

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**EMPLEO DE FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO DE
ENDOCARPIO DE COCO Y CASCARILLA DE ARROZ
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Autor: Bach. Emerson Chavez Chamaya

Asesor: M.Sc. Jesús Rascón Barrios

Registro:

CHACHAPOYAS – PERÚ

2022

DATOS DEL ASESOR

NOMBRE

M.Sc. Jesús Rascón Barrios

CE

001483863

ORCID

N° 0000-0002-9305-7203

<https://orcid.org/0000-0002-9305-7203>

Campo de Investigación y el Desarrollo según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)

1.00.00 -- Ciencias Naturales

1.05.00 -- Ciencias de la Tierra, Ciencias ambientales

1.05.11 --Oceanografía, Hidrología, Recursos hídricos

DEDICATORIA

A mis padres.

Mi padre Hernán Chavez Cotrina,

quien me apoyó constantemente,

y por su amor incondicional.

Mi madre Marina Chamaya Puerta, por enseñarme

cada día como seguir adelante y

que nada me puede vencer.

A mis hermanos, Robin, Jeiver, Gleiser y Carla

por estar siempre con sus consejos y

Su cariño infinito.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por darme fuerzas y esa oportunidad de cada día seguir viendo un nuevo amanecer para poder concretizar este trabajo, a mis padres por su constante apoyo y amor incondicional, a mis hermanos y a toda mi familia quienes me inspiran para cada día ser mejor.

Al docente M.Sc. Jesús Rascón Barrios, por la dedicación de su tiempo su buena colaboración y asesoría durante el desarrollo de este importante trabajo de investigación.

Finalmente, a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A), y al Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG) por facilitar el uso de ambiente y equipos que brindaron mayor facilidad para la realización de este importante trabajo.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. Policarpio Chauca Valqui

Rector

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

Vicerrector Académico

Dra. Flor Teresa García Huamán

Vicerrectora de Investigación

PhD. Ricardo Edmundo Campos Ramos

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-L

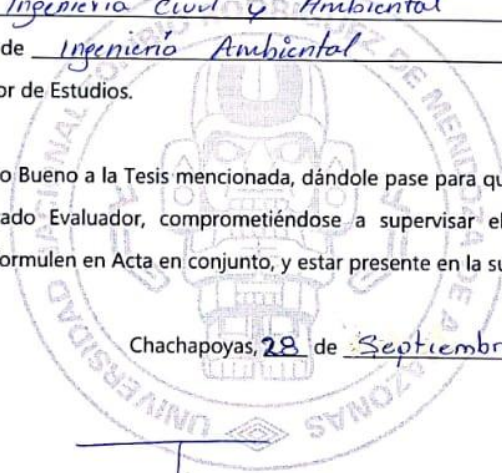
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM ()/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Empleo de filtros de Carbón Activado de endocarpio de coco y cascarrilla de arroz para el tratamiento de aguas residuales.; del egresado Emerson Chavez Chamoya de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 28 de Septiembre de 2022

Firma y nombre completo del Asesor
JESÚS RASCO BARRIOS



JURADO EVALUADOR



PhD. Ligia Magali García Rosero

Presidente



M.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje

Secretario



M.Sc. Eli Morales Rojas

Vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Empleo de filtros de Carbón Activado de endocarpio de coco y cascarilla de arroz para el tratamiento de aguas residuales,

presentada por el estudiante ()/egresado (x) Emerson Chavez Chamaya de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

con correo electrónico institucional 7192725952@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- La citada Tesis tiene 17 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor () / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 28 de Septiembre del 2022


SECRETARIO


PRESIDENTE


VOCAL

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



ANEXO 3-5

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 02 de noviembre del año 2022, siendo las 10:30 horas, el aspirante: Emerson Chavez Chamaya, asesorado por M.Sc. Tesús Pasión Barrios defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: Empleo de filtros de Carbón Activado de endocarpio de coco y cascavilla de arroz para el tratamiento de aguas residuales, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Ph.D. Ligia Napali Garcia Rosero

Secretario: M.Sc. Jefferson F. Reyes Farje

Vocal: M.Sc. Eli Morales Rojas



Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 11:30 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

[Signature]
SECRETARIO

[Signature]
PRESIDENTE

[Signature]
VOCAL

OBSERVACIONES:
.....

ÍNDICE GENERAL

DATOS DEL ASESOR	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS	vi
JURADO EVALUADOR.....	vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	viii
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	ix
ÍNDICE GENERAL	x
Índice de tablas	xii
Índice de figuras.....	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN	15
II. MATERIALES Y MÉTODOS	17
2.1 Área de estudio.....	17
2.2 Materiales y equipos	18
2.3 Diseño metodológico	19
2.4 Población y muestra	20
2.5 Proceso metodológico de la investigación	20
2.6 Metodología	21
2.6.1 Preparación de Carbón Activado.	21
2.6.2 Preparación de los filtros.....	23
2.6.3 Análisis del agua	26
2.6.4. Eficiencia de remoción.....	28
2.6.5 Análisis de datos	28
III. RESULTADOS	29
3.1 Eficiencia de los filtros de CA en los tratamientos	29
3.2 Comportamiento de los parámetros	30
3.3 Selección del filtro que mejor se adapte al tratamiento.	31
3.4 Comparación normativas nacionales e internacionales.....	33
IV. DISCUSIONES	34
V. CONCLUSIONES	38

VI.	RECOMENDACIONES.....	39
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
VIII.	ANEXOS	52

Índice de tablas

Tabla 1. Materiales y equipos usados	18
Tabla 2. Materiales que se usaron para la elaboración de los filtros.	25
Tabla 3. Composición interna de los filtros de CA.....	25
Tabla 4. Límites Máximos Permisibles para una PTAR según la normativa de cinco países.....	29

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de la PTAR “El Molino” en la ciudad de Chachapoyas .	18
Figura 2. Flujograma metodológico para la obtención de carbón activado y el tratamiento de aguas residuales a través de los filtros de CA.....	21
Figura 3. Procesos de elaboración de carbón activado a nivel de laboratorio.....	22
Figura 4. Contenido de las capas de los filtros para tratamiento de aguas residuales (Basado en Sánchez & Fernández, 2016.)	24
Figura 5. Gráfica del porcentaje de eficiencia de remoción de los diferentes parámetros en los filtros aplicados. A) pH; B) DBO; C) DQO; D) CE; E) SST.....	30
Figura 6. Gráfico de correlación de las diferentes variables de estudio (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$).....	31
Figura 7. Gráfico de autovalores y componentes principales del ACP.....	32
Figura 8. ACP y MANOVA del comportamiento de los filtros diseñados y evaluados.	32
Figura 9. Comparación de los parámetros en los tratamientos de entrada y salida de los filtros con normativas internacionales (Perú = Línea roja, Argentina = Línea celeste, México = Línea verde, EE.UU. = Línea amarilla y Europa = Línea morada).....	34

RESUMEN

En Perú y todo el mundo, durante los últimos años, los residuos sólidos y líquidos presentan deficiencias en su gestión y disposición final, lo que generan contaminación en diferentes medios en los que se depositan. En ese sentido, el estudio se realizó en Chachapoyas con el objetivo de determinar la eficiencia del Carbón Activado obtenido a partir de endocarpio de coco y cascarilla de arroz para el tratamiento de aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) el Molino. Asimismo, se determinó el comportamiento de los parámetros entre sí, para seleccionar el filtro que mejor se adapte a los tratamientos y finalmente comparar los resultados con normativas nacionales e internacionales. Para ello, los precursores que se usaron son residuos generados en gran cantidad en la región Amazonas, los cuales se obtuvieron de manera fácil para su posterior elaboración. Dicha elaboración, se realizó mediante el método de activación química, con un agente activante que tiene concentraciones del 85% de ácido fosfórico y ácido clorhídrico <9.9 %. Por otro lado, para determinar la eficiencia del carbón activado se emplearon 5 filtros en diferentes composiciones internas, los cuales demostraron óptimos resultados con valores máximos de 20%, 90%, 91%, 61%, 45% para pH, DBO, DQO, CE y SST respectivamente. Sin embargo, para el parámetro microbiológico (Coliformes Termotolerantes) no se demostraron resultados de eficiencia en ninguno de los filtros teniendo como mismos datos los de entrada y salida. Por lo tanto, los filtros usados han demostrado diferencias significativas frente a los parámetros evaluados. Sin embargo, los filtros F2 (75 % cascarilla de arroz / 25% endocarpio de coco) y F4 (25 % cascarilla de arroz / 75 % endocarpio de coco) son los que mayor se adaptan a los tratamientos. Por otro lado, las comparaciones de las normativas usadas demostraron que Perú es el país que presenta valores poco exigentes para el vertido de sus aguas residuales. Finalmente, este estudio busca dar una visión hacia la economía circular para poder reaprovechar los recursos y mejorar la calidad de vida.

Palabras claves: Carbón Activado, eficiencia, aguas residuales, filtros y economía circular.

ABSTRACT

In Peru and throughout the world in recent years, solid and liquid wastes have shown deficiencies in their management and final disposal, which generate contamination in different environments in which they are deposited. In this sense, the study was carried out in Chachapoyas with the objective of determining the efficiency of activated carbon obtained from coconut endocarp and rice husks for wastewater treatment at the wastewater treatment plant (WWTP) El Molino. Likewise, the behavior of the parameters was determined in order to select the filter that best suits the treatments and finally compare the results with national and international standards. For this purpose, the precursors used are waste generated in large quantities in the Amazon region, which were easily obtained for their subsequent elaboration. Such elaboration was carried out by means of the chemical activation method, with an activating agent that has concentrations of 85% phosphoric acid and hydrochloric acid <9.9%. On the other hand, to determine the efficiency of the activated carbon, 5 filters with different internal compositions were used, which showed optimum results with maximum values of 20%, 90%, 91%, 61%, 45% for pH, BOD, COD, EC and TSS, respectively. However, for the microbiological parameter (thermotolerant coliforms), efficiency results were not demonstrated in any of the filters with the same inlet and outlet data. Therefore, the filters used have shown significant differences with respect to the parameters evaluated. However, filters F2 (75 % rice husk / 25% coconut endocarp) and F4 (25 % rice husk / 75 % coconut endocarp) are the most adapted to the treatments. On the other hand, the comparisons of the regulations used showed that Peru is the country that presents the least demanding values for the discharge of its wastewater. Finally, this study seeks to provide a vision towards the circular economy in order to reuse the resources and improve our quality of life.

Key words: Activated carbon, efficiency, wastewater, filters and circular economy.

I. INTRODUCCIÓN

Para los años 2030 y 2050, se estima que la población mundial alcance los 8 000 millones y 9 700 millones de personas respectivamente (ONU, 2021). Por ello, el rápido crecimiento poblacional y la industria provocan un aumento significativo del consumo y la contaminación del agua (Yalcinkaya et al., 2020). Si bien el 70% del mundo está rodeado de agua, solo el 2,5% es dulce, y solo el 1% del agua dulce es accesible, que se reparte entre los 7.600 millones de sus habitantes (Bhushan, 2020). Así también, se estima que cada día se producen 5m³ de aguas residuales/persona y se pierden 250 m³ de agua al año en el mundo afectando a diferentes ecosistemas acuáticos y terrestres (UNESCO, 2017). Por consiguiente, esto supone una disminución de la calidad del agua y de la cantidad de recursos hídricos disponibles, por lo que para el año 2030 se proyecta que el mundo enfrente un déficit hídrico global del 40% (WWAP, 2015).

La regeneración y reutilización de aguas residuales podría ser una seria alternativa para reducir el estrés hídrico (Licciardello et al., 2018). A su vez, las aguas residuales recuperadas se pueden utilizar en varias aplicaciones, como agua de procesos industriales, riego agrícola, riego de jardines y parques, y alimentación artificial de aguas subterráneas (Yalcinkaya et al., 2020). A tal efecto, la calidad del agua deberá obedecer a las especificaciones indicadas en las correspondientes normativas o directrices en función del uso final del agua regenerada (Gibson, 2014). Normalmente, el agua del tratamiento secundario en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) no cumple estas especificaciones (Becker et al., 2015), y se requiere un tratamiento avanzado, también conocido como tratamiento terciario (Koshy & Singh, 2016). La variedad de tratamientos terciarios es amplia, dependiendo de la calidad final del agua, según el uso requerido, y de los contaminantes objetivo a eliminar (Sabara et al., 2022). Algunos ejemplos son sistemas de coagulación/floculación (Jorge et al., 2021), tecnologías de membrana (ósmosis inversa, nanofiltración, ultrafiltración) (Yalcinkaya et al., 2020), filtros biológicos (Amenorfenyo et al., 2019), oxidación avanzada (ozonización, luz ultravioleta en combinación con peróxido de hidrógeno y dióxido de titanio) (Garrido-Cardenas et al., 2020), adsorción (carbón activado en polvo y granulado) (Yousef et al., 2020; Gupta et al., 2021).

Los adsorbentes tienen muchos beneficios en los sistemas de tratamiento de agua (Koshy & Singh, 2016). Algunos son la biodegradabilidad en ambientes naturales/ambientales,

alta abundancia en la naturaleza, área de superficie alta, una mayor tendencia a adsorber iones metálicos, tamaño y volumen de poro apropiados (Alinnor, 2007). Así también, mayor resistencia mecánica, compatibilidad, están fácilmente disponibles y renovables, tienen un costo económico bajo, son ecológicos, y sus métodos de fabricación son fáciles y de naturaleza más específica (Marković et al., 2015). Por ello, que se ha convertido en una tecnología prometedora para la eliminación de contaminantes con un costo más económico (Kumar et al., 2016; Alinnor, 2007). Uno de los absorbentes ampliamente utilizados son los carbones activados (CA) se han utilizado ampliamente para el proceso de tratamiento de agua, que incluye la eliminación de olores, metales pesados y compuestos orgánicos (Park et al., 2019), considerando que las PTAR requieren varios tipos de CA en grandes cantidades (Luo et al., 2014; Thellmann et al., 2017).

El carbón activado (CA) generalmente se usa en la etapa final de las PTAR (Park et al., 2019). El proceso de filtración con CA elimina eficientemente los contaminantes, por lo que debería ser esencialmente necesario (Thellmann et al., 2017). Así también, se considera que uno de los procesos que con mayor frecuencia se considera efectivo es el CA (Baresel et al., 2019). El uso de CA, ya sea como carbón activado en polvo (PAC) o carbón activado granulado (GAC), ha sido investigado en numerosos estudios (Metzger et al., 2014; Baresel et al., 2019). Es así que, el CA influye en los Indicadores de Calidad de Aguas Residuales (WWQI, por sus siglas en inglés), tales como las condiciones físicas (contenido de sólidos, temperatura y conductividad eléctrica), químicas (demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total, fosfato, metales pesados, pH y oxígeno disuelto) y biológicas (microorganismos patógenos, bacterias, virus) (Granata et al., 2017).

Según OEFA (2016), Chachapoyas por ser un distrito de baja población no se maneja adecuadamente el tema ambiental, por ello es que sus aguas residuales son vertidas directamente a cuerpos de agua. Tal es el caso de la PTAR en el sector El Molino, las aguas residuales desembocan directamente en el río Utcubamba. No obstante, a ello, pese a las carencias de tratamientos y altas concentraciones de contaminantes, las personas suelen utilizar estas aguas para riego de vegetales y uso en la ganadería (Saboya, 2020). En ese sentido, el objetivo de este proyecto de investigación busca evaluar el nivel de eficiencia de los filtros de Carbón Activado obtenidos del endocarpio de coco y cascarilla de arroz para el tratamiento de aguas residuales en el distrito de Chachapoyas, distrito en el cual no existe un tratamiento adecuado de las aguas

residuales. Para ello, se determinó el comportamiento de los parámetros entre sí en los diferentes modelos de filtros de carbón activo de endocarpio de coco y cascarilla de arroz para el tratamiento de aguas residuales; se seleccionó el modelo de filtro de carbón activo de endocarpio de coco y cascarilla de arroz que mejor se adapte al tratamiento de aguas residuales; y se compararon los resultados de entrada y salida con normativas nacionales e internacionales. De acuerdo a ello, el presente trabajo brinda una alternativa adecuada de tratamiento utilizando materiales que son desechados, materiales carbonosos que se generan en gran cantidad en diversos sectores de nuestro país y que son aptos para la obtención de CA brindando buena eficiencia en descontaminación, pudiendo ser aplicable a distintos campos. Asimismo, el presente estudio, contribuirá en el desarrollo de nuevas ideas y decisiones de uso sostenible de nuestros recursos para mejorar las condiciones de vida. Y de la misma manera, generando una visión hacia la economía circular.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

La ciudad de Chachapoyas, está ubicada en la provincia de Chachapoyas, en la Región Amazonas en el noroeste (NO) del Perú, a una altitud de entre 2000 y 3000 m.s.n.m., con una temperatura media de 16° C y una precipitación anual de 800 mm (Rascón et al., 2022). La población de Chachapoyas aumentó de 32 026 a 42 350 habitantes en el período 1997-2017 (INEI, 2017). Esto hace que, Chachapoyas sea la segunda ciudad más poblada y el centro administrativo de la región (Silva-López et al., 2022). Por otra parte, han aumentado las emisiones residuales en especial en los cursos de agua. Ante ello, Chachapoyas cuenta con dos Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), que se encuentran con un funcionamiento inadecuado (Melendez-Herrera & Ocampo-Tello, 2018). La PTAR en estudio está localizada en el Sector “El Molino” de la ciudad de Chachapoyas (Figura 1).

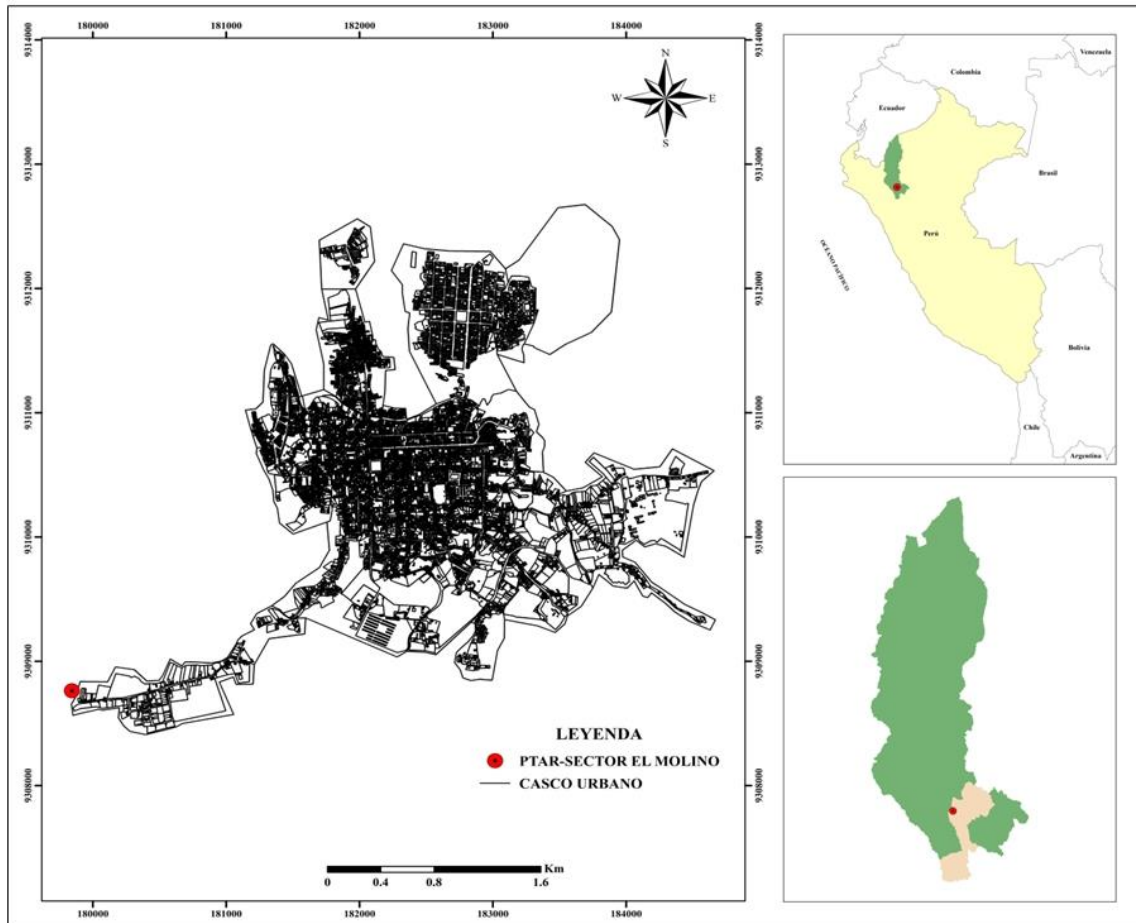


Figura 1. Mapa de ubicación de la PTAR “El Molino” en la ciudad de Chachapoyas

2.2 Materiales y equipos

Los materiales y equipos empleados en el desarrollo de la investigación se detallan a continuación (Tabla 1).

Tabla 1. Materiales y equipos usados

Categoría	Descripción
Materiales	Cáscara de coco, cáscara de arroz, ácido brisol, cuaderno de campo, tubo pvc 2”, reducción pvc de 2” a ½”, abrazaderas metálicas, botellas de plástico, gravilla, guantes descartables, papel aluminio, crisoles, matraz de 500 mL, bandejas, polo de algodón, papel toalla, mascarilla, manguera ½” de 6 m de largo, balde de 20 ltrs, grifo PVC (Bibcock Tap), teflón, pegamento para

	tuvo pvc, Frascos Glassco 355 mL, pipeta, puntas, agua esterilizada, vaso de precipitado 200 mL, botellas de vidrio 1000 mL, frascos de 100 mL, tubos de ensayo, gradillas.
Equipos	Estufa, mufla, molino eléctrico, medidor multiparámetros, placa calefactora, cámara de aire balanza analítica, Aireador para DBO, refrigeradora, incubadora.

2.3 Diseño metodológico

El diseño metodológico se basó principalmente en la elaboración de CA del endocarpio de coco y cascarilla de arroz para la determinación de su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales de una PTAR mediante el uso de los filtros establecidos. Por lo tanto, el proceso de elaboración de CA se puede observar en el flujograma (figura 2).

El presente trabajo corresponde al nivel de investigación relacional y el diseño de la investigación es experimental.

- ***Investigación relacional***

A partir del estudio de las variables *i*) filtros de carbón activado de endocarpio de coco y cascarilla de arroz y *ii*) resultados del análisis de los parámetros del agua de la planta de tratamiento de agua residuales, se establece la relación de la primera en la segunda. Es decir, se enfoca en demostrar que filtros de carbón activado de endocarpio de coco y cascarilla de arroz contribuye en la disminución de los parámetros como SST, DQO, coliformes totales presentes en el agua residual (Higuera-Infante, 2017)

- ***Investigación experimental***

Se realizó un estudio controlado, prospectivo, analítico y longitudinal (Agustin-Valverde *et al.*, 2007). Al mismo tiempo, el diseño del experimento, se desarrolló durante un periodo de tiempo a partir del diseño realizado. Para tal efecto, se contó con un número de mediciones de los parámetros de interés. Además, los resultados obtenidos fueron

comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) según normativas nacionales (Perú) e internacionales (Argentina, México, EE.UU. y Europa).

2.4 Población y muestra

Población. La población está conformada por 5 filtros de carbón activado de endocarpio de coco y cascarilla de arroz para el tratamiento de las aguas residuales del sector El Molino.

Muestra. Según norma OS.090 (Tratamiento de aguas residuales) la muestra es de tipo puntual, ya que se tomó al azar a una hora determinada para el traslado al Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A) para el análisis de parámetros fisicoquímicos de materia orgánica y microbiológico. La muestra está constituida por los diferentes volúmenes de agua residual del Molino. Una muestra inicial de 3 repeticiones cada una de 2 litros, para la caracterización de las aguas residuales, se recolectó 6 litros de agua. Para los filtros, se hicieron tres repeticiones por cada uno, recolectando 4 litros para cada repetición. Como son 5 filtros en total, se recolectaron 60 litros de agua, la cantidad y las repeticiones fueron adecuadas para determinar los parámetros ya que solo se trabajó a nivel de laboratorio.

2.5 Proceso metodológico de la investigación

El proceso metodológico se basó principalmente en la elaboración de Carbón Activo (CA) del endocarpio de coco y cascarilla de arroz para la determinación de su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales de una PTAR mediante el uso de los filtros establecidos. Por lo tanto, el proceso de elaboración de CA se puede observar en el flujograma (Figura 2).

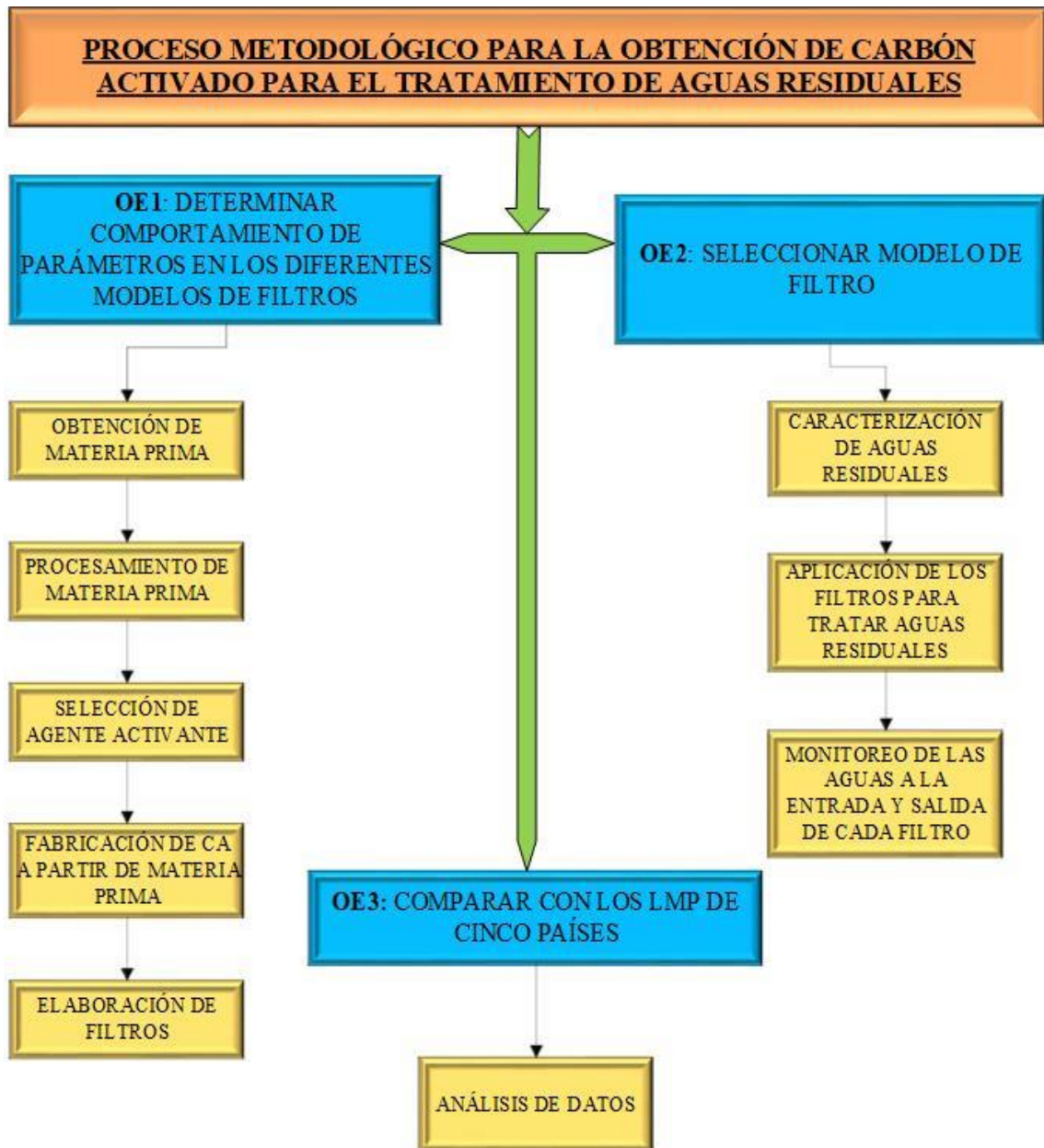


Figura 2. Flujoograma metodológico para la obtención de carbón activado y el tratamiento de aguas residuales a través de los filtros de CA.

2.6 Metodología

2.6.1 Preparación de Carbón Activado.

Para la elaboración de CA como adsorbente de contaminantes, es necesario precisar que los procedimientos que se realizaron, los materiales y equipos que se usaron se ajustaron con lo que se contaba en el Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG)

de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A). Por lo tanto, los procesos que se siguió se muestran en la figura 3.

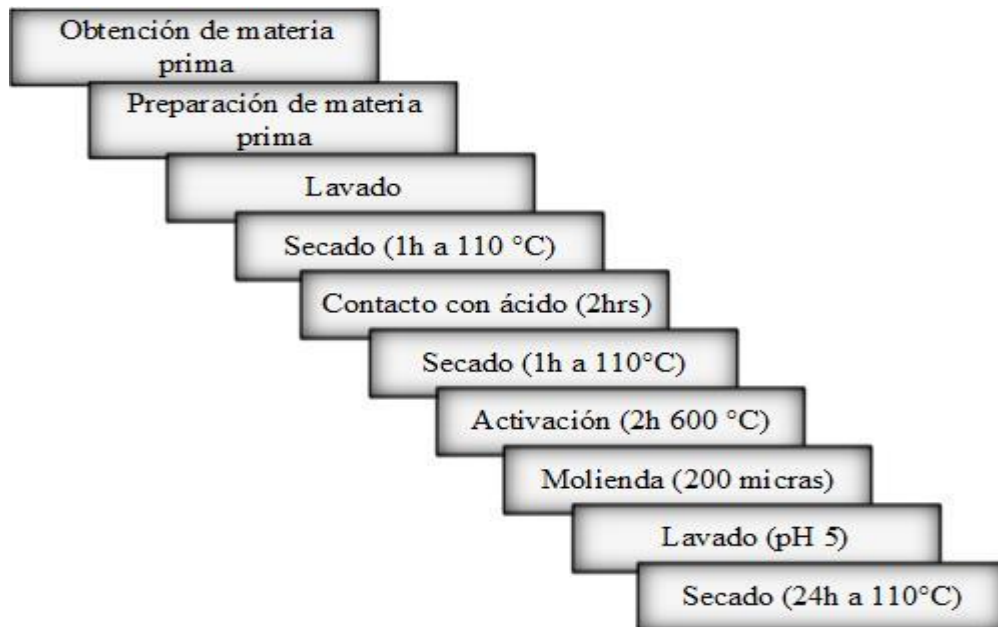


Figura 3. Procesos de elaboración de carbón activado a nivel de laboratorio.

Por lo tanto, la adsorción es un método simple y eficaz y de bajo costo para la eliminación de sustancias tóxicas en las aguas residuales (Singh, *et al*, 2018). Ante ello, hay biosorbentes de origen natural que se desarrollan comúnmente a partir de subproductos de bajo costo de los sectores agrícola, doméstico e industrial; entre los cuales encontramos a la cascarilla de arroz (Yakout, 2014) y el endocarpio de coco (Azabache *et al.*, 2022), productos que se usaran como materia prima en esta investigación. El endocarpio (es la capa interior que cubre a la dupra o la carne del fruto), esta estructura es leñosa la cual se utilizó para la obtención de carbón activado (Lazo-Camposano, 2015). Por otra parte, la cascarilla de arroz tiene componentes de celulosa un 32.7 %, hemicelulosa 20.5%, lignina 21.8 %, sílice 15,1 %, solubles 2,8 % y humedad 7,5 %, que también se utilizó para generar el CA (Rahman, Ismail, & Osman, 1997).

En la preparación CA de endocarpio de coco, primero se eliminaron todos los restos del fruto y materiales adheridos a la cáscara (Anexo 2). Tras ello, se trituró a un tamaño menor para tener mayor facilidad en la calcinación. Luego, se lavó con agua destilada para eliminar presencia de polvo y otras partículas adheridas a la materia prima (Suarez,

2018). Asimismo, se procedió con la cascarilla de arroz. En otra instancia, El agente activante que se utilizó para la obtención de CA fue el ácido “Brisol” (ácido que mayormente se utiliza para limpiar sanitarios, tuberías, entre otros), realizándose una medición de su pH el cual se obtuvo una media de -0,760, dicho ácido cuenta con concentraciones de ácido fosfórico al 85% y ácido clorhídrico <9.9 %. Para la activación química esencialmente es necesario que el agente químico ejerza una degradación sobre la celulosa y otras estructuras de la materia prima, y a todo esto se añade una acción deshidratante que produce la descomposición de las sustancias orgánicas. También consiste en un tratamiento térmico con un agente activador sobre el material carbonoso a temperatura alta para generar porosidad.

Por consiguiente, para la fabricación del carbón activado (CA) de las materias primas se basó en las metodologías de Rodríguez et al. (2012) y Pereira et al. (2018), las cuales constan de: *i*) Se separaron las impurezas y residuos sólidos presentes en la materia prima, se trituro a tamaños adecuados para la calcinación y se lavó con agua destilada para eliminar el polvo y otras partículas adheridas a la materia prima, seguido, *ii*) se puso a secar en una estufa a 110 °C durante 1 hora y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Después, la materia prima se sumergió en el agente activante durante 2 horas. Luego, *iv*) se puso a secar al sol durante 2 días por 3 horas al día y posteriormente se puso en una estufa a 110 °C durante 1 hora y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Posterior a ello, *v*) la materia prima se puso en crisoles bien tapados y cubiertos con papel aluminio para colocarlos a la mufla a una temperatura de 600 °C por un periodo de 2 horas. Además, *vi*) una vez calcinado la materia prima se procedió a moler mediante el uso de un molino eléctrico, molienda que se realizó a una dimensión de 200 micras. Antes de finalizar, *vii*) la molienda se lavó varias veces con agua destilada a 100 °C hasta alcanzar un pH con valor cercano a 7 y *viii*) finalmente el carbón molido y lavado se puso a secar en una estufa a 110°C por un periodo de 24 horas, para posteriormente ser colocado en los filtros con las proporciones establecidas.

2.6.2 Preparación de los filtros

Para el desarrollo del proceso de filtración se establecieron 5 filtros a partir de un diseño basados en los propuestos por Sánchez & Fernández (2016), donde se modificó el contenido de CA en cada uno de los filtros. En el diseño de los filtros, la parte externa está constituido de un cilindro de PVC, con un diámetro de 5,08 cm y una longitud de 35 cm. Se colocó reducciones a ambos lados (entrada y salida), conectadas a tuberías

más finas. La parte interna estuvo constituida por las siguientes capas: Algodón en la reducción, Gravilla, Algodón, CA, Algodón, Gravilla y Algodón en la reducción, tal y como se muestra en la Figura 4. Para la construcción de los diferentes modelos de filtros según el diseño establecido y la composición interna establecida anteriormente se usó distintos materiales (Tabla 2).

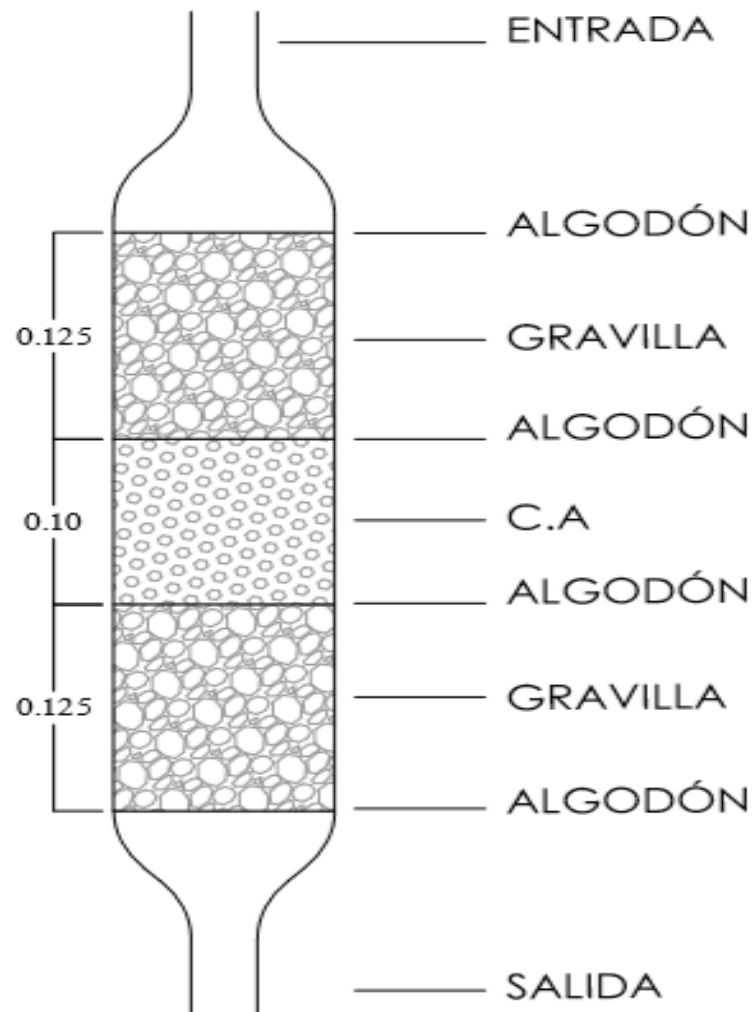


Figura 4. Contenido de las capas de los filtros para tratamiento de aguas residuales (Basado en Sánchez & Fernández, 2016.)

Tabla 2. Materiales que se usaron para la elaboración de los filtros.

Materiales usados en la elaboración de filtros
Tubos PVC
Sierra (para cortar al tamaño establecido).
Reducción de PVC
Pegamento para tubo
Abrazaderas metálicas
Malla metálica (para ayudar el sobrepeso)
Botellas de plástico en la salida

Por otra parte, el proceso de tratamientos se realizaron combinaciones mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición interna de los filtros de CA.

Filtros	Combinaciones
F1	CA=100 % cascarilla de arroz
F2	CA= 75 % cascarilla de arroz / 25% endocarpio de coco
F3	CA=50% cascarilla de arroz / 50% endocarpio de coco
F4	CA=25 % cascarilla de arroz / 75 % endocarpio de coco
F5	CA=100% endocarpio de coco

Por otra parte, el proceso de filtración para los 5 filtros establecidos, se llevó a cabo en tres oportunidades de acuerdo a las muestras recogidas (M1, M2 y M3). Para ello se realizó de la siguiente manera: *i*) antes de pasar el agua residual a tratar, los filtros se lavaron con agua potable para eliminar partículas y color del CA que pudieran influenciar negativamente en las muestras recogidas para los análisis, *ii*) el agua residual obtenida de la PTAR se colocó en un recipiente (balde) elevado aproximadamente a 5 metros de altura, *iii*) se conectó una manguera de 1,27 cm de diámetro del recipiente al filtro, *iv*) mediante una llave en el recipiente se permitió el pase de agua a los filtros, *v*) Para la obtención de muestra del agua filtrada, se dejó filtrar el agua residual durante 5 minutos y finalmente se recogió la muestra filtrada por triplicado en recipientes de vidrio esterilizados de 1000 mL. Cabe destacar que la muestra M1, se usó para el filtro (F1), la muestra M2 para los filtros (F2 y F3) y la muestra M3 para los filtros (F4 y F5). Asimismo, cabe resaltar que la velocidad de filtración fue de 1000mL en 5 minutos.

2.6.3 Análisis del agua

Se recolectaron muestras de agua según el ANA (2016). Las muestras se mantuvieron refrigeradas a 4°C, y se trasladaron al Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A), donde se llevó a cabo el respectivo análisis. El análisis fisicoquímico y biológico del agua se hizo según la metodología establecida por la American Public Health Association (APHA, AWWA, & WEF, 2017). Los parámetros fisicoquímicos que se analizaron fueron, pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Conductividad Eléctrica (CE). Los parámetros de materia orgánica que se analizaron fueron, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Y, el parámetro biológico que se analizó es la concentración de Coliformes Termotolarentes (CT).

Se recogieron tres muestras de agua, una por semana y por triplicado en recipientes de vidrio de 1000 ml esterilizados (M1, M2, M3). Todas se recogieron del mismo punto de salida de la PTAR sobre las 8:00 am. Las condiciones del tiempo variaron, el primer día de muestreo (M1) estuvo nublado y lloviznando, al segundo y tercer día (M2 y M3) estuvo soleado. Además, dentro del área en el cual se ubica la PTAR se encuentra especies herbáceas, en su mayoría gramas y la parte exterior cuenta con presencias de diferentes especies arbóreas y muy densas.

- ***Determinación de pH***

El pH es un parámetro que se mide para expresar la cantidad el nivel de acidez o alcalinidad de un líquido. Además, tener en cuenta que se le define como el exponente positivo de la concentración de iones de Hidrógeno (Mesmer & Holmes, 1992). Para determinar el pH se utilizó en equipo multiparamétrico (marca WTW modelo Multi 3620 IDS).

- ***Determinación de CE***

La CE es una propiedad de las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica, dependiendo de la presencia de iones, movilidad, valencia y temperatura. La determinación de sus valores se expresa en microsiemens por cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Máximo, 2020). Además, las aguas poseen una CE de iones que provienen de las sales disueltas y

materiales inorgánicos (Sengupta, 2017; Camacho *et.al.* 2020). Para determinar la CE se utilizó un equipo multiparamétrico (marca WTW modelo Multi 3620 IDS)

- ***Determinación de SST***

Los SST, es la medida de cantidad de material disuelto en el agua, globalmente generan diferentes causas en las características del agua, puede ser en olor, color, sabor. Por lo tanto, las variaciones de concentraciones de SST son muy dañinos y representan un riesgo para la salud y comúnmente los SST se expresa en mg/L (Hamilton & Zhang, 2011). Los SST se denomina a la materia que permanece como residuo después de un proceso de evaporación y secado de la muestra a 103 – 105 °C durante 24 horas (Hamilton & Zhang, 2011; Nossa, 2017). Para determinar los SST se usaron vasos de precipitados y una estufa (marca MMM Group modelo Ecocell).

- ***Determinación del DBO***

El DBO, es uno de los parámetros más utilizados para evaluar la calidad del agua, se define como la cantidad de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica que se encuentra en el agua residual mediante acción de las bacterias en condiciones aerobias. Sin embargo, este parámetro requiere de 5 días para conocer el resultado final (Jouanneau, et al. 2014). Para determinar el DBO, se usó la técnica de la dilución por 5 días, usando botellas tipo Wickler y un equipo multiparamétrico (marca WTW modelo Multi 3620 IDS)

- ***Determinación de la DQO***

La DQO mide la cantidad de sustancias que son susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que se encuentran disueltas o en suspensión en una muestra líquida, por ello, se considera que es un parámetro químico muy importante en los tratamientos de aguas residuales (Viana, et al. 2011). Para el análisis de DQO, primero se digesto la muestra de agua residual a 150 °C, en viales de DQO marca HACH. Posteriormente se hizo la lectura en un espectrofotómetro de absorción atómica UV-VIS (Marca Thermo Fisher Scientific Modelo Genesys 10s), a una longitud de onda de 420 nm.

- ***Determinación de CT***

La concentración de CT, son buenos indicadores de la contaminación fecal reciente en el agua, al mantenerse cercanos a la fuente de emisión y a su vulnerabilidad ambiental

(Gamarra et al. 2018). Por otro lado, conocer la concentración de CT, permite evaluar que tal eficiente es el diseño de una PTAR (Quispe et al. 2019). Para determinar los CT se usó la técnica de fermentación en Tubos Múltiples por el Numero Más Probable (NMP) (APHA et al., 2017).

2.6.4. Eficiencia de remoción

Al mismo tiempo se determinó la eficiencia de remoción de cada parámetro de los filtros. Para ello, se tuvo en cuenta la siguiente ecuación:

$$E = \frac{(P_0 - P)}{P_0} \times 100$$

Donde:

E: Eficiencia de remoción

P₀: Concentración inicial de contaminantes por cada parámetro (entrada de filtro)

P: Concentración final de contaminantes por cada parámetro (salida del filtro)

2.6.5 Análisis de datos

Para determinar la eficiencia de cada filtro por parámetro, se usó la ecuación indicada líneas arriba. Al mismo tiempo, se aplicó un análisis ANOVA o un análisis Kruskal-Wallis, según la normalidad de los datos, para comprobar las diferencias entre filtros según su eficiencia de remoción para cada parámetro. Para los parámetros, donde se encontraron diferencias significativas se realizó un análisis post hoc (Tukey para ANOVA y Conover para Kruskal-Wallis), para determinar el filtro más eficiente. Para establecer el comportamiento de los parámetros evaluados entre sí, se hizo un análisis de correlación de Spearman. Para determinar que filtro seleccionar como el más idóneo para el tratamiento de los parámetros evaluados, se usó un Análisis de Componentes Principales (ACP), con el cual simplificar y ordenar los parámetros y ver como los filtros influyen sobre ellos. Al mismo tiempo, se hizo una MANOVA para determinar si la agrupación de filtros es disimilar entre sí. Por último, se realizó un test de U de Mann-Whitney para ver las diferencias entre la entrada y la salida de los filtros para cada parámetro. Al mismo tiempo, se representó gráficamente las comparaciones con las normativas nacionales e

internacionales indicando los LMP y con un Boxplot de la entrada y la salida (Tabla 4). Todos los análisis se realizaron con nivel de significancia $p < 0,05$, usando el software estadístico R versión 4.1.3 (R Core Team, 2020).

Tabla 4. Límites Máximos Permisibles para una PTAR según la normativa de cinco países.

Parámetros	Perú	Argentina	México	EE.UU.	Europa
pH (Unidad)	6.5 - 8.5	5.5 - 10	6.0 - 9.0	6.0 - 9.0	5.5 - 9
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)					
SST (mg/l)	150	35	75	30	35
DBO (mg/l)	100	50	75	30	25
DQO (mg/l)	200	125	100	120	125
CT (NMP/100ml)	10,000	5000	200	200	NA

Fuentes: Perú (MINAM, 2010); Argentina (SRNAH, 1992); México (PROFEPA, 1996); EE.UU. (US EPA, 2010); Europa (CEE,1991).

III. RESULTADOS

3.1 Eficiencia de los filtros de CA en los tratamientos

En general, todos los filtros han sido eficientes en la remoción de los parámetros evaluados, llegando en algunos a más del 90% (Figura 5). En lo que respecta a la variación del pH, se comprueba que hay diferencias significativas entre los filtros ($F = 12688$; $p < 0,001$), teniendo que F1 tiene la mejor eficiencia. Cabe destacar que el F5 tuvo una eficiencia negativa (Figura 5A). Asimismo, se comprueba que la remoción del DBO, si existen diferencias significativas según los filtros usados ($F = 7,06$; $p < 0,01$). Cabe resaltar, que el F2 es el que mayor eficiencia presentó (Figura 5B). Cabe resaltar que para DBO todos los filtros muestran buena eficiencia de remoción (Figura 5B). Respecto a la remoción del DQO, se pudo determinar que si existen diferencias significativas entre los filtros ($X^2 = 12,83$; $p < 0,05$). Así también, se comprueba que el F1 es el que presenta mayor eficiencia y el F4 con un valor más bajo (Figura 5C). De manera consiguiente, en lo que respecta a la remoción de la CE, se comprueba que hay diferencias significativas entre los filtros ($X^2 = 13,57$; $p < 0,01$), teniendo que el F4 tiene la mejor eficiencia y el F5 presenta un porcentaje de remoción muy bajo (Figura 5D). Por último, respecto a la remoción de SST, se determinó que si hay diferencias significativas entre los filtros

usados ($X^2= 12,83$; $p< 0,05$), teniendo que el F4 presentó la mejor eficiencia y el F5 tiene un porcentaje de remoción muy bajo (Figura 5E).

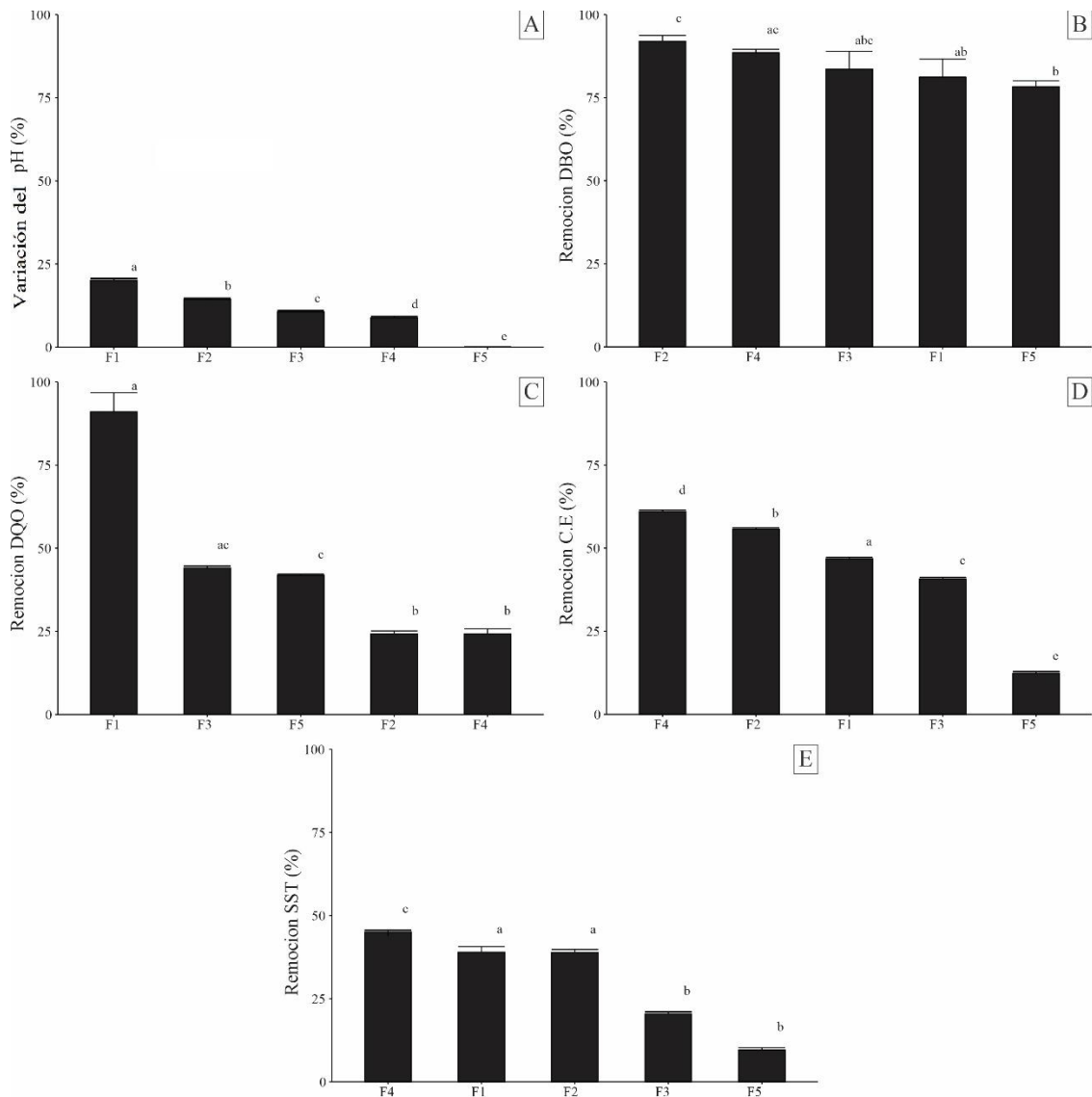


Figura 5. Gráfica del porcentaje de eficiencia de remoción de los diferentes parámetros en los filtros aplicados. A) pH; B) DBO; C) DQO; D) CE; E) SST.

3.2 Comportamiento de los parámetros

Todas las variables se correlacionan positivamente. El pH tiene una correlación moderada con todas las variables, excepto con el DQO. La CE, se correlaciona positivamente de forma alta a muy alta con SST, DQO y DBO. Asimismo, para SST la correlación es positivamente de forma moderada con DQO y alta con DBO. Finalmente, DQO se correlaciona positivamente de forma baja con DBO.

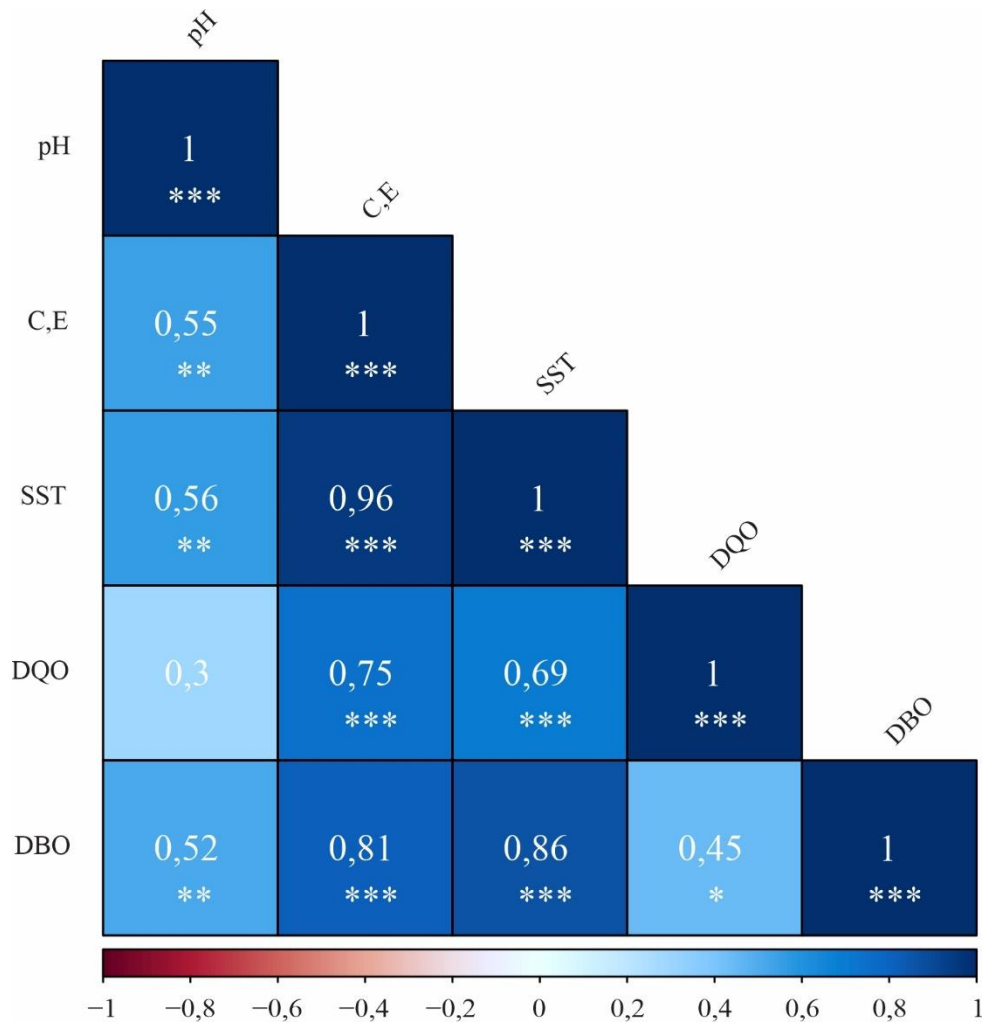


Figura 6. Gráfico de correlación de las diferentes variables de estudio (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$).

3.3 Selección del filtro que mejor se adapte al tratamiento.

Tras aplicar la ACP, se puede comprobar que nuestras variables, se pueden reducir a dos componentes, usando la técnica del codo (Figura 7).

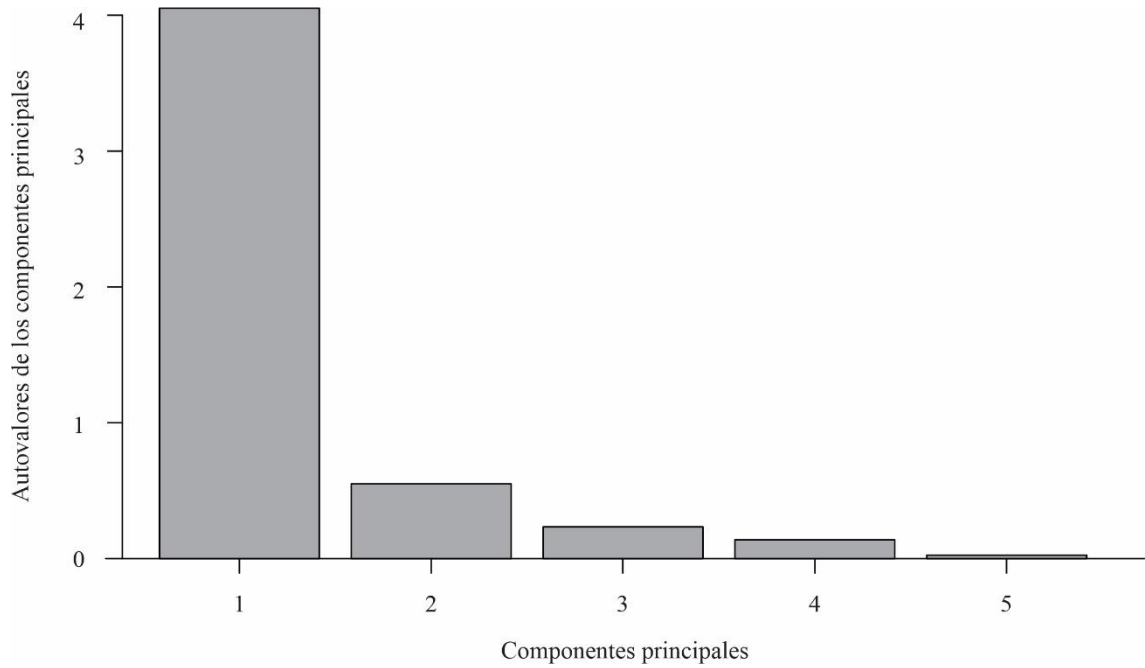


Figura 7. Gráfico de autovalores y componentes principales del ACP

Las dos componentes seleccionadas, explican el 92.0% de la varianza de los datos (Figura 8). Se puede comprobar que F1 no se encuentra relacionado casi con los parámetros. Sin embargo, tanto F2 como F4 son los que más influyen en el comportamiento de los parámetros como DBO, SST, pH y CE. Por último, se puede comprobar que tanto F3 como F5 son los filtros que más influyen en el comportamiento del DQO.

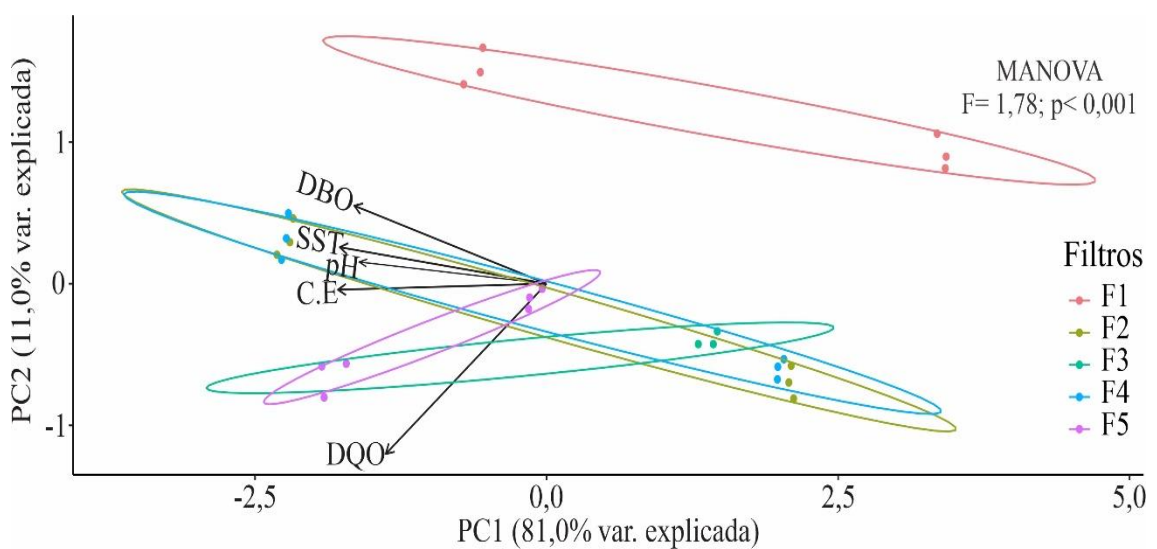


Figura 8. ACP y MANOVA del comportamiento de los filtros diseñados y evaluados.

3.4 Comparación normativas nacionales e internacionales

Se puede comprobar que, para todos los parámetros evaluados, los valores a la entrada del filtro, son superiores a los de la salida excepto para los valores de CT (Figura 9). El pH en la entrada se ajusta a todas las normativas evaluadas. Sin embargo, en todos los resultados de salida se ajusta a todos los países con excepción a Perú, siendo este el país más exigente en los valores de pH y siendo el país menos exigente Argentina (Figura 9A). Sin embargo, para CE, no hay un límite establecido para ninguna de las normativas. Por tanto, se tomó el valor establecido en los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) de Perú para la subcategoría de aguas que pueden ser potabilizados con tratamiento avanzados (MINAM, 2017), encontrando que tanto los valores de entrada y salida, cumplen con el límite establecido (Figura 9B). En lo que respecta a la comparación de los SST, se comprueba que los valores tanto de entrada como de salida son muy superiores a los establecidos en los LMP de las normativas aplicadas (Figura 9C). Cabe destacar que EE.UU. es el país más exigente y Perú el menos exigente. Consiguientemente, respecto al DQO, se comprueba que los valores de entrada y salida de los tratamientos cumplen con los LMP de las normativas nacionales e internaciones evaluadas (Figura 9D). Cabe resaltar que en este caso el país más exigente es México y el menos exigente Perú. En lo que respecta a la comparación del DBO con las normativas nacionales e internacionales evaluadas, se comprueba que los valores de entrada no se ajustan a todas las normativas, en el cual se tienen valores superiores a 25 superando a los LMP establecidos en Europa que es el más exigente. Sin embargo, los valores de salida cumplen con todas las normativas incluso con las más exigentes que son Europa y EE.UU. (Figura 9E). Finalmente, respecto a la comparación de los CT, se pudo comprobar que los valores de la PTAR en estudio presentan valores muy altos, sobrepasando los valores establecidos en las normativas evaluadas. Además, cabe destacar que después del filtrado se sigue presenciando los mismos valores que superan a los establecidos en los LMP (Figura 9F).

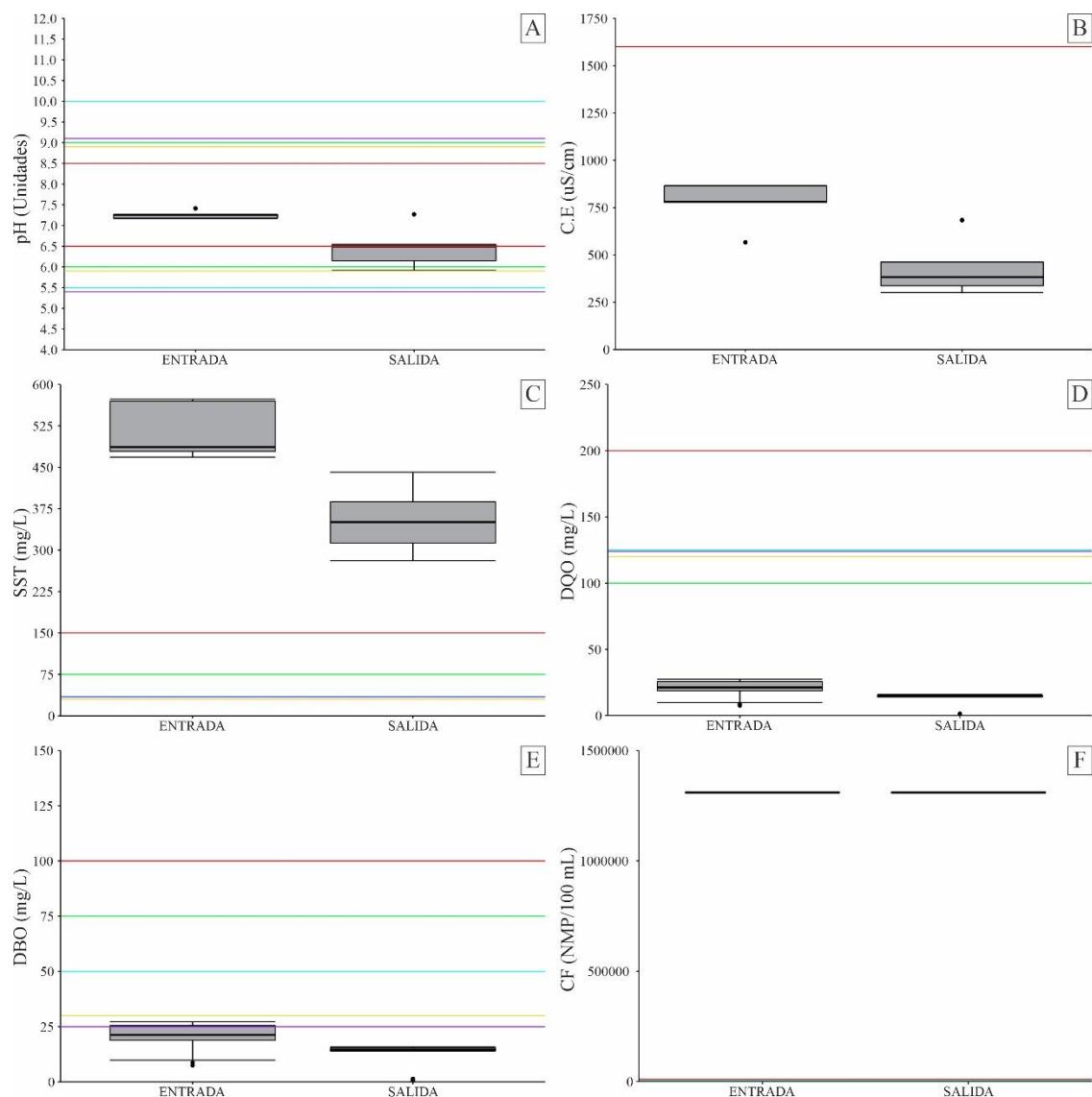


Figura 9. Comparación de los parámetros en los tratamientos de entrada y salida de los filtros con normativas internacionales (Perú = Línea roja, Argentina = Línea celeste, México = Línea verde, EE.UU. = Línea amarilla y Europa = Línea morada).

IV. DISCUSIONES

4.1 Eficiencia de los filtros de CA para las variables estudiadas.

El CA es un material obtenido muy importante para sus aplicaciones en diferentes campos no solo por su buena eficiencia demostrada en muchas investigaciones, sino también por su bajo costo, porosidad bien desarrollada y estabilidad química favorable (Gao, et al., 2020). No obstante, el rendimiento del carbón activado está relacionado a diferentes factores en su elaboración, haciendo énfasis en la temperatura de activación y su posterior lavado. Para establecer el rango de temperatura también depende su relación con el

precursor. Una temperatura excesiva va influir en la disminución del rendimiento del carbono y también en su área superficial (Liang et al., 2020), de acuerdo a ello lo más recomendable para la activación del CA es una temperatura entre 450 a 800 °C lo cual mantiene una estrecha relación con lo empleado en nuestro estudio, en el cual se empleó una temperatura de 600°C (Gao, et al., 2020). Por otro lado, para que el CA tenga mayor eficiencia, el proceso de lavado es muy importante, ya que para mejorar la estructura porosa es necesario que los espacios de poros ocupados sean liberados (Sych et.al., 2012). De esta manera, en el caso de la cascarilla de arroz se ve afectada por la presencia de residuos inorgánicos, como por ejemplo la SiO₂, es por ello que repetir el lavado es un proceso sumamente importante, proceso que se relaciona a nuestro estudio en el cual se lavó varias veces el CA con agua destilada a 100°C hasta mejorar la calidad del pH (Menya, et al., 2018).

Por otro lado, entre las cascaras de los frutos que son eficientes al utilizarse como CA, cabe destacar la del coco, es la más usada para la fabricación de CA y aplicados para el tratamiento de aguas residuales a través de filtros (Jjagwe, et al., 2021). Sin embargo, la eficiencia del CA obtenido depende del modo de la activación, proceso en el cual se sumerge el precursor en un agente activante químico o físico (Kasmierczak, et al., 2021). Por tanto, independientemente del precursor seleccionado (cáscara de coco, cascarilla de arroz, etc.), cuanto más tiempo este sumergido en el activante, presentará mayor eficiencia (Litfi et al., 2021). Esto se debe a que aumenta el número de poros en el precursor y por tanto se tiene una mayor superficie de adsorción (Pelekani & Snoeying, 1999).

Asimismo, a pesar que estos materiales brindan buena eficiencia en el tratamiento de contaminantes, el aprovechamiento de estos residuos resulta ser muy importante en este presente estudio, debido a que se está dando una visión enfocada hacia la economía circular (Cabrera, et al., 2021). La economía circular conlleva a realizar estrategias de valorización y la reutilización de productos para darles un mayor valor y uso posterior (Acevedo, et al., 2020). Por lo tanto, la gestión eficiente de las materias primas es una estrategia valiosa para la economía circular de tal manera que se minimiza los desechos y la contaminación de medios (Van Fan, et al., 2019). De esta manera contribuye a avanzar hacia el desarrollo sostenible (Arias, et al., (2021). Sin embargo, para que la transición a la economía circular sea exitosa se necesita de estrategias que ayuden a tener un equilibrio en el desarrollo industrial y económico, conservación y protección del medio

ambiente y muchas más estrategias que permitan el uso eficiente de los recursos (Kapoor, et al., 2020). En este sentido, se busca el aprovechamiento de residuos que para su generador ya no tiene vida útil, por ello en este estudio se buscó desarrollar una tecnología que ayude a minimizar los contaminantes que presentan nuestros medios. No solo se está enfocando a la economía circular con el aprovechamiento de residuos para la elaboración de CA, sino también al tratamiento de las aguas residuales que en base a la eficiencia de remoción del CA se puede volver a reutilizar estas aguas residuales para fines distintos.

4.2 Comportamiento de los parámetros en los filtros.

Respecto al comportamiento de los parámetros de estudio, el carbón activado proveniente de materiales carbonosos presenta una disminución significativa de sus concentraciones en las aguas residuales (Mendoza & Pincay, 2019). Por lo tanto, para tener mayor disminución de estos parámetros se determina que a mayor tiempo de contacto entre el agua residual y el CA se obtienen mayores porcentajes de remoción de los contaminantes (Méndez, *et.al.*, (2009). Por tanto, el tiempo óptimo para una mayor eficiencia del CA es hasta alcanzar 24 horas de contacto, posterior a este lapso de tiempo la eficiencia vuelve a disminuir (Esquerdo, et al., 2021).

Por otro lado, el CA obtenido brinda resultados óptimos en la disminución de contaminantes presentes en el agua, tales como los parámetros fisicoquímicos, materia orgánica, microbiológico, etc. (pH, BDO, DQO, CE, SST, CT, etc.) del agua residual en estudio (Menya, et al., 2018). De esta manera, la eficiencia del CA respecto a los parámetros de estudio también depende de gran forma en la calidad de la granulometría, mientras menor es el tamaño, mayor es la capacidad de adsorción que posee (Sansom & Arjuman, 2015). En comparación, los resultados encontrados en esta investigación respecto a la DBO, el cual se tiene un porcentaje de remoción del 91.97 y 88.53 % en el F2 y F4 respectivamente, presenta mayor eficiencia a lo que sostiene Fernández & Sánchez (2016), estudio en el cual mediante dos prototipos (Filtros) obtuvieron resultados de un 79.17 % de remoción en DBO. Sin embargo, se encuentra semejanzas de eficiencia con este estudio con los filtros 3, 1 y 5 con porcentajes de 83.59, 81.17 y 78.34 % respectivamente. Del mismo modo, en cuanto al pH en los diferentes tratamientos, los hallazgos mantienen una relación ya que en ambos estudios se evidencia una disminución en dicho parámetro. Por otro lado, en la eficiencia de SST, Fernández & Sánchez, obtuvieron -25 y -50 % de remoción, teniendo mayor concentración de SST en la salida que en la entrada, caso contrario a este estudio en el cual se logró porcentajes positivos

de remoción de SST. Debido a que, previo a la filtración se hizo un lavado de los filtros con agua potable, para eliminar todas las partículas que puedan influenciar en las muestras a analizar. Asimismo, es importante recalcar que el CA obtenido no solo se puede aplicar en tratamiento de aguas residuales, sino también en contaminantes presentes en el aire, en el suelo, para fines médicos y entre muchos otros campos (Sugashini & Begum 2015).

4.3 Aplicación de filtros de CA para tratamiento de aguas residuales

El uso de filtros es posible y sugerido en el empleo para el tratamiento de aguas residuales (Landin & Tovar, 2017). Entonces, en pruebas realizadas para determinar el funcionamiento de los filtros se demuestra que, si son óptimos, presentando reducción de contaminantes desde un 75 % en adelante (Bernal et al., 2011), estos valores obtenidos mediante el uso de filtros de CA tienen sus coincidencias y discrepancias con el presente estudio, en el cual en algunos parámetros se obtuvieron eficiencias hasta 91% y en otros con un valor mínimo de 12%. Respecto al funcionamiento de los filtros para pH, en un estudio se aplicó en tres tratamientos, obteniendo resultados de 6.8, 6.91 y 6.99 respectivamente (Mendoza & Pincay, 2019), en relación a este parámetro el que tiene mayor semejanza a este rango de valores en esta investigación son el F4 y F5 con valores que además cumplen con los LMP. En cambio, el F1, F2 y F3 presentan diferencias en la variación, filtros que redujeron los valores de pH en las muestras y sobretodo se encuentran por debajo de los valores establecidos en los LMP.

Por otro lado, existen otros parámetros que son muy importantes evaluarlos empleando medios filtrantes para determinar la calidad de agua. Por ello, Azabache, et. al. (2022), evaluó la eficiencia del CA de coco para remover turbidez y color mediante el uso de 2 filtros, estudio en el cual logró un valor promedio del 97 % de eficiencia para ambos parámetros. Sin embargo, en este estudio de investigación no se evaluaron estos parámetros, pero se puede notar a simple vista que hubo buena remoción en todos los filtros aplicados, por lo que la aplicación de filtros de CA es recomendable para mejorar la calidad del agua, del aire, entre otros (Sugashini & Begum 2015).

4.4 Los LMP según normativas nacionales e internacionales.

Finalmente, el estudio también nos permitió verificar las comparaciones con las normativas nacionales e internacionales de los LMP para PTAR (Tabla 4), esto se hizo para ver el cumplimiento acerca de los efluentes depositados en cuerpos de agua. Perú, mediante DS-003-2010-MINAM de marzo del 2010, establecen los LMP para efluentes

de una PTAR, sin embargo, desde el año en el que se aprobó dicha normativa no se ha actualizado hasta el momento, ni se realizan monitoreos por parte de las autoridades, por lo que esta normativa presenta valores poco exigentes respecto a las demás normativas en comparación. Por otro lado, Argentina mediante Res. 79.179/90 aprueba los LMP para los vertidos de aguas residuales en el cual exige que se garanticen el adecuado manejo de las aguas residuales con el fin de no perjudicar a terceros. Asimismo, México mediante su Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, establece los LMP de contaminantes en descargas de aguas residuales, en el cual se advierte de rebasar los LMP establecidos el responsable tendrá que presentar un programa de acción de manera obligatoria en un plazo no mayor a 180 días, además, la periodicidad de análisis lo realizan de acuerdo al número de habitantes, no excediendo el tiempo de análisis semestral. De igual manera, EE. UU., mediante normativa EPA-833-K-10-001 de septiembre del 2010, establece los LMP para descargas de aguas residuales en el que se fija también que los monitoreos se deben realizar de manera constante para verificar el cumplimiento de las descargas y también se actualiza los valores de LMP para cada contaminante de forma anual. Finalmente, la Comunidad Económica Europea (CEE), mediante DIRECTIVA 91/271/CEE, define los LMP para las aguas residuales urbanas y fija la frecuencia de muestreo para el cumplimiento de la normativa, la frecuencia es 4 muestras por año siempre y cuando se evidencie que el vertido durante el primer año es conforme a la normativa, caso contrario se toman 12 muestras al año siguiente, y todos estos valores se siguen actualizando periódicamente para exigir que los tratamientos de aguas residuales sean más amigables al medio ambiente. Por lo tanto, los valores establecidos en los LMP de Perú no se actualizan de manera constante y son poco exigentes en comparación a los demás. Sin embargo, para DQO, DBO, pH, son los parámetros que se ajustaron muy bien a los LMP establecidos con los resultados de tratamiento de este presente estudio.

V. CONCLUSIONES

5.1 El CA obtenido que se utilizó en los diferentes modelos de filtros han demostrado buena eficiencia de remoción en casi todos los parámetros de estudio aplicado a las aguas residuales de la PTAR El Molino en Chachapoyas. Sin embargo, en el parámetro microbiológico (CT) no se ha notado eficiencia de remoción para ningún filtro empleado.

5.2 El comportamiento de los parámetros en los filtros, demostraron que todas las variables varían en el mismo sentido, de esta manera presentando una correlación de forma positiva para todos.

5.3 A nivel general, los filtros que mejor se adaptan al tratamiento son el F4 y el F2. Sin embargo, el filtro que mejor resultados proporcionó en la mayoría de los parámetros es el Filtro F4, excepto por su débil porcentaje de remoción en DQO.

5.4 Los parámetros estudiados que mejor se ajustan a las normativas de LMP fijado en los diferentes países son la BQO y DBO, parámetros en los que se tuvieron mayor eficiencia de remoción en los filtros F1 y F2.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda que el CA obtenido en el presente estudio se complemente con la caracterización estructural, análisis fisicoquímico, como también su pH, tamaño de partículas, humedad, rendimiento de la materia prima, cantidad de cenizas, grupo funcional. Del mismo modo, determinar la influencia del agente activante en los tamaños de poros y propiedades de adsorción, para que dicho estudio sea aplicado en una industria u otro campo.

Asimismo, se recomienda seguir el estudio con pruebas de filtración en lapsos de tiempo y determinar en qué momento se necesita de una nueva regeneración del CA para seguir siendo eficiente.

Por otro lado, las aguas residuales no contienen de contaminantes solo los parámetros estudiados en esta investigación, existen diversos contaminantes presentes que al ser vertidos en cuerpos de aguas atentan contra la salud de especies acuáticas y también de otros seres vivos, por lo que se sugiere evaluar el funcionamiento de este CA en los diferentes contaminantes del efluente de aguas residuales y comparar los resultados.

Para mejorar la calidad de filtración se recomienda realizar una adaptación de un prototipo o sistema que efectúe mejor presión sobre el fluido para que la filtración sea más rápida. De igual manera, para su aplicación en una industria se recomienda ver que materiales se puede utilizar en reemplazo al algodón, como, por ejemplo, usar telas de filtración y ver cuál es la más eficiente.

Mediante el presente estudio se recomienda que los valores establecidos en los LMP por el Ministerio del Ambiente en Perú se actualicen de manera progresiva y que se establezca valores más exigentes para sus efluentes de las PTAR. Al mismo tiempo, recomendar que se hagan monitoreos constantes acerca del funcionamiento de las PTAR, debido a que en nuestro país existe muchas PTAR que se encuentran sin funcionamiento y en abandono.

La gestión de residuos desechados presenta una variedad de problemas desde su segregación hasta su tratamiento para cerrar el ciclo. Sin embargo, se recomienda realizar investigaciones futuras que se desarrollen prototipos hacia la implementación real que enfrentamos en nuestro país. Día a día se generan enormes cantidades de residuos con grandes propiedades carbonosas para la elaboración de CA y entre otras cosas. De esta manera, visionando a la economía circular y a la conservación del medio ambiente para un desarrollo sostenible.

Se recomienda utilizar otras materias primas para la elaboración de CA que permitan mejorar la calidad de los vertidos de agua, mejorar la calidad del aire, y de esta manera también propiciando a la economía circular de poder aprovechar aquellos recursos o materiales que son desechados y presentan daños al medio ambiente.

El agua es un recurso muy utilizado en la vida diaria. Sin embargo, cada día se está perdiendo muchas fuentes de recursos hídricos debido a la contaminación. Por lo tanto, se recomienda la implementación de una economía circular que nos permita desarrollar estrategias y tecnologías que ayuden al tratamiento de las aguas naturales y residuales para aprovecharlos de manera eficiente y contribuir a la mejora de nuestro medio ambiente y calidad de vida de los seres vivos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, V., Rosales, E., Puga, A., Pazos, M., & Sanromán, M. A., (2020). Synthesis and use of efficient adsorbents under the principles of circular economy: Waste valorisation and electroadvanced oxidation process regeneration. *Separation and Purification Technology*, 242, 116796.
- Agustin-Valverde, G., Bienvenido-Sarria, L., & Monteagudo, J. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica*, (9783319521916), 453–464. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52192-3_44
- Alinnor, I. J. (2007). Adsorption of heavy metal ions from aqueous solution by fly ash. *Fuel*, 86(5–6), 853–857. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.08.019>
- Amenorfenyo, D. K., Huang, X., Zhang, Y., Zeng, Q., Zhang, N., Ren, J., & Huang, Q. (2019). Microalgae brewery wastewater treatment: Potentials, benefits and the challenges. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(11). <https://doi.org/10.3390/ijerph16111910>
- APHA, AWWA, & WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (R. B. Baird, A. D. Eaton, & E. W. Rice, Eds.). Washington DC, EEUU: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation.
- Arias, B. G., Merayo, N., Millán, A., & Negro, C. (2021). Sustainable recovery of wastewater to be reused in cooling towers: Towards circular economy approach. *Journal of Water Process Engineering*, 41, 102064.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. *Ministerio de Agricultura y Riego, Perú*.
- Azabache, Y. F., Santillán, K. M., Rodríguez, R. F., Guerrero, A. E., & Mendiola, A. R. (2022). Removal of Color and Turbidity in Runoff Water using Coconut (Cocos Nucifera) Endocarp Activated Carbon. *Chemical Engineering*, 93(June), 355–360. <https://doi.org/10.3303/CET2293060>

- Bañuelos, J. A. (2015). Tratamiento de agua contaminada mediante el uso de un electrodo tridimensional de carbón activada y/o modificada con hierro acoplado a un proceso fenton electroquímico. [Tesis de doctorado, CIDETEQ]. Repositorio Institucional CIDETEQ. <http://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1021/220>
- Baresel, C., Harding, M., & Fang, J. (2019). Ultrafiltration/granulated active carbon-biofilter: Efficient removal of a broad range of micropollutants. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/app9040710>
- Baron Sanchez, I. N. (2016). *Determinación de las variables que afectan la eficiencia técnica en la producción de arroz de la provincia de Bagua, Amazonas-2016*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio Institucional UNTRM.
- Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., ... فاطمی, ح. (2015). *Toxic Cyanobacteria in Water. Syria Studies* (Vol. 7). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civil_wars_12December2010.pdf%0Ahttps://thinkasia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625
- Bernal-Martínez, L. A., & Colín-Cruz, A., & Linares-Hernández, I., & Barrera-Díaz, C., & Solís-Morelos, C. (2011). Tratamiento de agua residual municipal por un sistema fisicoquímico y oxidación química en flujo continuo. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2 (2),69-81. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323627682007>
- Cabrera-Codony, A., Ruiz, B., Gil, R. R., Popartan, L. A., Santos-Clotas, E., Martín, M. J., & Fuente, E. (2021). From biocollagenic waste to efficient biogas purification: Applying circular economy in the leather industry. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101229.
- Camacho-Ballesteros, A., Ortega-Escobar, H. M., Sánchez-Bernal, E. I., & Can-Chulim, Á. (2020). Indicadores de calidad físico-química de las aguas residuales del estado de Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 361-375.
- Carrillo, C. C. (2013). Producción de carbón activado y sílice a partir de cascarilla de arroz - una revisión. *Scientia Et Technica*, 18(2),422-429. [fecha de Consulta 22 de

abril de 2022]. ISSN: 0122-1701. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84929153019>.

CEE (Comunidad Económica Europea). (1991, 21 de mayo). *Directiva 91/271/CEE: tratamiento de las aguas residuales urbanas*. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1991-80646>

DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM. (2017). Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. *El Peruano*. Retrieved from <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

Esquerdo, A. A., Gadea, I. S., Galvañ, P. J. V., & Rico, D. P. (2021). Efficacy of atrazine pesticide reduction in aqueous solution using activated carbon, ozone and a combination of both. *Science of the Total Environment*, 764, 144301.

Fernández, E. J., & Sánchez, K. L. (2016). *Evaluación de un lecho filtrante, utilizando mesocarpo de coco (cocos nucifera), para el tratamiento de aguas residuales de la Empacadora de Banano Algarrobo I, Sullana 2015*. [tesis de doctorado, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio Institucional USS. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/839>

Gamarra, O. A., Barrena Gurbillón, M. A., Barboza Castillo, E., Rascón Barrios, J., Corroto, F., & Taramona Ruiz, L. A. (2018). Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 25(1), 179-194.

Gao, Y., Yue, Q., Gao, B. y Li, A. (2020). Insight into activated carbón from diferente kinds of chemical activating agents: A review. *Science of the Total Environment*, 746, 141094. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141094>.

Garrido-Cardenas, J. A., Esteban-García, B., Agüera, A., Sánchez-Pérez, J. A., & Manzano-Agugliaro, F. (2020). Wastewater treatment by advanced oxidation process and their worldwide research trends. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph17010170>

Gibson, K. E. (2014). Viral pathogens in water: Occurrence, public health impact, and available control strategies. *Current Opinion in Virology*, 4, 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2013.12.005>

- Granata, F., Papirio, S., Esposito, G., Gargano, R., & Marinis, G. De. (2017). Machine Learning Algorithms for the Forecasting of Wastewater Quality Indicators. *Water*, 1–12. <https://doi.org/10.3390/w9020105>
- Gupta, A., Sharma, V., Sharma, K., Kumar, V., Choudhary, S., Mankotia, P., ... Mishra, P. K. (2021). A review of adsorbents for heavy metal decontamination: Growing approach to wastewater treatment. *Materials*, 14(16), 1–45. <https://doi.org/10.3390/ma14164702>
- Hamilton, D., & Zhang, H. (2011). *Solids content of wastewater and manure*. Oklahoma Cooperative Extension Service.
- Higuera-Infante, S. K. (2017). Biofiltro con cascarilla de arroz y pasto vetiver (C. Zizanioides) para el tratamiento del efluente de la PTAR del INPEC – Yopal, Casanare, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 107–118. <https://doi.org/10.22490/21456453.1842>
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). (2017). *Perú: Crecimiento y distribución de la población total, 2017*.
- Jjagwe, J., Olupot, P. W., Menya, E., & Kalibbala, H. M. (2021). Synthesis and application of Granular activated carbon from biomass waste materials for water treatment: A review. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 6(4), 292-322.
- Jorge, N., Teixeira, A. R., Matos, C. C., Lucas, M. S., & Peres, J. A. (2021). Combination of coagulation–flocculation–decantation and ozonation processes for winery wastewater treatment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16). <https://doi.org/10.3390/ijerph18168882>
- Jouanneau, S., Recoules, L., Durand, M. J., Boukabache, A., Picot, V., Primault, Y., ... & Thouand, G. (2014). Methods for assessing biochemical oxygen demand (BOD): A review. *Water research*, 49, 62-82.
- Kapoor, R., Ghosh, P., Kumar, M., Sengupta, S., Gupta, A., Kumar, S. S., & Pant, D. (2020). Valorization of agricultural waste for biogas based circular economy in india: a research outlook. *Bioresour Technol*, 304, 123036.
- Kazmierczak-Razna, J., Kasprzak, D., Walkowiak, M., Pietrzak, R., & Nowicki, P. (2021). N-doped sawdust-based activated biocarbons prepared by microwave-

- assisted heat treatment as potential electrode materials for supercapacitors. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 41(6), 307-320.
- Koshy, N., & Singh, D. N. (2016). Fly ash zeolites for water treatment applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(2), 1460–1472. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.02.002>
- Kumar, B., Smita, K., Sánchez, E., Stael, C., & Cumbal, L. (2016). Andean Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) shell biomass as new biosorbents for Pb²⁺ and Cu²⁺ ions. *Ecological Engineering*, 93, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.034>
- Landin, K. S. E., & Tovar, D. A. N. (2017). Elaboración de un filtro de agua a partir de residuos domésticos. *Jóvenes en la ciencia*, 3(2), 802-806.
- Lazo-Camposano, R. (2015). *Operaciones y procesos para la producción de carbon activado a partir de cáscara de coco*. Universidad del Callao.
- Liang, Q., Liu, Y., Chen, M., Ma, L., Yang, B., Li, L. y Liu, Q. (2020). Optimized preparation of activated carbon from coconut shell and municipal sludge. *Materials Chemistry and Physics*, 241, 122327.
- Licciardello, F., Milani, M., Consoli, S., Pappalardo, N., Barbagallo, S., & Cirelli, G. (2018). Wastewater tertiary treatment options to match reuse standards in agriculture. *Agricultural Water Management*, 210(June), 232–242. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.001>
- Luo, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Zhang, J., Wang, X. C. (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 473–474, 619–641. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.065>
- Lutfi, M., Susilo, B., Prasetyo, J. y Prajogo, U. (2021). Characteristics of activated carbon from coconut shell (*Cocos nucifera*) through chemical activation process. *Earth and Environmental Science* (Vol. 733, No. 1, p. 012134). Publicación IOP.
- Marković, S., Stanković, A., Lopičić, Z., Lazarević, S., Stojanović, M., & Uskoković, D. (2015). Application of raw peach shell particles for removal of methylene blue.

- Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(2), 716–724.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.04.002>
- Martínez, M. C. (2012). *Preparación y caracterización de carbón activo a partir de lignina para su aplicación en procesos de descontaminación de aguas*. [Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Madrid]. Repositorio Institucional UAM.
<http://hdl.handle.net/10486/12833>
- Medina, K. D. & Manrique, R. A. (2018). Uso del Carbón Activado para el tratamiento de aguas. Revisión y estudios de caso. *Revista Nacional de Ingeniería*. 1(1), 8-21.
<http://orcid.org/0000-0003-2879-1249>
- Melendez-Herrera, I. P., & Ocampo-Tello, R. M. (2018). *Efecto del volumen de peróxido de hidrógeno y tiempo de reacción en el tratamiento de aguas residuales, Chachapoyas, Amazonas*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.
- Méndez, R. I., Castillo, E. R., Sauri, M. R., Quintal, C. A., Giacomán, G., & Jiménez, B. (2009). Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(3), 133-145.
- Mendoza, M. A., & Pincay, J. A. (2019). *Eficiencia de carbón activado procedente del coco (Cocos nucifera) en remoción de sólidos en aguas residuales de la empacadora de pescado FRESCODEGFER*. [Tesis de doctorado, ESPAMMFL]. Repositorio Institucional ESPAM. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1196>
- Menya, E., Olupot, P. W., Storz, H., Lubwama, M. y Kiros, Y. (2018). Production and performance of activated carbon from rice husks for removal of natural organic matter from water: A review. *Chemical Engineering Research and Design*, 129, 271-296.
- Mesmer, R. E, Holmes, H. F. (1972). pH, Definition and Measurement at High Temperatures. *Journal of Solution Chemistry*. 21, 725–744 (1992). <https://doi.org/10.1007/BF00651506>
- Metzger, S., Tjoeng, I. O., Rößler, A., Schwentner, G., & Rölle, R. (2014). Kosten der Pulveraktivkohleanwendung zur Spurenstoffelimination am Beispiel ausgeführter und in Bau befindlicher Anlagen (Cost of PAC use for the removal of organic micropollutants by the example of realized treatment plants and plants under construction). *KA - Korrespondenz Abwasser Abfall*, 61(11/14), 1029–1037.

<https://doi.org/10.3242/kae2014.11.007>

MINAM (Ministerio del Ambiente). (2010, 27 de marzo). *Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*. Diario el Peruano. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles-lmp-efluentes-plantas-tratamiento-aguas>

Nossa, Y. A. (2017). Confirmación e implementación del método sólidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables bajo los lineamientos del estándar methods for the examinación of water and wastewater 22nd edición de 2012 en el laboratorio de ensayos de aguas, Aguas Kpital Cúcuta sa esp.

OEFA (Organismo de evaluación y fiscalización ambiental). (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. *Obtenido en: <https://www.oefa.gob.pe>*.

OEFA (Organismo de evaluación y fiscalización ambiental). (2016). INFOR. 0459-2016-OEFA-DS-SEP. *Municipalidad Provincial Chachapoyas*. Chachapoyas.

ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2021). Perspectivas de la Población Mundial. *Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División de Población. Nueva York, Estados Unidos: ONU, 1, 1–4*. Retrieved from https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_PressRelease_ES.pdf

Park, J. E., Lee, G. B., Hong, B. U., & Hwang, S. Y. (2019). Regeneration of activated carbons spent by waste water treatment using KOH chemical activation. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(23). <https://doi.org/10.3390/app9235132>

Pelekani, C., & Snoeyink, V. L. (1999). Competitive adsorption in natural water: role of activated carbon pore size. *Water research*, 33(5), 1209-1219.

Pereira, F. R., Galvão, R. B., Alves, G. J., Almeida, P. H. y Cícero, A. (2018). Wastewater treatment using adsorption process in column for agricultural purposes. *Ambiente y Água*, 14(1), doi:10.4136/ambi-agua.2178.

PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente). (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Que establece los limites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas en aguas y

- bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federacion, SEMARNAT-Secretaria de Gobernacion*.
- Quispe, R., Soto, M., Ingaruca, E., Bulege, W., & Custodio, M. (2019). Optimization of the operation of a municipal wastewater treatment plant with hydrocotyle ranunculoides. *Journal of Ecological Engineering*, 20(9).
- Rahman, I. A, Ismail, J. y Osman, H. (1997). Efecto de la digestión con ácido nítrico sobre materiales orgánicos y sílice en la cáscara de arroz. *Revista de química de materiales*, 7 (8), 1505-1509. <https://doi.org/10.1039/A700823F>
- Rascón, R., Gosgot Angeles, W., Oliva-cruz, M., & Barrena-Gurbillón, M. Á. (2022). Wind Characteristics and Wind Energy Potential in Andean Towns in Northern Peru between 2016 and 2020 : A Case Study of the City of Chachapoyas. *Sustainability*, 14, 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su14105918>
- Renu, Agarwal, M., & Singh, K. (2017). Heavy metal removal from wastewater using various adsorbents: A review. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 7(4), 387–419. <https://doi.org/10.2166/wrd.2016.104>
- Rodríguez, J. P. (2011). *Modificación y Caracterización Calorimétrica de Carbón Activado Granular, para la Remoción de Cd (II) y Ni (II) en Adsorción Simple y Competitiva*. [tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UN. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9539>
- Rodríguez, Y. M., Salinas, L. P., Ríos, C. A. y Vargas, L. Y. (2012). Adsorbentes a base de cascarilla de arroz en la retención de cromo de efluentes de la industria de curtiembres. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 10(1), 146-156.
- Sabara, Z., Anwar, A., Yani, S., Prianto, K., Junaidi, R., & Umam, R. (2022). Activated Carbon and Coconut Coir with the Incorporation of ABR System as Greywater Filter : The Implications for Wastewater Treatment. *Sustainability*.
- Saboya, X. V. (2020). Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas. *Revista Muro de la Investigación*, 6(1), 60-83.

- Sansom, M. L., & Arjuman, S. S. (2015). Activated carbon from rice husk for treating dye waste water. *Internasional Journal of Green Chemistry*, 1(1), 1-9.
- SRNAH (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano). (1992, 14 de octubre). *Modificanse los valores de los Límites Transitoriamente Tolerables establecidos en Resolución N° 79.179-OSN. Boletín Nacional.* <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-314-1992-26496>
- Sengupta, P. K. (2017). Water quality standards and water pollution. *Great Britain, England*. 1(1). 195-245. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119272496.ch6>.
- Silva López, J. O., Salas López, R., Rojas Briceño, N. B., Gómez Fernández, D., Terrones Murga, R. E., Iliquín Trigos, D., ... Barrena Gurbillón, M. Á. (2022). Analytic Hierarchy Process (AHP) for a Landfill Site Selection in Chachapoyas and Huancas (NW Peru): Modeling in a GIS-RS Environment. *Advances in Civil Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/9733322>
- Singh, N. B., Nagpal, G., & Agrawal, S. (2018). Environmental Technology & Innovation Water purification by using Adsorbents : A Review. *Environmental Technology & Innovation*, 11, 187–240. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.05.006>
- Suarez, D. (2006). Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas. *Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica>*.
- Suárez, I. E. (2018). *Influencia de la concentración en la solución acida de activación y del tiempo de calcinación en la propiedad textural de adsorción de carbón activado preparado con cascara de coco*. [tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio de Tesis Digitales UNMSM. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/11202>
- Sugashini, S. y Begum, KMMS (2015). Preparación de carbón activado a partir de cascarilla de arroz carbonizada por activación con ozono para la eliminación de Cr (VI). *Nuevos materiales de carbono*, 30 (3), 252-261. DOI: 10.1016/S1872-5805(15)60190-1.
- Sych, N. V., Trofymenko, S. I., Poddubnaya, O. I., Tsyba, M. M., Sapsay, V. I.,

- Klymchuk, D. O., Puziy, A. M. (2012). Porous structure and surface chemistry of phosphoric acid activated carbon from corncob. *Applied Surface Science*, 261 , 75-82.
- Thellmann, P., Greiner-Perth, K., Jacob, S., Knoll, M., Schäfer, M., Stängle, M., ... Triebkorn, R. (2017). Does Waste Water Treatment Plant Upgrading with Powdered Activated Carbon Result in Reduced Water and Sediment Toxicity of the Receiving Stream? *International Journal of Water and Wastewater Treatment*, 3(2). <https://doi.org/10.16966/2381-5299.141>
- UNESCO. (2017). *The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource. The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource. Paris, UNESCO.*
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). (2010, 31 de agosto). *National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) Permit Writers' Manual.*
- Van Fan, Y., Lee, C. T., Lim, J. S., Klemeš, J.J., & Le.,T.K., (2019). Cross-disciplinary approaches towards Smart, resiliente and sustainable circular rconomy. *Journal of Cleaner Production*, 232, 1482-1491.
- Viana, A. M., Bettencourt, R. J., & Camoes, M. F. G. (2011). Optimization of the determination of chemical oxygen demand in wastewaters. *Analytica chimica Acta*, 699(2), 161-169.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). (2015). *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World.* Paris, France.
- Yakout, S. M. (2014). Removal of the hazardous, volatile, and organic compound benzene from aqueous solution using phosphoric acid activated carbon from rice husk. *Chemistry Central Journal*, 8(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s13065-014-0052-5>
- Yalcinkaya, F., Boyraz, E., Maryska, J., & Kucerova, K. (2020). A review on membrane technology and chemical surface modification for the oily wastewater treatment. *Materials*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/ma13020493>

Yousef, R., Qiblawey, H., & El-Naas, M. H. (2020). Adsorption as a process for produced water treatment: A review. *Processes*, 8(12), 1–22.
<https://doi.org/10.3390/pr8121657>

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Punto de la recolección de las muestras



Coordenadas

Lat Long	<u>-6.2454513,-77.8931551</u>
UTM	<u>179828.53E 9308782.632N 18M</u>
MGRS	18MSU 79829 08783
EPSG:4326	<u>-77.8931551 -6.2454513</u>
Elevación	<u>2079.56 m</u>
Elev. (msl)	<u>2060.74 m asl.</u>
Exactitud	5.62 m
Ángulo	70.55° Declinación: -3.37°
Velocidad	<u>0.12 km/h</u>
P/H/V DOP	1.0/0.7/0.8

Anexo 2. Trituración y limpieza de los precursores.



Anexo 3. Secado después de la limpieza y lavado con agua destilada.



Anexo 4. Carbonización del precursor.



Anexo 5. Molienda del material carbonizado.



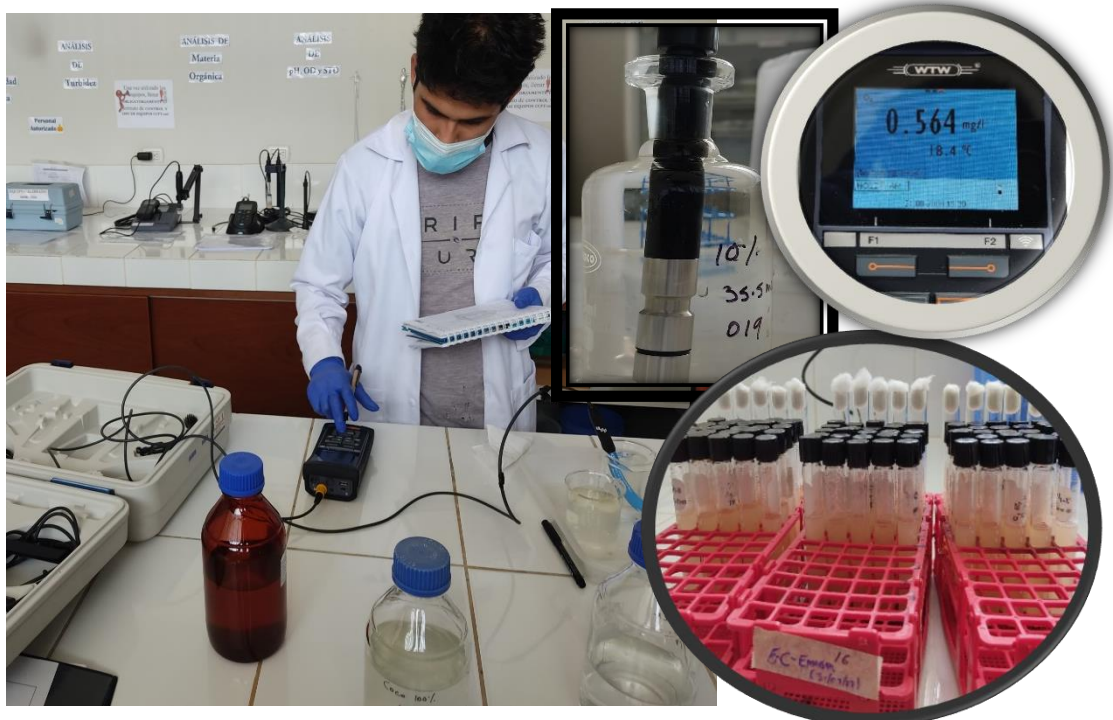
Anexo 6. Lavado del CA con agua a 100°C hasta pH cercano a 7



Anexo 7. Secado del CA por 24 horas.



Anexo 8. Análisis del agua residual



Anexo 9. Proceso de filtración.

