

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



Una Institución Adventista

**Calidad de agua para consumo humano y su tratamiento
mediante un sistema de filtros en las captaciones de agua,
Ancash – Perú**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Mayra Marucela Chipana Meza
Nataly Matos Zavaleta

Asesor:

Mag. Joel Hugo Fernandez Rojas

Lima, 28 de octubre del 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Mg. Ing. Joel Hugo Fernandez Rojas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y SU TRATAMIENTO MEDIANTE UN SISTEMA DE FILTROS EN LAS CAPTACIONES DE AGUA, ANCASH – PERÚ”** constituye la memoria que presenta el (la) / los Bachiller(es) Mayra Marucela Chipana Meza y Nataly Matos Zavaleta para obtener el título de Profesional de Ingeniero 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 Lima, a los 28 días del mes de Octubre del año 2021.



Joel Hugo Fernandez Rojas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **28 días** día(s) del mes de **octubre** del año **2022** siendo **las 8:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio**, el secretario: **Ing. Orlando Alan Poma Porras**, y los demás miembros: **Ing. Cesar Asbel Aranda Castillo** y **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, y el asesor **Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Calidad de agua para consumo humano y su tratamiento mediante un sistema de filtros en las captaciones de agua, Ancash - Perú"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **MAYRA MARUCELA CHIPANA MEZA**

.....b) **NATALY MATOS ZAVALITA**.....

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(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 el(los)/la(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:

Candidato (a): **MAYRA MARUCELA CHIPANA MEZA**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B +	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

Candidato (b): **NATALY MATOS ZAVALITA**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B +	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

() Ver parte posterior*

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(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
Mg. Jackson Edgardo
Perez Carpio

Secretario
Ing. Orlando Alan
Poma Porras

Asesor
Mg. Joel Hugo
Fernández Rojas

Miembro
Ing. Cesar Asbel
Aranda Castillo

Miembro
Mg. Milda Amparo
Cruz Huaranga

Candidato/a (a)
Mayra Marucela
Chipana Meza

Candidato/a (b)
Nataly Matos Zavaleta

Calidad de agua para consumo humano y su tratamiento mediante un sistema de filtros en las captaciones de agua, Ancash – Perú

RESUMEN. Introducción: Las diversas actividades humanas vienen deteriorando la calidad del agua, este déficit se concentra en familias de bajos ingresos y grupos vulnerables. En el departamento de Ancash el 36.6% de la población vive en zonas rurales los cuales presentan mayor nivel de carencia al acceso a agua potable y saneamiento, siendo Parobamba uno de los distritos afectados. Objetivo: Evaluar la Calidad del agua para consumo humano y su tratamiento mediante un sistema de filtros en las captaciones de agua del distrito de Parobamba, Ancash-Perú. Metodología: En los años 2019 y 2020 se muestrearon 36 captaciones de agua para consumo humano en el distrito de Parobamba. De acuerdo a los resultados de laboratorio se identificó los parámetros que superan los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de calidad de agua. Posteriormente se implementó un sistema de filtros y lámpara UV para el tratamiento del agua

Resultados: En las captaciones de C1- Quichua, C2 – Ocopon y C2 – Pilanco II se obtuvo un porcentaje de remoción para concentraciones de Coliformes totales mayor de 93%, Coliformes fecales y Escherichia coli mayores al 85%, Bacterias heterotróficas y Organismos de vida libre mayor del 99%. En la remoción de Turbiedad se obtuvo valores mayores a 84%, Aluminio y Hierro mayores al 89% y Mercurio mayor al 85%. Conclusiones: Se determinó que el tratamiento de agua para consumo humano con el sistema de filtros múltiples es eficiente en la reducción de los parámetros de calidad, obteniendo valores aptos según el D.S N° 031-2010-SA.

Palabras clave: Calidad de agua, tratamiento, arena, carbón activado de coco, lámpara UV

ABSTRACT. Introduction: The various human activities have been deteriorating the quality of water, this deficit is concentrated in low-income families and vulnerable groups. In the department of Ancash, 36.6% of the population lives in rural areas, which have a higher level of lack of access to drinking water and sanitation, with Parobamba being one of the affected districts. Objective: To evaluate the quality of water for human consumption and its treatment through a filter system in the water intakes of the district of Parobamba, Ancash-Peru. Methodology: In the years 2019 and 2020, 36 water intakes for human consumption were sampled in the district of Parobamba. According to the laboratory results, the parameters that exceed the maximum permissible limits established in the water quality regulation were identified. Subsequently, a system of filters and a UV lamp was implemented for water treatment.

Results: In the catchments of C1- Quichua, C2 - Ocopon and C2 - Pilanco II, a removal percentage was obtained for concentrations of total coliforms greater than 93%, fecal coliforms and Escherichia coli greater than 85%, heterotrophic bacteria and living organisms. free greater than 99%. In the removal of Turbidity, values greater than 84%, Aluminum and Iron greater than 89% and Mercury greater than 85% were obtained. Conclusions: It was determined that the treatment of water for human consumption with the multiple filter system is efficient in reducing quality parameters, obtaining suitable values according to D.S No. 031-2010-SA.

Keywords: Water quality, treatment, sand, coconut activated carbon, UV lamp

Para el bienestar de los seres humanos es necesario consumir agua de calidad, para uso doméstico, producción de alimentos o recreación. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) a nivel mundial en el 2020 el 74% de la población contaba con agua para consumo humano de manera segura, accesible al momento y lugar en el que se necesitaba. Por otro lado, 368 millones de personas aún tienen suministro de agua procedente de pozos y manantiales no protegidos (OMS, 2022).

Las diversas actividades humanas vienen deteriorando la calidad del agua (Brousett et al., 2018), este déficit según la Organización Panamericana de la Salud (OPS) suelen concentrarse en las familias de bajos ingresos, grupos vulnerables y poblaciones de zonas rurales (OPS/OMS, 2022). Si bien es cierto, la mayor parte de las actividades se desarrollan en pequeñas y grandes zonas urbanas, las zonas rurales no están exceptas de las actividades antropogénicas que contaminan (Gómez Duarte, 2018). Se realizan actividades tales como la urbanización descontrolada, disposición inadecuada de aguas residuales, movilización de animales y la agricultura (Ríos et al., 2017).

La baja calidad del agua tienen efectos nocivos en la salud de las personas, pues se encuentra la presencia de microorganismos, agentes infecciosos, sustancias químicas y alteración de las características físicas del agua (Pérez López, 2016). Estas aguas contaminadas pueden producir enfermedades como diarrea, disentería, fiebre tifoidea, parasitosis intestinales, entre otros (Cabezas Sánchez, 2018). Según la OMS, por lo menos 2000 millones de personas se abastecen de una fuente de agua contaminada por heces, lo que causa 485000 muertes por diarrea al año. Perú también presenta problemas de contaminación de fuentes de agua, siendo los más afectados las zonas rurales o lugares recientemente habitados a causa de que parte de los habitantes consume agua potable y el resto se abastece de manantiales, ojos de agua, arroyos, entre otras fuentes de agua (Tarqui et al., 2016). Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática se estima que el año 2020 en el Perú alrededor de 3.4 y 8.3 millones de peruanos no cuentan con acceso a los servicios de agua potable y alcantarillado en las zonas urbanas y rurales, respectivamente (INEI, 2020).

En el departamento de Ancash el 36.6% de la población vive en centros poblados rurales los cuales presentan el mayor nivel de carencia al acceso a agua potable y saneamiento mediante red pública que el promedio nacional (BCRP, 2021). Según el Ministerio de Salud (MINSa), en el año 2018 Ancash tuvo 51177 episodios de Enfermedad Diarreica Aguda (EDA) y en el año 2019 esto fue en aumento llegando a 53898 episodios de EDA (MINSa, 2020). El distrito de Parobamba carece de un Sistema de Gestión de Residuos Sólidos (SGRS) adecuado, no cuenta con relleno sanitario, sino que tienen un botadero "autorizado" y al no contar con SGRS las personas no entienden ampliamente la importancia de cuidar el medio ambiente viéndose reflejada el déficit de educación ambiental. Por otro lado, Parobamba al ser una zona rural cuenta con bajos recursos económicos, por lo que los pobladores ponen sus esperanzas del desarrollo del distrito en la municipalidad y el Estado.

La calidad del agua se realizó a través de un análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, los cuales fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos en el D.S 031-2010-SA. Estas normas se instauraron para asegurar el suministro de agua saludable para el consumo humano. El análisis de la calidad del agua nos permite saber las condiciones iniciales en las que se encuentran los cuerpos de agua antes del desarrollo de algún proyecto (Cobena & González, 2020).

Por estas razones la presente investigación tiene como objetivo Evaluar la Calidad del agua para consumo humano y su tratamiento mediante un sistema de filtros en las captaciones de agua del distrito de Parobamba, Ancash-Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. El Distrito de Parobamba está situado 3186 m.s.n.m., limita por el oeste y el norte con Sicsibamba, por el sur y este con Quinuabamba, por el noroeste con Alfonso Ugarte y por el suroeste con Pomabamba en el departamento de Áncash. Presenta una topografía accidentada con pendientes medias, las cuales en época de lluvias generan erosión y transporte de sedimentos, lo que produce variación en la calidad del agua, dependiendo de la época del año. En la tabla 1, se muestra los centros poblados y anexos que pertenecen al distrito de Parobamba y la cantidad de población que posee en cada lugar. En la figura 1, se observa el Distrito de Parobamba, el cual cuenta con microcuencas, ríos nacientes, centros poblados y puntos de monitoreo identificados con sus respectivos símbolos.

Recolección de datos: La recolección y análisis de las muestras se llevó a cabo entre los meses de junio de 2019 y octubre de 2020. Para ello se siguió la metodología propuesta en el DS. N° 160-2015/DIGESA/SA "Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano". Se tomaron muestras de agua de 36 puntos de captación, los cuales abastecen a un total de 4016 habitantes. De las muestras de agua se evaluó los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el laboratorio empleando el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA.

Diseño de tratamiento: De acuerdo a los resultados de laboratorio se procedió a identificar los parámetros que sobrepasaron los límites permisibles establecidos en el reglamento de calidad de agua en los puntos de muestreo. Se aplicó un tratamiento mediante un sistema de filtros múltiples y desinfección UV, el diseño del sistema se desarrolló tal como se muestra en la figura 2. Para su construcción se utilizó tubos y accesorios (reducciones, codos, tee, llaves de control, entre otros). Como filtros se utilizó arena y carbón activado de coco, los cuales fueron lavados antes de usar para quitar el color característico. Se procedió a instalar la lámpara UV como parte del sistema. El sistema de tratamiento que se instaló es a nivel piloto, para lo cual se seleccionaron tres puntos de muestreo tales como Quichua I, Ocopon II, Pilanco II, los cuales corresponden a las muestras de los años 2019 y 2020 que sobrepasan los límites permisibles estipulado en el reglamento de calidad del agua para consumo humano. Posteriormente, se tomó las muestras de agua durante tres días con tres repeticiones de cada punto seleccionado, y se llevó al laboratorio acreditado por INACAL para la evaluación de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados. Los resultados obtenidos de laboratorio fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles del DS N°031-2010-SA.

Análisis estadístico del diseño experimental: El diseño experimental que se aplicó fue el de diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones, para el análisis estadístico se utilizó el software R Studio versión 2022.02.3. En primer lugar, se realizó un análisis descriptivo de los datos para luego aplicar el ANOVA considerando los requisitos de normalidad y homogeneidad de varianzas y luego realizar la comparación de medias de los parámetros de calidad de agua en las tres captaciones aplicando el test de Fisher o LSD a fin de conocer si existe diferencia significativa de los tratamientos.

RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan los 36 puntos de muestreo identificado en las diferentes captaciones que abastecen a 4017 habitantes, que pertenecen a 17 centros poblados y anexos. De los 36 puntos se tomaron muestras de agua para su respectivo análisis en laboratorio, a fin de identificar los puntos que superan los Límites Máximos Permisibles de acuerdo al D.S N°031-2010-SA, e implementar un sistema de tratamiento para reducir las concentraciones (mg/L) y mejorar la calidad de agua.

TABLA 1
Captaciones de agua, Puntos de muestreo y código de muestra para el análisis de laboratorio

Centros Poblados y Anexos	N° de Población	N° de punto de muestreo	Código de la fuente de agua
Parobamba	685	1	C1-Parobamba
		2	C2-Parobamba
Yanacolpa	118	3	C1-Yanacolpa
Huaripampa-Cachipampa	137	4	C1-Huaripampa - Cachipampa
Amapampa	17	5	C1-Amapampa
Hacienda	15	6	C1-Hacienda
Cayan	72	7	C1-Cayan
		8	C2-Cayan
		9	C3-Cayan
Quichua	132	10	C1-Quichua
		11	C2-Quichua
		12	C3-Quichua
Ocopon	245	13	C1-Ocopon
		14	C2-Ocopon
		15	C3-Ocopon
		16	C4-Ocopon
Changa	858	17	C1-Cushuru-Ruda
		18	C2-Hatupampa-Ruda
Huanchayllo Bajo	528	19	C1-Huanchayllo
		20	C2-Huanchayllo
Huanchayllo Alto	207	21	C1-Huanchayllo Alto
		22	C2-Huanchayllo Alto
		23	C3-Huanchayllo Alto
		24	C4-Huanchayllo Alto
Shuypillay	210	25	C1-Toma Rajraj
		26	C2-Tomatoma
		27	C3-Putaka I
Cajas	268	28	C1-Potrero
		29	C2-Cajas I
Socobamba	97	30	C1-Socobamba
Pilanco	132	31	C1-Pilanco I
		32	C2-Pilanco II
Pampa Nueva	124	33	C1-Pampayaco
		34	C2-Tumaragra
Cuzca	171	35	C1-Kenwa
		36	C2-Cuzca

Después de realizar los análisis de laboratorio de los 36 puntos de muestreo y comparar con los Límites Máximos Permisibles, se identificó que los parámetros de calidad de agua de las captaciones de Quichua, Ocopon y Pilanco II, superaron los LMP; por lo que a éstas se implementó el Sistema de filtros Múltiples, a fin de obtener una buena calidad de agua para consumo Humano de la población de Parobamba.

En la tabla 2 se muestra las captaciones de Quichua, Ocopon y Pilanco II, asimismo los parámetros y valores obtenidos de laboratorio que superan los Límites Máximos Permisibles

TABLA 2
Captaciones de agua con parámetros que superan los límites permisibles

Captaciones de agua	Parámetros	Resultados	LMP	Unidad
C1-Quichua	Turbiedad	14,90	5	NTU
	Coliformes Totales	20	<1,8/100	NMP/ml
	Coliformes Fecales	7,8	<1,8/100	NMP/ml
	Escherichia Coli	7,8	<1,8/100	NMP/ml
	Bacterias heterotróficas	450	500	UFC/ml a 35°
	Organismos de vida libre	1,037	0	N°org/L
	Aluminio	1,409	0,2	mg Al L-1
	Hierro	1,037	0,3	mg Fe L-1
	Mercurio	0,001	0,001	mg Hg L-1
	Turbiedad	3,24	5	NTU
C2-Ocopon	Coliformes Totales	17,8	<1,8/100	NMP/ml
	Coliformes Fecales	7,80	<1,8/100	NMP/ml
	Escherichia Coli	7,80	<1,8/100	NMP/ml
	Bacterias heterotróficas	550	500	UFC/ml a 35°
	Organismos de vida libre	1,177	0	N°org/L
	Aluminio	0,177	0,2	mg Al L-1
	Hierro	0,102	0,3	mg Fe L-1
	Mercurio	0,001	0,001	mg Hg L-1
	Turbiedad	0,60	5	NTU
	Coliformes totales	920	<1,8/100	NMP/ml
C2-Pilanco II	Coliformes fecales	17,0	<1,8/100	NMP/ml
	Escherichia coli	17,0	<1,8/100	NMP/ml
	Bacterias heterotróficas	770	500	UFC/ml a 35°
	Organismos de vida libre	6,0000	0	N°org/L
	Aluminio	0,013	0,2	mg Al L-1
	Hierro	0,04	0,3	mg Fe L-1
	Mercurio	0,00158	0,001	mg Hg L-1

Se implementó el sistema de filtros múltiples en cada punto de muestreo y se tomaron las muestras para evaluar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos con tres repeticiones cada una. Los resultados que se muestran en la tabla 3 determinan que el sistema fue efectivo para tratar y reducir las concentraciones en todos los parámetros evaluados, cumpliendo así con los Límites Máximos Permisibles para Agua de Consumo Humano de acuerdo al D.S 031-2010 S.A.

TABLA 3
Resultados del tratamiento a las captaciones con el sistema de filtros múltiples

Captaciones de agua	Parámetros	R1	R2	R3	D.S 031 - 2010 S.A.
C1-Quichua	Turbiedad	0,8	0,85	0,95	5 NTU
	Coliformes Totales	1,1	1	1,1	< 1,8 NMP/100 ml
	Coliformes Fecales	1,1	1	1,1	< 1,8 NMP/100 ml
	Escherichia Coli	1,1	1	1,1	< 1,8 NMP/100 ml
	Bacterias heterotróficas	0,85	0,8	0,85	500 UFC/ml a 35°
	Organismos de vida libre	0	0	0	0 N°org/L
	Aluminio	0,148	0,148	0,148	0,2 mg Al L-1
	Hierro	0,04	0,04	0,04	0,3 mg Fe L-1
	Mercurio	0,00015	0,00014	0,00015	0,01 mg Hg L-1
	Turbiedad	0,5	0,45	0,55	5 NTU
C2-Ocopon	Coliformes Totales	1,1	1,1	1,1	< 1,8 NMP/100 ml

	Coliformes Fecales	1,1	1,1	1,1	< 1,8 NMP/100 ml
	Escherichia Coli	1,1	1,1	1,1	< 1,8 NMP/100 ml
	Bacterias heterotróficas	0,95	0,85	0,95	500 UFC/ml a 35°
	Organismos de vida libre	0,00011	0,00012	0,00013	0 N°org/L
	Aluminio	0,0001	0,0001	0,0001	0,2 mg Al L-1
	Hierro	0,004	0,0045	0,0041	0,3 mg Fe L-1
	Mercurio	0,0001	0,00015	0,00014	0,01 mg Hg L-1
	Turbiedad	0,0100	0,0150	0,0160	5 NTU
	Coliformes totales	2,2	2,21	2,2	< 1,8 NMP/100 ml
	Coliformes fecales	1,1	1,1	1,11	< 1,8 NMP/100 ml
	Escherichia coli	1,1	1,1	1,1	< 1,8 NMP/100 ml
C2-Pilanco II	Bacterias heterotróficas	1,4	1,4	1,41	500 UFC/ml a 35°
	Organismos de vida libre	0	0	0	0 N°org/L
	Aluminio	0,00013	0,00014	0,00015	0,2 mg Al L-1
	Hierro	0,004	0,0045	0,0045	0,3 mg Fe L-1
	Mercurio	0,0001	0,00015	0,00014	0,01 mg Hg L-1

Evaluando el porcentaje de remoción por parámetros de calidad de agua en las tres captaciones, se identificó que la implementación del sistema de filtros múltiples en base a arena, carbón activado de coco y lámpara UV, redujo al 100 % la presencia de organismos de vida; asimismo el aluminio con un promedio de 98,85, además del resto de parámetros con valores porcentuales inferiores en las tres captaciones de agua, cumpliendo con los LMP para agua de Consumo Humano (Tabla 4).

TABLA 4

Análisis descriptivo para la remoción porcentual de parámetros de calidad de agua, haciendo uso de un Sistema de Filtros Múltiples

Captaciones de agua	Parámetros	Repetición			(x)
		R1	R2	R3	
C1 - Quichua	Turbiedad	94,63	94,30	93,62	94,18
	Coliformes Totales	94,50	95,00	94,50	94,67
	Coliformes Fecales	85,90	87,18	85,90	86,33
	Escherichia Coli	85,90	87,18	85,90	86,32
	Bacterias heterotróficas	99,81	99,82	99,81	99,81
	Organismos de vida libre	100,00	100,00	100,00	100,00
	Aluminio	89,50	89,50	89,50	89,50
	Hierro	96,14	96,14	96,14	96,14
	Mercurio	85,00	85,00	86,00	85,33
	Turbiedad	84,57	86,11	83,02	84,57
C2-Ocopon	Coliformes Totales	93,82	93,82	93,82	93,88
	Coliformes Fecales	85,90	85,90	85,90	85,93
	Escherichia Coli	85,90	85,90	85,90	85,89
	Bacterias heterotróficas	99,83	99,85	99,83	99,83
	Organismos de vida libre	99,99	99,99	99,99	99,99
	Aluminio	99,94	99,94	99,94	99,94
	Hierro	96,08	95,59	95,98	95,88
	Mercurio	90,00	85,00	86,00	87,00
	Turbiedad	98,33	97,50	97,33	97,72
	Coliformes totales	99,76	99,76	99,76	99,76
C2-Pilanco II	Coliformes fecales	93,53	93,53	93,47	93,51
	Escherichia coli	93,53	93,53	93,53	93,55
	Bacterias heterotróficas	99,82	99,82	99,82	99,82
	Organismos de vida libre	100,0	100,0	100,0	100,00
	Aluminio	99,00	98,92	98,85	98,92
	Hierro	90,00	88,75	88,75	89,17

Mercurio	93,67	90,51	91,14	91,77
----------	-------	-------	-------	-------

Remoción de turbiedad: En la figura 2 se muestra el porcentaje de remoción de la turbiedad después de aplicar el sistema de tratamiento por filtros tuvo un efecto significativo. Según la estadística el p-value <0,05, con una normalidad de 0,55 y homogeneidad de 0,24 se verificó que el tratamiento logró reducir la turbiedad del agua teniendo para Quichua una remoción del 94,18%, Ocopon con un 84,57% y Pilanco II con 97,72%, siendo Pilanco II la captación con mayor remoción de turbiedad.

Remoción de coliformes totales: En la figura 3 se puede observar el porcentaje de remoción de coliformes totales. Según la estadística con un nivel de significancia de 95%, con una normalidad de 0,88 y homogeneidad de 0,59 afirmamos que el tratamiento dado tuvo un efecto significativo removiendo así en Pilanco II un 99,76%, Quichua con 94,67% y Ocopón con 93,88%. Los resultados indican que la mayor remoción lo tuvo Pilanco II.

Remoción de coliformes fecales: Se muestra en la figura 4 el porcentaje de remoción de coliformes fecales al aplicar el tratamiento sistema de filtros múltiples. Donde con un p-value <0,05, normalidad de 0,07 y homogeneidad de 0,66 se comprobó que el tratamiento fue efectivo dando para Pilanco II 93,51% de remoción, para Quichua un 86,32% y para Ocopón un 85,93%, siendo Pilanco II la captación con mayor remoción de coliformes fecales.

Remoción de Escherichia coli: La figura 5 muestra el porcentaje de remoción de Escherichia coli después de aplicado el tratamiento. Con un nivel de significancia del 95%, con una normalidad de 0.06 y homogeneidad 0.47 se afirmó que el tratamiento tuvo un efecto positivo removiendo para Pilanco II 93,55%, Quichua 86,32% y Ocopón 85,89%. Siendo Pilanco II la captación con mayor remoción.

Remoción de bacterias heterotróficas: La figura 6 nos muestra el porcentaje de remoción de bacterias heterotróficas en las tres captaciones de agua. Teniendo un nivel de significancia del 95%, una normalidad de 0,99 y homogeneidad de 0,19 se evidenció que el tratamiento fue positivo reduciendo para Ocopón 99,83, Pilanco II 99,82 y Quichua 99,81, siendo Ocopón la captación en la que hubo mayor remoción.

Remoción de organismos de vida libre: Se observa en la figura 7 el porcentaje de remoción de los organismos de vida libre presente en las captaciones de agua. Con un nivel de significancia de 95%, con una normalidad de 0,83 y homogeneidad de 0.13 se observó que el tratamiento tuvo un efecto positivo removiendo para Quichua y Pilanco II 100% teniendo estas dos captaciones la mayor remoción y Ocopón con 99,99%.

Remoción de aluminio: En la figura 8 se puede observar el porcentaje de remoción de aluminio en las tres captaciones. Con un nivel de significancia del 95%, con una normalidad de 0,82 y homogeneidad de 0,53, las muestras tuvieron una remoción para Ocopón un 99,94%, para Pilanco II un 98,92% y para Quichua un 89,49%, obteniendo Ocopón la mayor remoción de aluminio.

Remoción de hierro: La figura 9 nos muestra el porcentaje de remoción del hierro en las captaciones de agua. Con un nivel de significancia del 95%, con normalidad de 0,43 y homogeneidad 0,31 se pudo comprobar que el tratamiento fue efectivo para la remoción del hierro en el agua teniendo así que la remoción en Ocopón fue de 95,88%, Quichua 94,14% y en Pilanco II fue de 89,17%, siendo Ocopón la captación con mayor remoción de hierro.

Remoción de mercurio: La figura 10 nos muestra el porcentaje de remoción del mercurio en los tres puntos de captación. Con una significancia del 95%, con una normalidad de 0,76 y homogeneidad de 0,33 se evidenció un efecto positivo del tratamiento con remoción del 91,77%

para Pilanco II, 87% para Ocopón y 85,33% para Quichua, siendo Pilanco II la captación con mayor remoción de mercurio.

DISCUSIÓN

En el estudio desarrollado se demuestra que el sistema de filtros múltiples que se aplicó para el tratamiento del agua para consumo humano respecto a los parámetros de turbidez, coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli*, bacterias heterotróficas, organismos de vida libre, aluminio, hierro y mercurio, tuvo un efecto significativo en el tratamiento de acuerdo a los resultados de laboratorio como se observa en la (tabla 4).

La turbiedad de la captación C1- Quichua se obtuvo un porcentaje de remoción a un 94,18%, en C2 - Ocopon a un 84,57% y en C2 – Pilanco II a un 97,72%, asimismo Pham et al., (2013) en su estudio utilizaron un tren de tratamiento incluido el carbón activado de cáscara de coco y arena, obteniendo una eficiencia en la remoción de turbiedad de un 97%. Asimismo, Torres et al., (2018) evaluaron la remoción de la turbiedad mediante doble filtración con carbón activado de coco y arena teniendo como resultado que la arena fue más eficiente en la remoción de la turbiedad llegando a cumplir con el límite establecido por la OMS que es de 5 NTU. A su vez menciona que es más efectivo implementar una doble filtración porque esto nos proporciona una mayor eliminación de la turbidez y otros parámetros como microorganismos biológicos. De acuerdo a Santillán, (2018) en su estudio para determinar la eficiencia del carbón activado de cáscara de coco en la remoción de turbiedad y color, pudo comprobar que se logró reducir las unidades de la turbiedad en un 97,11% y color en un 97,56% cumpliendo con los límites máximos permisibles.

Con respecto a la remoción de los parámetros químicos, en la captación C1- Quichua el porcentaje de remoción que se obtuvo de aluminio fue de un 89.50%, en hierro el 89.63% y en mercurio el 85.33%, en la captación C2- Ocopon en aluminio se obtuvo el 99.94%, en hierro el 99.94% y en mercurio el 87% y en la captación C2 – Pilanco II el porcentaje de remoción en aluminio se obtuvo el 98.92%, en hierro a 89.17% y mercurio a 91.77% respectivamente, estos porcentajes de remoción indican la eficiencia del sistema de filtros. Según el estudio de (Yachas Tenas, 2019) donde utilizó carbón activado de coco como filtro para reducir los niveles de hierro, plomo y pudo comprobar que el tratamiento fue efectivo reduciendo ambos parámetros en un 87%, también fue efectivo en la remoción de coliformes totales y turbiedad. Por otro lado, Blas, (2016) en su estudio implementó filtros múltiples a base de gravas, carbón activado de la cáscara de coco y arena para remover estos metales manganeso y hierro del agua logrando una eficiencia del 92.45 % y un 87,67 % de adsorción respectivamente.

En los parámetros microbiológicos la remoción fue significativa dado que en las captaciones de C1 – Quichua los coliformes totales obtuvieron un porcentaje de remoción de 94.67%, en los coliformes fecales el 86.33%, en el *Escherichia coli* el 86.32%, las bacterias heterotróficas con un 99.81% y los organismos de vida libre 100% porcentaje de remoción. Los resultados respecto a la captación C2 – Ocopon en los coliformes totales los porcentajes de remoción que se obtuvo fue de 93.88%, en los coliformes fecales el 85.93%, en el *Escherichia coli* el 85.89%, en las bacterias heterotróficas a un 99.83% y los organismos de vida libre 99.99%. También en la captación de C2- Pilanco II se obtuvo porcentajes de remoción significativas en el tratamiento respecto a los coliformes totales obteniendo un porcentaje de remoción de 99.76%, en los coliformes fecales fue de 93.51%, en el *Escherichia coli* un 93.51%, en las bacterias heterotróficas a un 99.82% y los organismos de vida libre 100%, cumpliendo así con los límites máximos permisibles dados por la norma.

La radiación UV tiene un efecto germicida el cual es capaz de producir daños fotoquímicos en los ácidos nucleicos de los microorganismos evitando su reproducción o produciendo su muerte (Rossel et al., 2020), además al no utilizar químicos no deja productos residuales en el agua y tampoco altera el olor, sabor y claridad (Gómez & Tovilla, 2020). Es necesario tener un nivel de turbiedad bajo para que tenga una mejor efectividad (Rossel et al., 2020). En un estudio

realizado por Briones & Lopez, (2018) utilizaron como tratamiento de agua la lámpara UV donde obtuvieron porcentajes de remoción para coliformes totales de 60,98% y para *Escherichia coli* un 99,29%, mostrando así un efecto positivo en la remoción.

Por otro lado, el carbón activado también remueve eficientemente microorganismos en el agua. Un estudio realizado por Ponce, (2019) se demostró que el carbón activado es un excelente reductor microbiológico teniendo como valor inicial en coliformes totales de 12 UFC/100ml, reduciéndose a 1UFC/100ml.

Por ello, en la investigación se implementó el sistema de filtros múltiples en donde se incorporó un filtro de arena, carbón activado de coco y la lámpara UV para obtener un adecuado tratamiento de agua para consumo humano cumpliendo con los LMPs establecidos por la entidad correspondiente. En la revisión bibliográfica no se han encontrado estudios que contengan el sistema filtros múltiples presentado en la presente investigación.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras de este trabajo de investigación agradecemos a Dios, a la Municipalidad del Distrito de Parobamba por el aporte de información en esta investigación; a nuestros padres, abuelo por la gran motivación que nos brindaron día con día y a nuestro asesor por guiarnos en la elaboración de la investigación.

ÉTICA, CONFLICTO DE INTERESES Y DECLARACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Los autores declaran que han cumplido totalmente con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, durante el estudio y producción del manuscrito; Asimismo no hay ningún tipo de conflictos de intereses.

REFERENCIAS

- BCRP. (2021). Caracterización del departamento de Áncash. In *Banco Central de Reserva del Perú*. BCRP. (2021). Caracterización del departamento de Áncash. In *Banco Central de Reserva del Perú*. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Memoria/Memoria-BCRP-1985.pdf>
- Blas Corso, H. Y. (2016). Aplicación del carbón activado de la cáscara de coco para adsorber hierro y manganeso en las aguas del río San Luís- Prov. Carlos Fermín Fitzcarrald – Ancash 2016. *Universidad César Vallejo*, 15. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/818>
- Briones Ponce, Y. O., & Lopez Lucas, E. V. (2018). "Evaluación de la efectividad de la luz ultravioleta generada a través de energía hidroeléctrica para el tratamiento del agua de la represa Caza Lagarto, 2018" [Universidad Laica Eloy Aalfaro de Manabí]. In *Universidad Laica Eloy Aalfaro de Manabí*. <https://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/2187>
- Brousett, M., Chambí, A., Mollocondo, M., Aguilar, L., & Lujano, E. (2018). Evaluación Físico-Química y Microbiológica de Agua para Consumo Humano Puno - Perú. *Fides et Ratio - Revista de Difusión Cultural y Científica de La Universidad La Salle En Bolivia* *Revista de Difusión Cultural y Científica de La Universidad La Salle En Bolivia*, 15, 47–68. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2071-081X2018000100005&script=sci_arttext
- Cabezas Sánchez, C. (2018). Infectious diseases related to water in Peru. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 309–316. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3761>
- Cobeña Zambrano, G. L., & González Arteaga, C. E. (2020). Analisis de la contaminación del agua e incidencia por consumo en la salud de la población del sitio río santo parroquia ricaurte del canton chone, año 2017. *Claustro*, 3(5), 2–11. <https://publicacionescd.ulead.edu.ec/index.php/claustro/article/view/136/263>
- Gómez Duarte, O. G. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. *Revista Facultad de Medicina*, 66(1), 7–8. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.70775>
- Gómez Girón, J., & Tovilla Gómez, I. A. (2020). *Rediseño y automatización al Sistema de Tratamiento de Agua para el proceso de producción en la empresa Lácteos de Chiapas S.A de C.V.* <http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/handle/123456789/1843>
- INEI. (2020). Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico. In *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua.pdf
- MINSA. (2020). Número de casos de diarreas agudas, Perú 2015 a 2020 *. In *Ministerio de Salud*. <https://www.dge.gob.pe/portal/docs/vigilancia/sala/2020/SE31/edas.pdf>
- OMS. (2022). Agua para consumo humano. In *Organización Mundial de la Salud*. <https://www.who.int/es/news->

- room/fact-sheets/detail/drinking-water
- OPS/OMS. (2022). *Agua y Saneamiento - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud*. Agua y Saneamiento. <https://www.paho.org/es/temas/agua-saneamiento>
- Pérez López, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(3), 3. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>
- Pham, T. T., Nguyen, V. A., & Van der Bruggen, B. (2013). Pilot-Scale Evaluation of GAC Adsorption Using Low-Cost, High-Performance Materials for Removal of Pesticides and Organic Matter in Drinking Water Production. *Journal of Environmental Engineering*, 139(7), 958–965. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000704](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000704)
- Ponce, D. (2019). *Aplicación del carbón activado de la cáscara de coco, en la purificación y absorción del hierro y plomo del agua de consumo de los pobladores de Paragsha - Pasco 2018*. UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN.
- Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R. M., & Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236–247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Rossel Bernedo, L. J., Rossel Bernedo, L. A., Ferro Mayhua, F. P., Ferro Gonzales, A., & Zapana Quispe, R. R. (2020). Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(1), 68–77. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.537>
- Santillán Gutierrez, K. M. (2018). Eficiencia del carbón activado obtenido del endocarpo de coco (*Cocos nucifera*), para la reducción de color y turbiedad en el agua de escorrentía del sector San Lorenzo - Moyobamba 2018 [Universidad Nacional de San Martín]. In *Universidad Nacional de San Martín* (Vol. 1). http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2418/TP_AGRO_00662_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tarqui Mamani, C., Alvarez Dongo, D., Gómez Guizado, G., Valenzuela Vargas, R., Fernandez Tinco, I., & Espinoza Oriundo, P. (2016). Calidad bacteriológica del agua para consumo en tres regiones del Perú. *Revista de Salud Pública*, 18(6), 904–912. <https://doi.org/10.15446/rsap.v18n6.42708>
- Torres Lozada, P., Amezcua Marroquín, C. P., Agudelo Martínez, K. D., Ortiz Benítez, N., & Martínez Ducuara, D. S. (2018). Evaluation of turbidity and dissolved organic matter removal through double filtration technology with activated carbon. *DYNA (Colombia)*, 85(205), 234–239. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n205.65488>
- Yachas Tenas, E. J. (2019). *Grado de eficacia del carbón activado de la cáscara de coco, en la absorción del hierro y plomo del agua de consumo de los estudiantes de la I.E. San Andrés de Paragsha - Simón Bolívar* [Universidad Nacional Alcides Carrión]. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1444/1/T026_62137573_T.pdf