento contractual por parte del contratista (29 %), deficiencia administrativa de la Unidad Ejecutora de Inversiones (UEI) y conflictos sociales (7 %)” (p.1).

Es por ello que, a la fecha, en el país se tiene que el 23,7% de la población del área rural no tiene acceso a agua por red de distribución pública, de las cuales el 15,0% acceden a agua por río, acequia o manantial, lo que se conoce como “agua entubada”; la cual no tiene ningún tipo de tratamiento, por lo que no se garantiza una calidad de agua adecuada en zonas rurales (INEI, 2020).

Ante esta necesidad, la gestión para el abastecimiento adecuado de agua potable en zonas rurales depende en gran mayoría de la participación de las comunidades en el uso y administración del recurso hídrico. Siendo así, en Perú se registra un total de 26,792 sistemas de abastecimiento de agua para comunidades rurales, de las cuales el 91.7% son de administración comunal

(Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2020).

Estos sistemas de abastecimiento de agua se utilizan en zonas rurales en cuyas fuentes de agua no existe una abundante presencia de materiales coloidales, como en el caso de la Comunidad Nativa de la etnia Kechwa “Shukshuyaku”, ubicada en la provincia de Lamas, departamento de San Martín; la cual se abastece del agua del manantial Rumisillo, que se encuentra ubicado a 1.34 km de distancia.

A pesar de que se ha nombrado una Junta Administradora de Servicio y Saneamiento (JASS) para la Comunidad Nativa Shukshuyaku, la captación del agua para consumo humano se realiza de manera artesanal en un estanque construido por los pobladores directamente sobre el terreno; estando así el agua expuesta a animales silvestres y donde se ha podido identificar presencia de larvas, renacuajos e insectos. Este sistema de abastecimiento cuenta además con un desarenador, reservorio y dosificador de cloro, que de acuerdo al Apu (líder) de la Comunidad Nativa, no funcionan hace ya varios años por falta de mantenimiento; con lo que la población consume prácticamente “agua entubada” (L. Amasifuén, comunicación personal, 16 de diciembre de 2020). Siendo así, en Shukshuyaku se ha registrado un alto índice de enfermedades gastrointestinales y parasitarias (Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático, 2015).

A nivel mundial se han realizado diversas investigaciones con la finalidad de contribuir a solucionar esta problemática; como el caso de Torres et al. (2018), que emplearon un sistema de doble filtración con carbón activo granular de cáscara de coco para la remoción de turbiedad y materia orgánica disuelta del agua de Puerto Mallarino – Colombia. Este método de filtración con carbón activo, demostró una alta eficiencia en la disminución de la turbiedad (<0.30 NTU), lo que indicó una alta tasa de efectividad en la eliminación de *Giardia lamblia* y

Cryptosporidium. Esto podría favorecer la remoción de virus y bacterias en una etapa de desinfección posterior. Siendo así, los resultados demuestran que la doble filtración con carbón activo granular de cáscara de coco, puede ser una alternativa eficiente para la remoción de materia orgánica y la producción de un agua potable segura.

Por otra parte, Aguilar (2019), construyó en la localidad de Chunchiwi, departamento de San Martín, una microplanta para el tratamiento de agua cruda de la quebrada Huairuro Yacu, mediante la implementación de un filtro lento de arena como medio de desinfección bajo condiciones controladas. Pretendió en su investigación regular y/o reducir las concentraciones de pH, turbiedad, Coliformes totales, Coliformes fecales (termotolerantes) y *Escheria Coli*, presentes en el agua destinada para consumo humano en dicha localidad. El filtro lento de arena obtuvo una eficiencia de 83.53% en la remoción de Coliformes totales, un 99.70% en la remoción de Coliformes fecales (termotolerantes) y un 31.6% para *E. Coli*. Demostrando así que dicho sistema de filtración puede ser muy útil para en el tratamiento de parámetros microbiológicos a nivel rural.

De igual modo, Ruiz y Orbegoso (2019) trataron agua residual proveniente del distrito de la Habana – Moyobamba, mediante la aplicación de carbón activo en polvo de *Cocos nucifera* y *Mauritia flexuosa*, carbonizados a diferentes temperaturas y activados con una solución de ácido fosfórico a un 85% de concentración. Con este método se logró una eficiencia del 100% en la disminución de DBO₅.

Por otra parte, Infante (2017) diseñó y construyó 3 filtros de carbón activo granular de tipo industrial NORIT®GAC 1240 W, para mejorar la calidad del agua proveniente de tres manantiales ubicados en el caserío Maraynillo – Cajamarca; con los cuales consiguió una remoción total de Coliformes Termotolerantes y Coliformes Totales, regulación del pH y color

verdadero hasta el límite de cuantificación de métodos de laboratorio y además alcanzó un 97.46% de remoción de la turbidez, logrando así, obtener agua purificada apta para consumo humano.

Las investigaciones demuestran que es posible utilizar filtros lentos de arena en la potabilización de agua, ya que estos han demostrado alta eficiencia en la regulación de parámetros microbiológicos de cuerpos de agua superficial (Blacio & Palacios, 2011). De la misma manera, se considera necesario el uso de carbón activo como parte del lecho filtrante, ya que este es eficiente al momento de regular parámetros relacionados con la presencia de microorganismos en el agua (Torres et al., 2018).

En la actualidad no existen investigaciones donde se hayan utilizado un sistema de filtración mixto (arena y carbón activo) para el tratamiento de agua en zonas rurales, con el cual pueda tratarse los Parámetros de Control Obligatorio para agua de consumo humano (PCO) (RD N°160-2015.DIGESA: Protocolo de Procedimientos Para La Toma de Muestras, Preservación, Conservación, Transportes, Almacenamiento y Recepción de Las Muestras de Agua Para Consumo Humano, 2015).

Siendo así, en esta investigación se planteó obtener carbón activo granular a base de semillas de palmeras propias de la región San Martín y de fácil acceso en zonas rurales, como es el caso de la *Attalea phalerata* y *Mauritia flexuosa*; además de construir, a escala piloto, un filtro lento de arena para cada tipo de carbón activo granular, que permita tratar el agua de la Comunidad Nativa Shukshuyaku, proveniente del manantial Rumisillo y reducir los niveles de pH, turbiedad, color y la concentración de coliformes totales y coliformes termo tolerantes presentes en ella; con la finalidad de evaluar la eficiencia de cada uno de estos filtros.

MATERIALES Y MÉTODO

Ubicación del área de estudio

La Comunidad Nativa Shukshuyaku se encuentra ubicada en el flanco oriental de los andes del Perú, y en la parte alta de la cuenca del río Cumbaza. Políticamente pertenece al distrito y provincia de Lamas, región San Martín. Se ubica a una altitud que va desde los 500-750 m.s.n.m. Su zona urbana se encuentra dentro del territorio comunal ubicado entre las quebradas Supishiña y Shukshuyaku.

El núcleo poblacional se encuentra en las coordenadas UTM (Datum WGS 84 18 Sur) 335121 E, y 9289623 N; a una altitud de 548 m.s.n.m. (Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático, 2015).

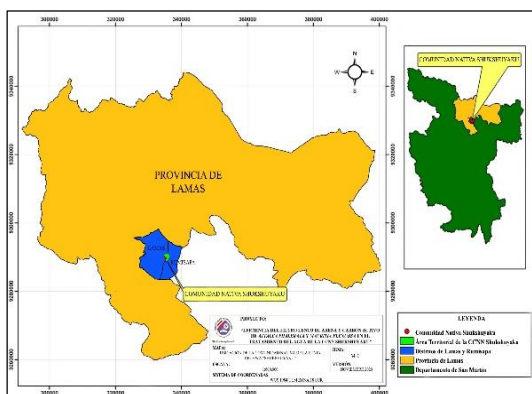


Figura 1

Ubicación del área de estudio

Preparación del carbón activo

Para producir el carbón activo de *Attalea phalerata* (Shapaja) y *Mauritia flexuosa* (Aguaje) se utilizó la metodología validada propuesta por Zamora (2010).

A continuación, se detallan los procedimientos realizados:

1. Se pesó en una balanza, 12 kilos de semilla de Shapaja, provenientes de San Pedro de Cumbaza y 12 kilos de semilla de Aguaje, provenientes de Yurimaguas.
2. Seguidamente, las semillas de shapaja y aguaje, fueron limpiadas y secadas por separado a temperatura ambiente por 7 días sobre papel Kraft y bajo sombra.

3. Luego, las semillas se secaron en estufa a 110°C por 24 horas para eliminar cualquier rastro de humedad.
4. Siguiendo con el proceso, las semillas separadas por tipo, se colocaron dentro de una paila y se carbonizaron sobre un hornillo calentado por combustible sólido (leña) por un lapso de 3 horas.



Figura 2

Proceso de carbonización de *Attalea phalerata*.

5. El carbón producido se pesó y trituró por separado en un molino de discos manual y fue luego tamizado, para lo cual se utilizaron tamices ASTM buscando obtener una fracción granular: + 16 (partículas > 1,18 mm).
6. A continuación, se realizó el proceso de impregnación química, que consistió en colocar las semillas en recipientes de polietileno de alta densidad y remojarlas (separadas por tipo) en una solución de ácido fosfórico (H_3PO_4) al 85% de concentración, con un índice de impregnación de 1:1 (1 kg de semillas con 1 litro de agente activante al 85% para cada tipo de semilla) durante 24 horas.
7. Luego del proceso de impregnación se activó el carbón, para lo cual fue colocado en una paila y cocido en un hornillo alimentado por combustible sólido (leña) por un lapso de 2 horas.

8. Finalmente, el carbón activo se lavó con agua destilada caliente a 80°C (por separado según su tipo) y se secó a temperatura ambiente por un periodo de 24 horas.



Figura 3
Carbón activo granular de *Attalea phalerata* y *Mauritia flexuosa*.

9. El rendimiento de la producción de carbón se determinó con la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento (\%R)} = \frac{\text{Masa seca de carbón activado}}{\text{Masa seca de materia prima}} \times 100$$

Construcción del filtro lento de arena a escala piloto

Tomando en cuenta la Norma Técnica OS.020: Plantas de Tratamiento de Agua para Consumo Humano (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006), se construyeron a escala piloto, 3 sistemas de filtración 1 con arena sílica, grava y carbón activo de shapaja, 1 con arena sílica, grava y carbón activo de aguaje y 1 con grava y arena sílica como grupo de control.

Además, se realizaron 3 repeticiones por filtro para asegurar la confiabilidad de los resultados.

Para construir los filtros se realizaron los siguientes procedimientos:

1. Se realizó una perforación de 1/4" de diámetro en la parte inferior frontal de un contenedor de PVC de 21 litros de capacidad.

2. Se instaló una tubería de 1/4" de 0.25 m. de longitud, de forma de que en la perforación previamente realizada en el contenedor de PVC de 36.00 x 35.00 x 33.00 cm. Esta tubería tuvo 10 orificios de 2 mm. cada 2.4 cm. Lo cual sirvió para conducir el agua filtrada a la unidad de almacenamiento.
3. Se instaló en un extremo de la tubería una llave de 1/8" para recolectar el agua filtrada.
4. Se agregó a la unidad de filtrado un lecho de 5 cm de alto de grava redondeada de 3 a 5 cm de diámetro, 3 cm de alto de soporte de gravilla sílica de 3/16" de diámetro, 10 centímetros de arena sílica de 1/16" a 1/32" de diámetro, 5 cm de carbón activo granular (solo en el caso de dos filtros) y 3 cm de alto de gravilla sílica de 1/8" de diámetro.



Figura 4
Proceso de fabricación de los filtros.

Reconocimiento de campo y ubicación de punto de muestreo

Se procedió a visitar el manantial Rumisillo, ubicado en las coordenadas UTM (Datum WGS 84 18 Sur) 336218 E, y 9290456 N; a una altitud de 655 m.s.n.m., a 1.34 km en dirección nor-este del núcleo poblacional de la Comunidad Nativa Shukshuyaku.

Para definir la ubicación del punto de muestreo, se tomó en cuenta lo establecido en la R.D. N° 160-2015-DIGESA: "Protocolo de Procedimientos

Eficiencia del filtro lento de arena y carbón activo de *Attalea phalerata* y *Aquino, A. y Ríos, J Mauritia flexuosa* en el tratamiento del agua de la CCNN Shukshuyaku

para la Toma de Muestras, Preservación, Conservación, Transporte, Almacenamiento y Recepción de Agua para Consumo Humano”; por lo que se decidió muestrear en la captación del manantial Rumisillo, ya que este constituye un “Punto de Interés Colectivo”, pues la poza artesanal donde se capta el agua está completamente expuesta a la intemperie, animales silvestres y suciedad; además de que las unidades de tratamiento de agua existentes (desarenador y sistema de cloración) están inoperativas hace varios años, por lo que la población consume agua entubada.



Figura 5
Manantial Rumisillo – CCNN Shukshuyaku

Toma de muestras

Una vez identificado el punto de muestreo se procedió a tomar 82 litros de agua; 1 litro para caracterización (distribuido en 3 envases de PVC provistos por el laboratorio) y 81 litros para el experimento (en un contenedor de polietileno de alta densidad), de acuerdo a los protocolos de muestreo establecidos en la R.D. N° 160-2015-DIGESA.

Experimento

El experimento consistió en filtrar el agua del manantial Rumisillo en cada uno de los filtros construidos de acuerdo al siguiente detalle:

Tabla 1
Muestra por tipo de filtro

Tratamiento	Repeticiones	Cant. de muestra
	1	3 l.

Filtro de	2	3 l.
Arena Sílica	3	3 l.
Filtro de	1	3 l.
Arena Sílica y	2	3 l.
Carbón		
Activo de	3	3 l.
Shapaja		
Filtro de	1	3 l.
Arena Sílica y	2	3 l.
Carbón		
Activo de	3	3 l.
Aguaje		

Se utilizó el filtro arena sílica como grupo de control para determinar si existe o no diferencias significativas en el tratamiento del agua al agregar carbón activo como material de lecho filtrante.

Para cada una de las repeticiones fue necesario hacer un lavado del lecho filtrante y además cambiar el carbón activo. Cada proceso de filtrado tuvo un tiempo de retención hidráulico de 20 minutos.



Figura 6
Proceso de filtrado del agua del manantial Rumisillo

Análisis de laboratorio

Los parámetros evaluados (color, turbiedad, pH, coliformes totales y coliformes termotolerantes) fueron seleccionados en función a los Parámetros de Control Obligatorio de la R.D. N° 160-2015-DIGESA. Las muestras se enviaron al laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL): Inspection & Testing Services del Perú

Eficiencia del filtro lento de arena y carbón activo de *Attalea phalerata* y *Mauritia flexuosa* en el tratamiento del agua de la CCNN Shukshuyaku *Aquino, A. y Ríos, J*

SAC, para la realización de los siguientes ensayos:

Tabla 2
Ensayos de Laboratorio Requeridos

Parámetro	Método de Ensayo
Color	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23rd Ed.
Turbiedad:	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed.
pH	EPA 150.1 . 1982. pH (Electrometric).
Coliformes Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B y C, 23rd Ed.
Coliformes Fecales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E 1, 23rd Ed.

De la misma manera, las muestras se distribuyeron considerando los requerimientos del laboratorio, de la siguiente manera:

Tabla 3
Distribución de Muestras

Procedencia	Repetición	Cód.	Cnt.	Ensayo
Caracterización	-	A1	250 ml	Color y Turbiedad
		A2	250 ml	pH
		A3	500 ml	C. Totales y C. Fecales
Filtro de Arena Sílica	1	B1.1	250 ml	Color y Turbiedad
		B1.2	250 ml	pH
		B1.3	500 ml	C. Totales y C. Fecales
	2	B2.1	250 ml	Color y Turbiedad
		B2.2	250 ml	pH
		B2.3	500 ml	C. Totales y C. Fecales
	3	B3.1	250 ml	Color y Turbiedad
		B3.2	250 ml	pH

Filtro de Arena Sílica y Carbón Activo de Shapaja	1	B3.3	500 ml	C. Totales y C. Fecales
		C1.1	250 ml	Color y Turbiedad
		C1.2	250 ml	pH
	2	C1.3	500 ml	C. Totales y C. Fecales
		C2.1	250 ml	Color y Turbiedad
		C2.2	250 ml	pH
	3	C2.3	500 ml	C. Totales y C. Fecales
		C3.1	250 ml	Color y Turbiedad
		C3.2	250 ml	pH
Filtro de Arena Sílica y Carbón Activo de Aguaje	1	C3.3	500 ml	C. Totales y C. Fecales
		D1.1	250 ml	Color y Turbiedad
		D1.2	250 ml	pH
	2	D1.3	500 ml	C. Totales y C. Fecales
		D2.1	250 ml	Color y Turbiedad
		D2.2	250 ml	pH
	3	D2.3	500 ml	C. Totales y C. Fecales
		D3.1	250 ml	Color y Turbiedad
		D3.2	250 ml	pH
		D3.3	500 ml	C. Totales y C. Fecales

Análisis de datos

El análisis descriptivo del proyecto, se centró en la comparación de los resultados de los análisis de laboratorio de acuerdo a los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en el D.S.

Eficiencia del filtro lento de arena y carbón activo de *Attalea phalerata* y *Mauritia flexuosa* en el tratamiento del agua de la CCNN Shukshuyaku Aquino, A. y Ríos, J

N° 031-2010-SA (Reglamento De Calidad Del Agua Para Consumo Humano, 2010).

De la misma manera, se utilizó la prueba de Tukey con la finalidad de comparar las medias individuales provenientes de un análisis de varianza.

Finalmente, para determinar la eficiencia de cada sistema de filtrado en la regulación/remoción del color, turbiedad, pH, coliformes totales y coliformes termotolerantes presentes en el agua se empleó la siguiente fórmula:

$$E = \frac{(C.inicial - C.final)}{C.inicial} \times 100$$

Donde:

C = concentración del parámetro de calidad de agua.

RESULTADOS

1. Se obtuvo un total de 8 kilos de carbón activo granular de *Mauritia flexuosa* (aguaje) y 6 kilos de *Attalea phalerata* (shapaja), lo cual representa un rendimiento del 67% y 50% respectivamente.



Figura 7
Carbón activo granular de *Mauritia flexuosa*

2. Se construyeron a escala piloto, en recipientes transparentes de polietileno de alta densidad de 21 l. un (1) filtro lento de arena sílica y carbón activo de *Mauritia flexuosa*, (1) filtro lento de arena sílica y carbón activo de *Attalea phalerata* y un (1) filtro lento de arena sílica; de

acuerdo a las especificaciones técnicas del diseño propuesto.

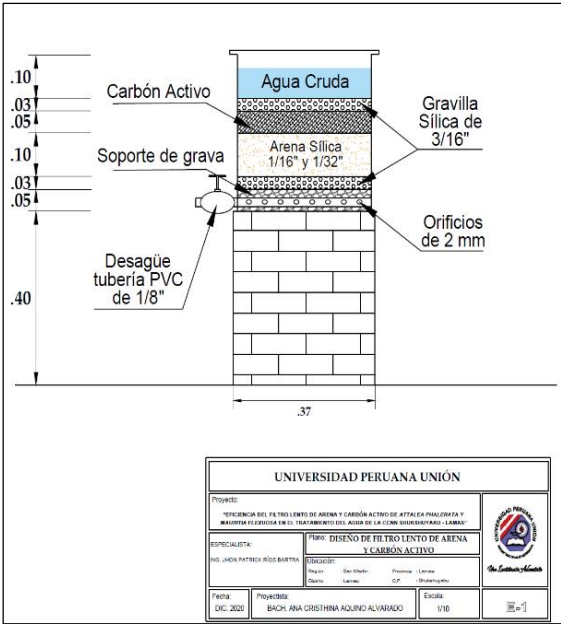


Figura 8
Diseño del filtro lento de arena sílica carbón activo granular

3. El agua del manantial Rumisillo presenta las siguientes características organolépticas y microbiológicas:

Tabla 4
Caracterización del agua del Manantial Rumisillo

Descripción	Parámetro	Resultado	Und.
Caracterización	Color Verdadero	<1	Escala Pt/Co
	Turbiedad	<0.5	NTU
	pH	6.46	Valor de pH
	Coliformes Totales	2400	UFC/100ml
	Coliformes Termotolerantes	1600	UFC/100ml

De acuerdo a lo establecido el en el D.S. N°031-2010-SA, el agua del Manantial incumple con los valores recomendados para pH (6.5 – 8.5), coliformes totales (0 UFC/100ml) y coliformes Termotolerantes (0 UFC/100ml); por lo que se considera que esta agua no es apta para consumo humano.

4. El tratamiento con filtro lento de arena sílica obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 5

Tratamiento con Filtro lento de arena sílica

Parámetro	R1	R2	R3	Und.
Color Verdadero	<1	<1	<1	Escala Pt/Co
Turbiedad	<0.5	<0.5	<0.5	NTU
pH	6.74	6.73	6.79	Valor de pH
Coliformes Totales	2400	2400	2400	UFC/100ml
Coliformes Termotolerantes	1600	1600	1600	UFC/100ml

El filtro lento de arena sílica logró incrementar ligeramente el valor de pH en las 3 repeticiones, con lo que se obtuvo una eficiencia de 4.33%, 4.18% y 5.11% respectivamente; aun así, con esto se pudo obtener valores aceptables dentro del D.S. N°031-2010-SA. Asimismo, el color verdadero y la turbidez no fueron alterados pues ya se encontraban dentro de los valores óptimos para agua de consumo humano.

Por otra parte, los parámetros microbiológicos no se vieron afectados en lo más mínimo, con lo que se determina que este filtro tiene una eficiencia del 0% en remoción de coliformes totales y termotolerantes.

5. El tratamiento con filtro lento de arena sílica y carbón activo granular de *Attalea phalerata* obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 6

Tratamiento con Filtro lento de arena sílica y carbón activo granular de *Attalea phalerata*

Parámetro	R1	R2	R3	Und.
Color Verdadero	<1	<1	<1	Escala Pt/Co

Turbiedad	<0.5	<0.5	<0.5	NTU
pH	3.5	3.74	3.99	Valor de pH
Coliformes Totales	<1.8	<1.8	<1.8	UFC/100ml
Coliformes Termotolerantes	<1.8	<1.8	<1.8	UFC/100ml

El filtro lento de arena sílica y carbón activo granular de *Attalea phalerata* disminuyó el valor de pH en las 3 repeticiones, logrando una eficiencia del 0% en la regulación de este parámetro con lo que no se pudo obtener valores aceptables dentro del D.S. N°031-2010-SA. Se atribuye este fenómeno a la activación química del carbón con H_3PO_4 lo cual acidificó el carbón, influyendo en el pH del agua. Por otra parte, el color verdadero y la turbidez no fueron alterados pues ya se encontraban dentro de los valores óptimos para agua de consumo humano.

Sin embargo, se consiguió una alta eficiencia en la remoción de coliformes totales con un 99.93% y en la remoción de coliformes termotolerantes con un 99.89%.

6. El tratamiento con filtro lento de arena sílica y carbón activo granular de *Mauritia flexuosa* obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 7

Tratamiento con Filtro lento de arena sílica y carbón activo granular de *Mauritia flexuosa*

Parámetro	R1	R2	R3	Und.
Color Verdadero	<1	<1	<1	Escala Pt/Co
Turbiedad	<0.5	<0.5	<0.5	NTU
pH	3.56	3.87	3.98	Valor de pH
Coliformes Totales	<1.8	<1.8	4.5	UFC/100ml

Colifor mes Termo toleran tes	<1.8	<1.8	<1.8	UFC/1 00ml
---	------	------	------	---------------

El filtro lento de arena sílica y carbón activo granular de *Mauritia flexuosa* disminuyó el valor de pH en las 3 repeticiones, logrando una eficiencia del 0% en la regulación de este parámetro con lo que no se pudo obtener valores aceptables dentro del D.S. N°031-2010-SA. Al igual que en el filtro lento de arena sílica y carbón activo granular de *Attalea phalerata*, se atribuye este fenómeno a la activación química del carbón con H_3PO_4 lo cual acidificó el carbón, influyendo en el pH del agua. Por otra parte, el color verdadero y la turbidez no fueron alterados pues ya se encontraban dentro de los valores óptimos para agua de consumo humano. Sin embargo, se consiguió una alta eficiencia en la remoción de coliformes totales con un 99.81% y en la remoción de coliformes termotolerantes con 99.89%.

7. Los resultados de las pruebas estadísticas se muestran a continuación:

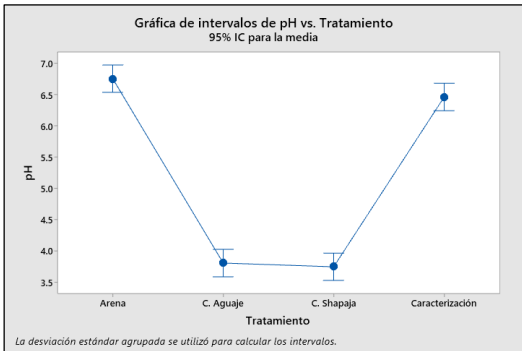


Figura 9
Gráfica de intervalos pH vs. tratamientos

La media de los valores de pH obtenidos en las 3 repeticiones del tratamiento de filtro lento de arena sílica (6.7), se encuentran más cerca al valor de pH de la caracterización (6.46) y lo elevaron ligeramente.

Mientras que los tratamientos que incluyen el uso de carbón activo, disminuyeron el valor del pH inicial.

Tabla 8
Prueba de Tukey – pH

Tratami ento	N	Media	Agrupación
Arena	3	6.7533	A
Caracte rización	3	6.460	A
C. Aguaje	3	3.803	B
C. Shapaja	3	3.743	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El tratamiento de filtro lento de arena sílica es el que se agrupa mejor con el valor inicial de pH; lo cual en este caso es bueno, pues este valor estaba cerca del óptimo de acuerdo al D.S. N°031-2010-SA.

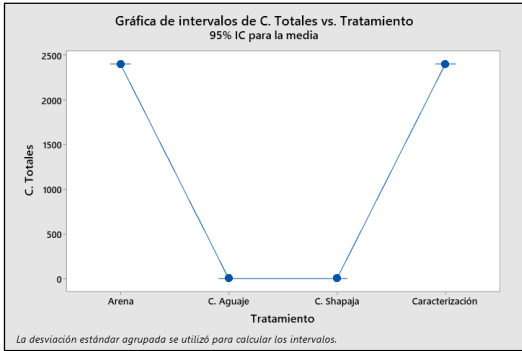


Figura 10
Gráfica de intervalos C. Totales vs. Tratamientos

La media de los valores de coliformes totales obtenidos en las 3 repeticiones del tratamiento de filtro lento de arena sílica + carbón activo de shapaja (1.8 UFC/100 ml) y del tratamiento de filtro lento de arena sílica + carbón activo de aguaje (2.7 UFC/100 ml) presentan una diferencia altamente significativa con respecto al tratamiento de filtro con arena sílica que mantuvo estos valores iguales a los de la caracterización. Se considera que el filtro lento de arena sílica + carbón activo de shapaja es más eficiente en

la reducción de los coliformes totales presentes en el agua.

Tabla 9
Prueba de Tukey – C. Totales

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Arena	3	2400	A
Caracterización	3	2400	A
C. Aguaje	3	2.70	B
C. Shapaja	3	1.80	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Los tratamientos de filtro lento de arena sílica + carbón activo de shapaja y del tratamiento de filtro lento de arena sílica + carbón activo de aguaje han logrado reducir notablemente la concentración de coliformes totales, estos valores se agrupan al mismo nivel, aunque se puede observar que el tratamiento de filtro lento de arena sílica + carbón activo de shapaja fue ligeramente más eficiente. Por otra parte, el tratamiento de filtro lento de arena sílica no fue nada eficiente en la remoción de coliformes totales pues se agrupa con los valores de la caracterización del agua.

de shapaja y del tratamiento de filtro lento de arena sílica + carbón activo de aguaje, son iguales (1.8 UFC/100 ml) y presentan una diferencia altamente significativa con respecto al tratamiento de filtro con arena sílica que mantuvo estos valores iguales a los de la caracterización.

Tabla 10
Prueba de Tukey – C. Termotolerantes

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Arena	3	1600	A
Caracterización	3	1600	A
C. Aguaje	3	1.80	B
C. Shapaja	3	1.80	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Los tratamientos de filtro lento de arena sílica + carbón activo de shapaja y del tratamiento de filtro lento de arena sílica + carbón activo de aguaje han logrado reducir notablemente la concentración de coliformes termotolerantes, por lo que se agrupan en el mismo nivel de eficiencia; mientras que el tratamiento de filtro lento de arena sílica, se agrupa con los valores de la caracterización al no haber logrado reducir en lo más mínimo la concentración de coliformes termotolerantes.

CONCLUSIONES

1. La caracterización del agua del manantial Rumisillo de muestra que su calidad microbiológica, la vuelve no apta para consumo humano.
2. El tratamiento con filtro lento de arena sílica, incrementa ligeramente el valor de pH logrando así que se encuentre

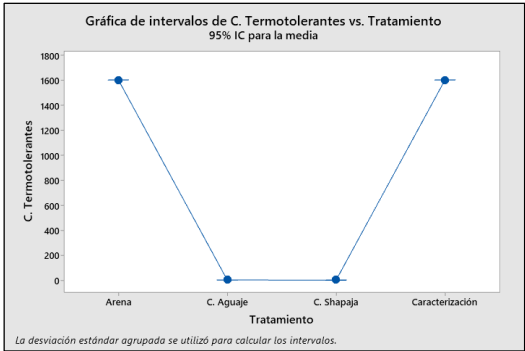


Figura 11
Gráfica de intervalos C. Termotolerantes vs. Tratamientos

La media de los valores de coliformes termotolerantes obtenidos en las 3 repeticiones del tratamiento de filtro lento de arena sílica + carbón activo

dentro de los valores aceptables de los LMP.

3. El tratamiento con filtro lento de arena sílica es completamente ineficiente en la remoción o disminución de coliformes totales y coliformes termotolerantes.
4. Los tratamientos de filtro lento de arena sílica + carbón activo de shapaja y del tratamiento de filtro lento de arena sílica + carbón activo de aguaje son ineficientes en la regulación del pH.
5. El tratamiento de filtro lento de arena sílica + carbón activo de shapaja es el más eficiente en la reducción de coliformes totales.
6. Los tratamientos de filtro lento de arena sílica + carbón activo de shapaja y del tratamiento de filtro lento de arena sílica + carbón activo de aguaje son altamente eficientes en la reducción de coliformes termotolerantes.

REFERENCIAS

Aguilar, W. (2019). *Evaluación de la calidad de agua para consumo humano obtenida en una microplanta utilizando filtro lento de arena en la comunidad nativa de Chunchiwi - Lamas - región San Martín*. http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1566/WOAH_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Blacio, D., & Palacios, J. (2011). *Filtros Biológicos para la Potabilización del Agua, Posibilidades de Uso de FLA (Filtros Lentos de Arena) con Agua Superficial de Nuestra Región*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/751/1/ti878.pdf>

Chávez, R. (2019). Agua y saneamiento: Radiografía de un sector prioritario en el Perú. In *Stakeholders sostenibilidad* (p. 7). <http://stakeholders.com.pe/inform>

es/agua-saneamiento-radiografia-sector-prioritario-peru/

RD N°160-2015.DIGESA: Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transportes, almacenamiento y recepción de las muestras de agua para consumo humano, 23 (2015). http://www.digesa.minsa.gob.pe/normaslegales/normas/rd_160_2015_digesa.pdf

INEI. (2020). Perú: formas de acceso al agua y saneamiento básico. In *Boletín: Agua y Saneamiento* (Vol. 9). https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua.pdf

Infante, D. (2017). *Carbón Activo Granular, en la Mejora de la Calidad Del Agua Potable*. <https://core.ac.uk/download/pdf/154354083.pdf>

Reglamento De Calidad Del Agua Para Consumo Humano, 33 (2010). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/273650/reglamento-de-la-calidad-del-agua-para-consumo-humano.pdf>

Reglamento Nacional de Edificaciones, Plantas de tratamiento de agua para consumo humano 320505 (2006). <http://www3.vivienda.gob.pe/pnc/docs/normatividad/varios/Reglamento Nacional de Edificaciones.pdf>

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2020). *Sistema de Diagnóstico sobre Abastecimiento de Agua y Saneamiento en el Ámbito Rural*. <https://datass.vivienda.gob.pe/>

Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático. (2015). *Plan de Vida de la Comunidad Nativa Shukshuyacu : 2016-2020*.

Rickert, B., Chorus, I., & Schmoll, O. (Eds.). (2016). *Protecting Surface Water for Health. Identifying, Assessing and*

Managing Drinking-water Quality Risks in Surface-Water Catchments. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/246196/9789241510554-eng.pdf;jsessionid=4C55D4C51A1E0AE428F6FE283FF5550A?sequence=1>

bitstream/handle/UNALM/669/K50.Z2-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

anaaquino@upeu.edu.pe
jhon.rios@upeu.edu.pe

Ruiz, L., & Orbegoso, K. (2019). *Eficiencia del carbón activado obtenido a partir del endocarpo de "coco" (Cocos nucifera) y semilla de "aguaje" (Mauritia flexuosa), en la remoción de la DBO5 de las aguas residuales domésticas en el distrito de Habana – Moyobamba, 2018.* [http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3345/SANITARIA - Lenin Ruiz Valles %26 Kristill Yliany Orbegoso Alvarez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3345/SANITARIA-LeninRuizValles%26KristillYlianyOrbegosoAlvarez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Torres, P., Amezquita, C., Agudelo, K., Ortiz, N., & Martínez, D. (2018). Evaluation of turbidity and dissolved organic matter removal through double filtration technology with activated carbon TT - Evaluación de la remoción de turbiedad y materia orgánica disuelta mediante la tecnología de doble filtración con carbón activado. *Dyna*, 85(205), 234-239. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532018000200234&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v85n205/0012-7353-dyna-85-205-00234.pdf

Villena, J. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 304. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v35n2/a19v35n2.pdf>

Zamora, G. (2010). *Obtención de carbón activado a partir de semillas, de dos palmeras de la Amazonía Peruana, Shapaja (Atta/ea phalerta) y Aguaje (Mauritia flexuosa).* Tesis. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/>