

**Elección de un filtro de carbón activado de cuesco de palma africana para
agua pretratada (caso Del Llano S.A. Restrepo-Meta)**



Autor(es). Julian David Martinez Saray, William Daniel Naranjo Nieto
Abril 2021.

Universidad Antonio Nariño.
Meta

Elección de un filtro de carbón activado de cuesco de palma africana para agua pretratada (caso Del Llano S.A. Restrepo-Meta)

Autor(es). Julian David Martinez Saray, William Daniel Naranjo Nieto
Abril 2021.

Universidad Antonio Nariño
Meta.

Notas del autor

Julian David Martinez Saray, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Antonio Nariño, Villavicencio.

William Daniel Naranjo Nieto, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Antonio Nariño, Villavicencio.

Para el desarrollo de esta tesis de pregrado para optar por el título en Ingeniería Industrial se contó con la colaboración de la empresa Del Llano S.A. que nos brindó información relevante para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Nota de Aceptación

Ramiro Hernan Polanco Contreras

Daniela Saldaña Requiniva

Nancy Esperanza Saray Muñoz

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación es dedicado en especial a Dios por bendecirme con el estudio. A mi madre, Martha Nieto, por todos los sacrificios realizados para permitirme cumplir mis metas; agradezco de corazón cada regaño de mi madre, quien siempre logra enfocarme y sacar lo mejor de mí. A mi tía Liliana Nieto por brindarme herramientas para desempeñar mis labores. A mi compañera de vida por su amor, apoyo, compañía, y paciencia. A mis compañeros y maestros por cada enseñanza y por hacer de este tiempo en la Universidad algo valioso que recordaré por siempre. Gracias a todos por aportar en mi desarrollo personal e intelectual; fijaré mis metas hasta donde Dios me lo permita.

William Daniel Naranjo Nieto

Dentro de mi recorrido como estudiante universitario, siempre he tenido el acompañamiento de maravillosos seres que han aportado a mi crecimiento como persona. Primeramente, quiero dedicar este proyecto de investigación a Dios por permitirme llegar hasta el día de hoy guiando mis decisiones en pro de un bienestar propio. A mis padres por toda la paciencia y sacrificio que han tenido para que yo pueda cumplir mis sueños. Mi círculo familiar, mis tres hermanas que siempre han estado para darme ánimos y enfocándome siempre a dar lo mejor de mí.

Julian David Martinez Saray

Agradecimientos

En primera instancia agradecemos a Dios por la facultad y condiciones para superar cada fase del proceso.

Expresamos nuestra gratitud a nuestro director de trabajo de grado, Ingeniero Ramiro Hernan Polanco Contreras, y a las demás personas que estuvieron a lo largo de la documentación; todos brindaron cimientos al desarrollo de nuestro proyecto.

Resumen

El presente trabajo de investigación, cuyo objetivo fue la elección un filtro de carbón activado de cuesco de palma africana para agua pretratada (caso Del Llano S.A. Restrepo-Meta), se realizó con el fin de complementar el tratamiento de aguas residuales, del refinamiento de aceite de palma, para darle uso como agua de alimentación de calderas, ya que la empresa Del Llano S.A. implementa constantemente cambios en sus procesos productivos para ser una empresa sostenible. Por tal razón este trabajo se enmarca dentro de la investigación exploratoria con enfoque cualitativo; la metodología se realizó en tres fases que contemplaron actividades que incorporan el diagnóstico de la situación actual del tratamiento de aguas residuales, con la ayuda de técnicas de recolección (entrevista) y análisis de la información, revisión bibliográfica y selección de metodologías de elaboración de carbón activado y filtros a base de este material de remoción contaminantes, para cumplir con los parámetros (DBO, DQO, SST, SSED, grasas y aceites y, pH) requeridos.

Palabras Clave: Carbón activado, filtro de carbón activado, tratamiento de aguas residuales, parámetros fisicoquímicos.

Abstract

The present research work, whose objective was the choice of an activated carbon filter of African palm cuesco for pretreated water (case of Llano S.A. Restrepo-Meta), was carried out in order to complement the treatment of wastewater, the refinement of palm oil, To use it as boiler feed water, since Del Llano S.A. constantly implements changes in its productive processes to be a sustainable company. For this reason this work is part of exploratory research with a qualitative approach; the methodology was carried out in three phases that included activities incorporating the diagnosis of the current situation of wastewater treatment, with the help of collection techniques (interview) and analysis of the information, Bibliographic review and selection of activated carbon processing methodologies and filters based on this pollutant removal material, to achieve the required parameters (BOD, COD, SST, SSED, fats and oils and, pH).

Keywords: Activated carbon, activated carbon filter, wastewater treatment, physicochemical parameters.

Tabla de Contenidos

Introducción	13
Planteamiento del Problema	15
Descripción del Problema	15
Formulación del Problema	16
Justificación	17
Objetivos	18
General	18
Específicos	18
Marco Referencial	19
Antecedentes	19
Marco Teórico	24
Marco Conceptual	29
Marco Geográfico	31
Marco Legal	32
Diseño Metodológico	34
Tipo y Enfoques de Investigación	34
Recolección y Análisis de Datos	34
Fases y Actividades Metodológicas	36
Desarrollo del proyecto	38
Describir las condiciones del agua que sale de la PTAR para su posterior uso en las calderas	38
Identificar a partir de referentes bibliográficos las características y propiedades del carbón activado como material filtrante que cumpla los requisitos del agua a suministrar a la caldera.	45

Establecer el tipo de filtro adecuado para contener un lecho de carbón activado como material filtrante.	9
Conclusiones	47
Recomendaciones	50
Lista de referencias	51
Anexos	52
	59

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Marco legal de la investigación</i>	33
Tabla 2. <i>Registro de los últimos 12 meses de contaminantes</i>	40
Tabla 3. <i>Referentes bibliográficos de carbón activado de cuesco de palma</i>	45
Tabla 4. <i>Referentes bibliográficos de tipos de filtro</i>	47

,

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Partes del fruto de la palma de aceite</i>	25
Figura 2. <i>Composición química de los residuos de aceite de palma</i>	26
Figura 3. <i>Carbón activo granular</i>	29
Figura 4. <i>Ubicación geográfica de la empresa Del Llano S.A.</i>	32
Figura 5. <i>Gráfico de líneas de DBO y DQO durante los últimos 12 meses</i>	41
Figura 6. <i>Gráfico de líneas de DBO y DQO durante los últimos 12 meses</i>	43
Figura 7. <i>Parámetros requeridos del agua para alimentación en calderas</i>	44

Lista de Anexos

Anexo 1. <i>Formato de entrevista para la empresa</i>	59
Anexo 2. <i>Parámetros del agua saliente de la PTAR</i>	60
Anexo 3. <i>Evidencia fotográfica de visita a la empresa</i>	61
Anexo 4. <i>Matriz de revisión bibliográfica de carbón activado</i>	63
Anexo 5. <i>Matriz de revisión bibliográfica de tipos de filtros para aguas residuales</i>	65

Introducción

El presente documento es un trabajo de investigación, que surgió como una propuesta de proyecto de grado en el año 2020, gracias a una necesidad de una empresa ubicada en el Km 8 vía restrepo de la ciudad de Villavicencio, Del Llano S.A.

El tema de investigación consiste en el estudio de la remoción de contaminantes, presentes en aguas residuales, mediante carbón activado, con el objeto de conocer la capacidad de retener contaminantes a partir de diferentes metodologías de activación trabajadas en los artículos examinados; esto se realizó con el fin de determinar los métodos de elaboración y tamaño de partícula del carbón activado que permitan cumplir con los parámetros fisicoquímicos, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Sedimentables (SSED) y, Aceites y Grasas, que son requeridos para aprovechar las aguas residuales tratadas, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), del refinamiento de aceites de la empresa Del Llano S.A. como agua de alimentación de calderas, además de proponer el aprovechamiento del cuesco de la palma de aceite para elaborar este material carbonoso.

Los datos recolectados en esta investigación fueron los valores (mes a mes de los últimos 12 meses) de los parámetros resultantes del proceso de tratamiento de aguas actual y los que son requeridos para su uso en la caldera. Estos datos fueron analizados mediante gráficos y tablas.

El problema de esta investigación era el desconocimiento de las características necesarias del carbón activado para ser implementado en un filtro que como complemento del tratamiento de aguas residuales lograra reducir los valores de los parámetros actuales a los valores queridos para el uso que quiere darle la empresa. Es por esto que se llevó a cabo el desarrollo de los objetivos propuestos mediante tres fases que permitieron proponer una solución a este problema;

la recolección de datos se realizó en las instalaciones de la empresa a través de una entrevista estructurada y estos datos fueron organizados en tablas; los valores mes a mes fueron procesados en gráfica de líneas para analizar el comportamiento de dichos parámetros; finalmente se consultaron revistas para realizar una revisión bibliográfica, de artículos que abordaran el tema de investigación sobre carbón activado y filtros de este material, para obtener como resultado una propuesta de solución al problema.

Como resultado de este trabajo de investigación se concluyó que el agua de la PTAR actualmente no cumple con los requisitos para ser usada en la caldera, por lo que se analizaron las metodologías propuestas en las investigaciones de referentes bibliográficos, sintetizadas mediante matrices, de las que se logró proponer una metodología de activación de carbón química y física, además de opciones de diseño de filtros sencillos e industrializados.

Planteamiento del Problema

Descripción del Problema

Colombia, según la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma), se encuentra entre los mayores productores de palma de aceite en todo el mundo y, cerca de 537.176 hectáreas de todo el país se encuentran destinadas al cultivo de estas plantas (Fedepalma, 2019). El beneficio otorgado por estas palmas, se origina en su fruto y su semilla, donde se usa mayormente para la fabricación de aceites utilizados en diferentes industrias.

Las plantas procesadoras de aceite de palma requieren técnicas de almacenamiento y desecho diario de producción. Este desecho se denomina cuesco, cáscara que recubre la almendra y fibras, resultante del proceso de prensado del fruto de la empresa; se producen en cantidades considerables cada día y los cultivadores tratan de aprovecharlos, usándolos como material base en vías internas de las plantaciones donde se cultiva la palma, aunque posiblemente se convierte en refugio de roedores y otras plagas. Otros usos que se le dan a este desecho son a través del proceso denominado pirólisis para la obtención de energía o para la fabricación de carbón activado.

Durante el proceso de refinamiento se hace uso de abundante agua que termina contaminada por lodos, gomas, compuestos volátiles condensados, grasas y aceites, hidrocarburos, compuestos de fósforo y nitrógeno, iones, metales y tintas. Aunque en la empresa cuentan en su planta de refinamiento con una PTAR, para recircular este recurso, son necesarias tecnologías adicionales al tratamiento básico de coagulación-floculación.

Formulación del Problema

Los procesos realizados, para la elaboración de Aceite de palma refinado, requieren el uso constante de agua. Las aguas residuales, resultantes del proceso de refinamiento, son pretratadas mediante una PTAR, para obtener un agua que cumpla con las condiciones de sanidad, para ser liberada en reservas de agua, según la Resolución 0631 de 2015, sin embargo, la coagulación-floculación no es un proceso eficiente. La Ley 9 de 1979 habla sobre la protección de los ecosistemas, para la inspección sanitaria de los usos del agua, establece en su artículo 15 que, una vez establecidos los sistemas de purificación de aguas, la empresa informa al Ministerio de Salud para comprobar la calidad del afluente y, en caso de no alcanzar los límites prefijados, se deben ejecutar cambios o adiciones necesarias para cumplir con las exigencias requeridas.

La empresa Del Llano S.A. cumple con los límites prefijados por dicha ley, sin embargo, desea aprovechar las aguas residuales para recircular en la caldera, por lo que deberá implementar mejoras en este proceso mediante una tecnología, como complemento, para este fin.

En el proceso de extracción del aceite de palma africana se obtiene como residuo el cuesco de la semilla, proveniente del desfibrado por separación, el cual puede ser aprovechado en la obtención de nuevas tecnologías para purificar el agua, como el carbón activado.

En razón de lo expuesto, surge el siguiente interrogante:

¿Qué características debe tener el filtro con carbón activado a partir del cuesco de semilla de palma de aceite para el agua pretratada de la empresa Del Llano S.A.?

Justificación

La empresa Del Llano S.A. cuenta con numerosos clientes a los que comercializa o maquila sus productos, lo que significa que sus lotes de producción son grandes. Cabe resaltar que esta empresa tiene como misión producir sin contaminar el ambiente, por lo que ha venido implementando procesos limpios, eficaces y eficientes en todos los aspectos. Por lo anterior se quiere proponer una metodología de activación de carbón y elección de un filtro, a partir del cuesco de la palma de aceite; un producto eficiente según Ambientum, citado por los autores Azabache y Cachay (2019), quien afirma que a través de una cama de este material se consigue que los microminerales pasen a través de los poros de menor diámetro, manteniendo en la superficie interna de los gránulos, los elementos químicos pesados como, grasas y aceites, hidrocarburos, compuestos de fósforo y nitrógeno, iones, metales y, compuestos que producen color, lo que permite el aprovechamiento del agua proveniente de la PTAR con el fin de que pueda ser usada en la caldera para recircularla en el proceso y de esa manera reducir el consumo de agua, lo que a su vez aportaría al cuidado del medio ambiente.

Los residuos agroindustriales, como el cuesco de la semilla de palma africana, son materiales sólidos o líquidos resultantes del consumo directo de las materias primas o de su transformación, que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero cuentan con propiedades aprovechables en otros procesos, o para dar valor añadido a otros productos. Por esto se propone el uso del cuesco (obtenido en la extracción del aceite crudo), para añadirle valor como material filtrante. Los autores Ortiz y Puerto (2019) afirman que estos sistemas de carbón activado son proyectados como unas de las grandes tendencias, en la purificación de aguas; además afirman que en Colombia se podrían implementar en el tratamiento de aguas de procedencia industrial y, a nivel institucional como requisito para la remoción de estas.

Objetivos

General

Proponer una metodología para el proceso de elección de un filtro con carbón activado a partir del cuesco de palma de aceite para el agua pretratada, proveniente de la PTAR, de la empresa Del Llano S.A.

Específicos

Describir las condiciones del agua que sale de la PTAR para su posterior uso en las calderas.

Identificar a partir de referentes bibliográficos las características y propiedades del carbón activado como material filtrante que cumpla los requisitos del agua a suministrar a la caldera.

Establecer el tipo de filtro adecuado para contener un lecho de carbón activado como material filtrante.

Marco Referencial

Antecedentes

Ortiz y Puerto (2019) en su proyecto tenían como objetivo la evaluación de estudios e investigaciones sobre retención de compuestos, a partir de carbón activo de guadua, por medio de tablas y gráficos que permitan una fácil lectura, y generar un reporte a manera de vigilancia tecnológica, dando una respuesta de la viabilidad que posee este método. Identificaron el uso potencial de la guadua para preparar carbón activado, y las sustancias químicas que puede remover de manera eficiente, proponiendo una opción para la purificación de aguas, generando efectos ambientales positivos. Este proyecto aportó conocimiento para demostrar la efectividad del carbón activado en el tratamiento de aguas.

Chiclote (2018) en su proyecto tuvo como objetivo la determinación del efecto del CAG en el refuerzo de la calidad del agua del río Cumbe. Para esto se construyeron 2 filtros de carbón activo granular; se analizó turbidez, color verdadero, pH, cloro residual, bacterias coliformes totales y bacterias termotolerantes. Se obtuvieron como resultado parámetros que cumplen en cuanto a los límites máximos permisibles. Este proyecto aportó conocimiento para demostrar la efectividad del carbón activado granular para purificar agua.

Infante (2018) determinó en su proyecto el potencial del carbón activo granular para mejorar la calidad del agua. Obtuvo como resultado que el agua tratada con CAG mejora sus propiedades, obteniendo un agua purificada óptima para ser consumida por humanos. Este proyecto aportó conocimiento para demostrar la efectividad del carbón activado granular para mejorar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua.

Monsalve y Santillán (2018). Contemplaron el diseño de una cámara filtrante, utilizando carbón activo para la mejora de la calidad del agua. Se diseñó una cámara filtrante piloto para

probar los parámetros de diseño de velocidad de filtración y estrato de carbón activado granular para probar la efectividad del carbón activado como material filtrante, luego de ponerlo en operación se evaluaron los parámetros fisicoquímicos bacteriológicos para comprobar la efectividad del carbón activo granular al momento de purificar el agua. se logró diseñar dos cámaras filtrantes de concreto armado con carbón activo granular como material filtrante, comprobando que con el diseño de una cámara filtrante se mejora la calidad del agua. Este proyecto aportó conocimiento para demostrar la efectividad del carbón activo granular para mejorar las propiedades fisicoquímicas bacteriológicas del agua, además de la propuesta de dos cámaras filtrantes usando el carbón activo granular como material filtrante.

Troca en su trabajo propuso metodologías para “reciclar materiales poliméricos de desecho (NFU, goma; PET, plástico; CV, plástico/goma) mediante su utilización como materiales de partida en la preparación de materiales carbonosos (MCA) para su empleo en la adsorción de solutos de naturaleza inorgánica y orgánica en disolución acuosa” (2017, p. 79). Esta investigación propone el uso de residuos agroindustriales como materia prima en elaboración de materiales carbonosos adsorbentes. Este proyecto aportó una metodología experimental que permite el uso de desechos industriales como materia prima para elaboración de materiales carbonosos adsorbentes.

Jiménez et al. (2017) elaboró carbón activado a partir del epicarpio de *Arralea macrolepis* y lo evaluó como adsorbente para la remover iones Pb^{2+} . Para esto se elabora y caracteriza el carbón activado y se evalúa el mecanismo de adsorción de estos iones sobre el carbón activo mediante los isoterma de Langmuir, Freundlich y Dubinin-Radushkevich. Se determinó que el material filtrante elaborado funciona para remover específicamente los iones Pb^{2+} en aguas con menos de 2 mg/L de concentración de estos. Este proyecto aportó una

metodología para elaborar carbón activado y probar su mecanismo de adsorción de iones de plomo.

Poblete (2019). Landfill leachate treatment using activated carbon obtained from coffee waste. Este artículo centra sus objetivos en evaluar el potencial del carbón activado, producido a partir de los residuos de café en el proceso de adsorción, en la depuración del lixiviado de los vertederos. Durante el estudio se practicaron diferentes pruebas con diferentes reactivos como el HCl (Ácido clorhídrico), H_3PO_4 (Ácido fosfórico) y en combinaciones de cada uno con H_2O_2 (Peróxido de hidrógeno). Los resultados arrojaron los mejores porcentajes de eliminación con el H_3PO_4 logrando eliminar un 51.0% de la demanda química de Oxígeno, un 32.8% de Amoniac, un 66.0% de Cloro, un 81.0 de Bromo y un 97.1% de Cobre. Estos resultados permiten considerar el desperdicio de café como un subproducto con valor agregado ya que a partir de él se elaboró carbón activado con capacidad de remoción de DQO, amoniac, cloro, bromo y cobre.

Los principales enfoques de la investigación de Ojeda (2019) son, la adsorción de fenoles con carbón activo sintetizado mediante procesos físicos, químicos, interacción con gases o adición de productos químicos. Se utilizó para la etapa de carbonización una mezcla de cocobagazo, para la de activación las mezclas seleccionadas en la anterior etapa, y se usaron como indicadores la cantidad de carbono fijo y el índice de azul de metileno para ambas etapas. Como resultado del anova del diseño experimental de la primera etapa se encontró que, la temperatura, tiempo de residencia y su interacción, influyen sobre la cantidad de carbono fijo, mientras que, en el anova del diseño experimental de la segunda etapa influyen estadísticamente sobre el índice de azul de metileno. Este artículo aporta la influencia de la temperatura, tiempo de residencia e interacción sobre el porcentaje de carbono fijo y el índice de azul de metileno que indica la

capacidad del carbón activado de adsorber esta molécula que, por su tamaño (0,84 nm), no puede acceder a todos los microporos.

Torres (2018) centró su investigación en la mejora de las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas de las fuentes superficiales de suministro de agua para consumo humano a través de una doble filtración de Carbón Activado Granular (CAG). Para realizar el estudio se usó agua filtrada de la manera convencional. La segunda filtración se realizó en columnas de flujo constante, con relación de CAG y arena, respectivamente, de 100:0, 80:20, 50:50, 30:70 y 0:100. Mediante este artículo se demostró que la doble filtración con Carbón Activo Granular, es una opción eficiente para retener materia orgánica y producir agua potable.

Fuentes (2018) en su artículo se enfocó al seguimiento de la reducción de Atrazina de un agua dopada con dos fuentes de esta planta a través de una doble filtración con dos medios absorbentes granulares (Carbón Activado Granular, CAG) de origen Vegetal (VAC) y Mineral (MAC). El agua fue impurificada con 0.44 y 0.86 mg / L de atrazina. Se midió la turbidez (NTU), y UV254 (cm^{-1} : debido a su uso para la estimación cualitativa de la presencia de sustancias orgánicas). Las pruebas de clarificación (coagulación - floculación - sedimentación) se realizaron en dispositivos de prueba de jarras y el agua obtenida del proceso anterior se almacenó para la segunda etapa de filtración, que duró cuatro horas. Los experimentos se realizaron por triplicado usando tres unidades experimentales para cada medio adsorbente (MAC y VAC) y la concentración de atrazina, lo que resultó en un total de 12 unidades experimentales. Se utilizó un sistema de distribución de flujo y un tanque de carga constante para la dosificación del agua filtrada convencional. Los procesos de clarificación, además de la filtración convencional redujeron la turbidez en un 97%, con valores de turbidez inferiores a 0,80 NTU y después de la

segunda filtración mostró un efecto favorable en la reducción de UV254 y atrazina, obteniendo valores dentro de los estándares internacionales y nacionales para el agua potable.

El artículo realizado por Vidal (2018) expone el aprovechamiento de residuos agroindustriales para la fabricación de carbón activado y las aplicaciones en los que pueda emplearse. A- Frutos secos: cáscara de nuez y maní; el carbón se elaboró mediante activación química (solución acuosa con CH_3COOH , CaCl_2 , NaCl , KCl , H_3PO_4 o H_2SO_4) y física con Dióxido de Carbono; se demostró que esta combinación mejora sustancialmente las propiedades de adsorción de los carbones activados. B- Residuos alimenticios domésticos: Té y arroz; la activación con sales Cloruro de Magnesio y Cloruro de Calcio producen carbones activados con mesoporos que permiten la retención moléculas de manera selectiva. C- Residuos de palmas aceiteras; se realizó activación química al carbón elaborado a partir de cuesco de palma con dos agentes activantes (cloruro de magnesio y cloruro de calcio) a concentraciones diferentes (3, 5 y 7%) demostrando que la activación con estas sales produce carbón activo con mesoporos para remoción selectiva.

Ramirez (2017) en su artículo determinó la capacidad de remoción de azul de metileno para diferentes concentraciones a partir de biomasa residual (cuesco) generada en la producción de palma de aceite. La biomasa se sometió a pirólisis en una mufla a una temperatura de 550°C por 30 minutos, elevando la temperatura $20^\circ\text{C}/\text{min}$; se hizo un lavado con 50mL de ácido clorhídrico al 37% en peso, y a 30°C se mantuvo en constante agitación por 3 horas. El carbón se lavó con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro, y se retiró la humedad en un horno a 105°C por una hora. Se ejecutaron unas pruebas de absorción que se realizaron en un montaje tipo Batch a 200 rpm y arrojaron como resultado que pueden ser usados como adsorbentes de Azul de Metileno.

Pereira (2017) sintetizó de carbón activo de cascarilla de arroz mediante activación química, ya que según su investigación previa logró determinar que este tipo de activación le generaba más ventajas en comparación con la activación física. Culminada su investigación, mediante sus demostró implementar este residuo agroindustrial en la obtención de este material filtrante es eficiente, ya que logró obtener un 81% de rendimiento de adsorción, además de una diferencia de costo real de fabricación con el mercado actual de un 25%.

Díaz et al. (2017) determinó la efectividad de adsorción de carbón activado elaborado a partir del cuesco de "*Elaeis guineensis*" para retener iones de hierro férrico de agua apta para el consumo humano proveniente de un pozo del distrito Manantay de Perú. En 6 beaker de 50mL se depositaron 25mL de muestra filtrada y se trabajó un blanco con agua destilada; a los siete beaker se añadió 1 mL de [HCl] y 0,5 mL de $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$, agitándolos hasta obtener una mezcla homogénea; posteriormente se calentó para evaporar hasta un volumen entre 15-20mL y se dejó enfriar hasta una temperatura ambiente. Posteriormente se añadió agua destilada a cada muestra hasta un aforo de 25mL y se adicionaron 5mL de solución amortiguadora para hierro. Como resultado se logró disminuir la cantidad de hierro, pasando de 0,52 mg/L a cero con carbón activo de cuesco de palma de aceite "*Elaeis guineensis*" al 60% y a 0,02mg/L al 30%, lo cual se adecúa a los 0,3 mg/L establecidos como valor máximo permitido en el reglamento de calidad para agua potable D.S. N° 031-2010-SA.

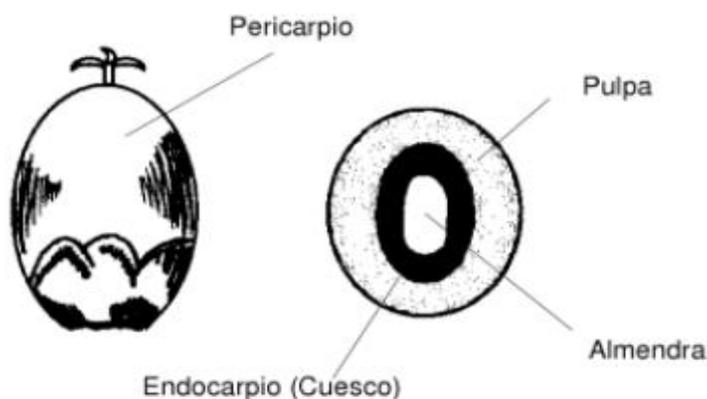
Marco Teórico

Uno de los subproductos de la extracción del aceite de palma es el cuesco. Según el autor Van Dam (2016) en Colombia hay entre doscientas y trescientas mil toneladas de cuesco disponibles para ser aprovechadas, y afirma que este residuo es un material lignocelulósico

resistente y poco poroso que rodea la almendra del fruto de la palma aceitera; además que actualmente se somete a pirólisis para ser usado como combustible (en forma de vapor) en intercambiadores de calor, pero que además es usado en tecnologías de “biorrefinamiento” y “conversión termoquímica”, para generar valor, como el carbón activado. En la figura 1 se observan las partes que constituyen el fruto de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*), dentro de estas el cuesco.

Figura 1.

Partes del fruto de la palma de aceite.



Nota: Elaborado por Gómez et al. (2010).

Uno de los componentes más importantes para la formación de carbón es la lignina. En un compilado de múltiples investigaciones el autor Van Dam (2016) logró determinar que, de los subproductos de la palma de aceite, el cuesco es el que tiene mayor contenido en lignina. En la figura 2 se presenta la composición química de los residuos de aceite de palma; Racimos de Fruto Vacíos (RFV), Fibra, Cuesco y, Torta de Palmiste (TP), con contenido (%) de lignina de 22,1, 25,7, 50,7 y nulo, respectivamente, lo que indica que el cuesco es el residuo que más posee esta molécula.

Figura 2.

Composición química de los residuos de aceite de palma.

	RFV	Fibra (mesocarpio)	Cuesco	TP
Celulosa (α)	38,3 (37,9)	34,5 (39,5)	20,8 (20,5)	(35,7)
Hemicelulosa	35,3 (35,0)	31,8 (9,8)	22,7 (22,3)	(30,3)
Ara	1,5	1,7	0,6	0,9
Xil	63,0	48,9	63,4	4,3
Man	-	5,8	-	83,4
Glc	23,1	23,2	21,8	4,0
Gal	2,7	4,0	2,3	4,8
UA	9,6	16,5	13,7	3,1
Lignina (S/G)	22,1	25,7	50,7	-
klason	(22,9)	(32,8)	(49,9)	(15,6)
Soluble en ácido	(1,1)	(0,1)	(1,6)	(0,1)
Extractos	(2,7)	(8,6)	(4,7)	(11,7)
Ceniza	(1,5)	(9,3)	(1,0)	(6,7)

Nota: Adaptada por Van Dam (2016)

El tratamiento de aguas residuales según Salamanca (2016) es la forma más antigua que el hombre ha desarrollado para remover los residuos y mejorar sus propiedades organolépticas (textura, color, olor y sabor); anteriormente el agua era tratada con métodos simples como hervor, exposición solar, sedimentación o filtración con grava o arena para su purificación. Actualmente, los tratamientos de agua son complementados además de los procesos físicos convencionales con procesos biológicos o químicos.

Uno de los procesos físicos para el tratamiento de aguas residuales es la adsorción, descrito por el autor Vilarrasa (2014):

El proceso de adsorción involucra la separación de una sustancia en una fase fluida y su acumulación en la superficie del adsorbente sólido. Se trata por tanto de un fenómeno interfacial entre un fluido y un sólido. Los sólidos adsorbentes necesitan áreas superficiales muy elevadas y una estructura porosa para que las moléculas de adsorbato

puedan acceder a los sitios activos. Atendiendo a las fuerzas de interacción entre las moléculas de adsorbente y adsorbato, se distinguen dos tipos fundamentales de adsorción. En la adsorción física o fisisorción, los enlaces entre moléculas de adsorbato y la superficie del adsorbente son débiles (fuerzas de Van der Waals o puentes de hidrógeno); en cambio, cuando tiene lugar la formación de un enlace químico estamos ante el fenómeno de adsorción química o quimisorción. Ambos procesos son exotérmicos. (pp. 52-53)

Soto (citado por García y Granillo, 2017) define el carbón activo como material poroso, amorfo y que por su activación cambia sus propiedades, adquiriendo alta porosidad y gran área superficial interna, lo que le permite retener de manera selectiva moléculas del fluido que entra en contacto con el carbón; esta propiedad es denominada “adsorción”, donde el sólido que retiene se llama “adsorbente” y la molécula retenida, “adsorbato”.

Lesme (citado por Prías et al., 2015) dijo que la carbonización de un material precursor se realiza por descomposición térmica en atmósferas controladas y con un sistema automatizado de pirólisis de lo que se obtiene gases, líquidos y carbón como productos de la carbonización en cantidades relativas que dependen de la propiedad del material precursor y de los parámetros de operación del equipo de calentamiento. Por su parte los autores Prías et al. (2015) para la síntesis del carbón inicialmente realizaron una disminución del tamaño homogénea, luego llevaron la muestra a un reactor para realizar un proceso de pirólisis en una mufla con temperaturas de hasta 900 grados celsius en una atmósfera inerte (libre de O_2) con dinitrógeno (N_2); el carbón se obtuvo por temperatura de carbonización en un tiempo de residencia determinado, y después se realizó una molienda para obtener tamaños de partícula en micrómetros pasando por tamices

para obtener un tamaño homogéneo, finalmente se impregna el material obtenido con agentes de activación y se somete a temperaturas de impregnación para activar el carbón.

Según el autor Ojeda (2015), para preparar el carbón activo se emplean dos métodos; la “activación química” o la “activación física”; se parte de materiales carbonados muy diversos de origen vegetal o mineral; para materiales carbonosos minerales, la “activación física o térmica” se realiza con una etapa inicial de descomposición a temperaturas entre los 800 y los 1000 grados Celsius en un ambiente libre de aire y una segunda etapa de activación para incrementar la “porosidad” con un gas oxidante (en este caso “vapor de agua”) a temperaturas entre los 800 a 950 grados Celsius; y en el caso de materiales carbonosos de origen vegetal, en la activación química se realiza un pretratamiento con reactivos químicos (solución de $ZnCl_2$ o H_3PO_4), luego carbonizando a 500 grados Celsius y, finalmente se realiza un lavado para remover los agentes activantes; las partículas de carbón activo tienen una elevada capacidad de absorber sustancias, en especial de carácter orgánico por sus características (granulometría, porosidad, activación), la concentración, naturaleza y tamaño de las moléculas que se van a retener, y el tiempo de retención hidráulica, entre otras propiedades del agua que también influyen en la capacidad y selectividad de la adsorción; también afirma que a menor solubilidad de las “sustancias orgánicas” en el agua, mayor es la probabilidad de adsorción; entre los “compuestos orgánicos” que puede retener el carbón activo se encuentran hidrocarburos aromáticos, sustancias húmicas, fenoles y derivados, pesticidas, colorantes, etc; también, algunas “especies inorgánicas” pueden ser retenidas por este material, entre ellas el cloro (Cl), cianuros (CN⁻), ácido hipocloroso (HClO), amoníaco (NH₃), entre otros; al disminuir la temperatura la capacidad de retención aumenta.

Según Orozco et. al. (2004), el carbón activo se clasifica según el tamaño de partícula, en forma granular (GAC), como se observa en la figura 3, con granulometría entre 0,5 a 3 mm de diámetro, y en polvo, con partículas de 0,10 a 0,15 mm de diámetro.

Figura 3.

Carbón activo granular



Nota: Elaborado por Menéndez, J. (2012).

Marco Conceptual

Adsorción: Hace referencia a la facultad de acercar y atrapar moléculas. A esta actividad de atraer se le conoce como “adsorción”, al sólido que tiene esa facultad se le llama “adsorbente” y a la molécula retenida, “adsorbato”. (Global Water Technologies Group [GWT]. Citado por Prías et al., 2011).

Carbón activo: Se le denomina así a un conjunto de material preparado mediante activación física o química que le confieren un “área superficial interna” y una “porosidad” muy elevada, permitiendo que este tenga alto potencial “adsorbente”. (Almansa, 2004).

Carbonización: Es un tratamiento térmico en ausencia de aire eliminando especies no carbonosas y convirtiendo el precursor en una masa de carbón. (Almansa, 2004).

Carga contaminante: La medición y análisis de la carga contaminante se realiza por medio de la DQO y DBO total, y se refiere a los miligramos de oxígeno necesarios para la

degradación química y biológica, respectivamente, de la materia orgánica disuelta en aguas residuales. (Cano, 2015)

Coagulación-floculación: La “coagulación” se encarga de hacer neutras las cargas y desarrollar un aglomerado gelatinoso, que retiene sólidos/partículas, de gran tamaño para poder ser filtrado o sedimentado y, la “floculación” consiste en agitar esos sólidos/partículas, permitiendo que se aglutinen, lo que forma aglomerados más grandes que se pueden sedimentar o filtrar con más sencillez para remover la “materia orgánica sedimentable y en suspensión”. (Cano, 2015)

Cuesco: También es conocido como “endocarpio”. Hace referencia a un material rígido que cubre la almendra del fruto de la palma africana y hace parte de uno de los residuos del proceso de extracción del aceite. Es aproximadamente entre el “5 al 7% del peso total del fruto”. Es bastante duro y compacto. (Gómez et al., 2020).

Elaeis guineensis: Es el nombre botánico de la palma de aceite que se origina de los bosques tropicales de África Occidental y Central. Se deriva del griego “elaion” (aceite); el nombre “guineensis” se refiere a su origen de la “costa ecuatorial de Guinea”. (Gómez et al., 2020).

Granulometría: Es una de las operaciones unitarias que se encargan de reducir el tamaño de los gránulos de un material sólido hasta un tamaño de partícula deseado. Se da en el momento en que la “energía de fragmentación” sobrepasa la “energía de cohesión interna” de los gránulos. Se puede realizar en base seca y húmeda. (Wills y Napier-Munm. Citadas por Torres, 2017).

Lignina: La palabra lignina es originaria del latín “lignum”, que hace referencia a la “madera”. Es uno de los principales componentes de los “tejidos de las plantas” con floración, y

también en aquellas que no tienen “flores” en “tejidos vasculares” de vegetales. (Rodríguez et al., 2007).

Pirólisis: El pirólisis es la degradación térmica de la biomasa. (Gómez et al., 2020).

Marco Geográfico

La zona donde se desarrollará la investigación, está ubicada en el kilómetro 65 Vía Restrepo, a 170 metros del peaje puente amarillo. Colinda al noroeste con la Vía Restrepo, lo que permite el acceso directo a una de las vías principales que comunica a la Capital del Departamento del Meta.

Esta posición junto a una vía principal es estratégica ya que, permite estar en un punto medio entre sus proveedores (de aceite crudo) y clientes; por esta razón, esta ubicación permite a la empresa Del Llano S.A. distribuir sus productos a sus consumidores y, al mismo tiempo poder hacer seguimiento para tener trazabilidad de sus productos.

Cabe resaltar la posición geográfica en que se encuentra situada la empresa, debido a que a sus alrededores no hay comunidades establecidas que puedan verse afectadas por impactos ambientales (generación de ruido, olores ofensivos, emisiones de calor y material particulado).

Por otra parte, en las instalaciones de la empresa están establecidas, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y, la Caldera, resaltadas en la figura 4, que son los lugares objeto de estudio.

Figura 4.

Ubicación geográfica de la empresa Del Llano S.A.



Nota: Extraída de Google Maps.

Marco Legal

En este apartado se resaltaron los referentes legales significativos para esta investigación, presentados en la tabla 1.

Tabla 1.*Marco legal de la investigación*

<i>Tipo, número y fecha</i>	<i>Nombre y entidad que la expide</i>	<i>Artículo</i>	<i>Impacto del Proyecto</i>
“Constitución Política de Colombia de 1991”	Asamblea Constituyente de Colombia de 1991	Art. 80	Este artículo expone cómo el estado regula las actividades de explotación ambiental, el cuidado para garantizar su desarrollo sostenible, conservación, restauración o sustitución.
Ley 99 del 22 de noviembre de 1993	Congreso de la Republica de Colombia	Art. 31 numeral 12	El artículo explica las funciones de las corporaciones regionales, para nuestro caso CORMACARENA y específicamente en el apartado 12 muestra, las obligaciones que tiene dicha corporación en funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental del uso del agua.
Ley 23 de 1973	Congreso de la Republica de Colombia	Art. 3, 4 y 5	Estos artículos explican como el aire, agua y suelo son bienes contaminantes y su forma de alteración y degradación de recursos ambientales y naturales.
Ley 373 de 1997	Congreso de la Republica de Colombia	Art. 5	El siguiente artículo según el “Ministerio del Medio Ambiente” y el “Ministerio de Desarrollo Económico” reglamenta en un plazo máximo de “seis (6) meses”, los casos y tipos de “proyectos” en los que se deberá “reutilizar el agua”.

Nota: Elaborado a partir de datos proporcionados por leyes constitucionales.

Diseño Metodológico

Tipo y Enfoques de Investigación

Los autores Strauss y Corbin (2016) afirman que en el “método cualitativo algunos de los datos pueden cuantificarse”, por ejemplo, con “censos” o “información sobre los antecedentes” de los objetos estudiados o personas, pero, el fin del análisis es “interpretativo”; algunas personas que ahondan en estos temas reúnen datos por medio de “entrevistas” y “observaciones”, técnicas relacionadas con los “métodos cualitativos”; sin embargo, los “codifican” a modo de que sea posible realizar un “análisis estadístico”; lo que hacen es “cuantificar los datos cualitativos”; al hablar sobre el “análisis cualitativo”, se hace referencia no a cuantificar los datos cualitativos, sino al “proceso no matemático de interpretación”, que se hace con el fin de de “descubrir conceptos y relaciones en los datos brutos” y luego ordenarlos en una matriz o diagrama teórico muy explícito; los “datos” pueden hacer referencia a “entrevistas y observaciones”, pero también a “documentos, películas o cintas de video”, y además, “datos que se hayan cuantificado con otros propósitos” tales como los del “censo”.

Esta investigación es de tipo cualitativo ya que se recolectó información para seleccionar estudios con resultados acordes a las necesidades de la empresa. La técnica de recolección de datos usada fue la entrevista. Los datos recogidos fueron cuantificados por parte de la empresa, con el fin de tener información que permitiera realizar un estudio.

Recolección y Análisis de Datos

El desarrollo de esta investigación se basó inicialmente en la recolección de información por medio de entrevista semi estructurada, ver anexo 1, al gerente en las instalaciones de la

empresa, donde se observó y verificó el proceso de tratamiento de aguas. En las siguientes etapas (2 y 3) se realizó una exploración de información de autores, mencionados más adelante, que han trabajado en, la obtención y activación de carbón a partir de subproductos y, han estudiado sobre tipos de filtros; todo esto apoyado bajo el criterio e investigación de diferentes autores en el contexto nacional y mundial, por lo que es una investigación de tipo exploratorio. Así mismo, se consultó información digital académica, redes investigativas, revistas científicas, libros y tesis de grado profesional, que permitieron obtener información confiable, verídica y relevante para la revisión bibliográfica.

Para la recopilación, análisis, organización, síntesis y resultados se llevaron a cabo estrategias para la comparación de información con el apoyo de herramientas que a su vez permitieron confrontar los resultados de los autores. Las etapas fueron las siguientes:

- Búsqueda bibliográfica en revistas clasificadas por Minciencias, y en bases de datos como Google Académico, Dialnet y SciELO.
- Criterios de selección (fechas de publicación, análisis de fiabilidad y validez de los artículos por medio de la clasificación de revistas científicas de Publindex).
- Extracción de datos relevantes específicos (capacidad de adsorción de carbón activado de cuesco de palma, y tipos de filtro) de los resultados de diferentes autores.
- Organización y estructuración de los datos por medio de matrices de revisión sistemática y gráfico de líneas.
- Argumentación crítica de los resultados (análisis de resultados).
- Elaboración de conclusiones basadas en los datos y artículos analizados.

Fases y Actividades Metodológicas

Durante el desarrollo de este proyecto de investigación se contemplaron tres fases para cumplir con los objetivos planteados.

En la fase 1 el objetivo consistía en describir las condiciones del agua que sale de la PTAR para su posterior uso en las calderas. Para esto se realizó una entrevista semi estructurada, al gerente de la empresa, en la que se solicitaron datos sobre los contaminantes presentes en el agua saliente de la PTAR (ver anexo 2), donde se encuentra información de los últimos 12 meses de la “demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos sedimentables (SSED) y, aceites y grasas”, con el fin de conocer las condiciones actuales y analizar por medio de revisión bibliográfica qué tipo de filtro de carbón activado puede llegar a mejorar estas condiciones. Esta información se procesó por medio de gráficas de líneas, para sistematizar los datos recolectados. Finalmente se analizaron y presentaron los resultados obtenidos, por medio de un párrafo descriptivo. Adicionalmente, se realizó la revisión de los requerimientos técnicos del agua, para su uso en la caldera, con el fin de conocer las condiciones del agua que requiere la empresa, y por la cual se realizó esta investigación.

Por su parte, para el desarrollo de las fases 2 (identificar a partir de referentes bibliográficos las características y propiedades del carbón activado como material filtrante que cumpla los requisitos del agua a suministrar a la caldera) y 3 (establecer el tipo de filtro adecuado para contener un lecho de carbón activado como material filtrante) se buscaron referentes investigativos de revistas indexadas de categoría A1 (Q1 de JCR-SJR), A2 (Q2 de JCR-SJR), B (Q1 de H5) y C (Q2 de H5) que permitieron conocer los tipos de contaminantes, que pueden ser retenidos por carbón activado según su metodología de elaboración, y los tipos de

filtro de carbón activado que pueden ser implementados en la PTAR. Estas investigaciones se sintetizaron en matrices de revisión bibliográfica, que permitieron organizar la información existente y, además, seleccionar los datos relevantes de las diferentes investigaciones y presentarlos en tablas para realizar un análisis por medio de un párrafo descriptivo.

Desarrollo del proyecto

Describir las condiciones del agua que sale de la PTAR para su posterior uso en las calderas

Para el desarrollo del primer objetivo fue necesaria la recolección de datos (por medio de entrevista, ver anexo 1) con el fin de conocer la situación actual del proceso de tratamiento de aguas residuales de la empresa Del Llano S.A., en cuanto a las condiciones del agua (DBO, DQO, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Sedimentables y, aceites y grasas); además de esto se solicitó a la empresa información sobre las condiciones (figura 7), mencionadas anteriormente, que debe cumplir el agua para ser usada en las calderas. Una vez conseguidos los datos (presentados en la tabla 2), se procedió a presentarlos en gráficos de líneas (figura 5 y 6) para comprender las condiciones del agua saliente de la PTAR y así, avanzar en la investigación de la búsqueda de referentes bibliográficos acordes a las necesidades de la empresa.

Condiciones del agua que sale de la PTAR

Por medio de una entrevista se solicitó un registro de los últimos 12 meses de los parámetros (DBO, DQO, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Sedimentables y, aceites y grasas) del agua saliente de la PTAR, a la empresa Del Llano S.A., para poder visualizar gráficamente el comportamiento de dichas variables en ese periodo de tiempo.

Análisis de la entrevista. Mediante la entrevista semi estructura realizada al gerente se recolecto la siguiente información:

La PTAR de la empresa solo realiza el tratamiento de las aguas residuales del proceso de refinamiento de aceite de palma, específicamente provenientes del equipo principal, ya que, para producir “Aceite Vegetal Del Llano”, es necesario “someter el aceite de palma crudo a un proceso de refinación física basado en altas temperaturas y alto vacío” (que son proporcionados por agua en forma de vapor, que finalmente es condensado y enviado a la PTAR).

La empresa proporcionó documentación de los parámetros de las aguas salientes de la PTAR, de los últimos 12 meses; ver anexo 2.

El tratamiento de aguas es realizado con coagulantes, floculantes, oxidante y soda caustica para ajustar el pH; se realiza diariamente y el ciclo tiene una duración de 4 horas; la salida de agua de la PTAR es una tubería de 1 pulgada de diámetro con una capacidad de tratamiento de 0,25 L/seg.

Actualmente el agua no cumple con los parámetros para ser usada en la caldera; para conocer estos parámetros la empresa proporcionó los requerimientos del agua de uso en la caldera, figura 7. Están regidos bajo la norma 0631 del 2015 que contiene los “parámetros fisicoquímicos que se deben monitorear y, sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales No Domésticas (ARnD) de las actividades de elaboración de productos alimenticios”.

Recolección de datos. Los datos de los parámetros del agua saliente de la PTAR, de los últimos 12 meses, solicitados en la entrevista, se encuentran en el anexo 2. Se presentaron de forma ordenada en la tabla 2; en esta tabla se encuentra sintetizada la información de dicho anexo, sin embargo, para comprender su comportamiento, es necesario visualizarlos gráficamente.

Durante los últimos 12 meses, la empresa ha variado la cantidad de coagulantes y floculantes, para disminuir los valores de los parámetros, con el fin de mejorar el tratamiento de aguas residuales.

Tabla 2.

Registro de los últimos 12 meses de contaminantes presentes en las aguas residuales de la PTAR

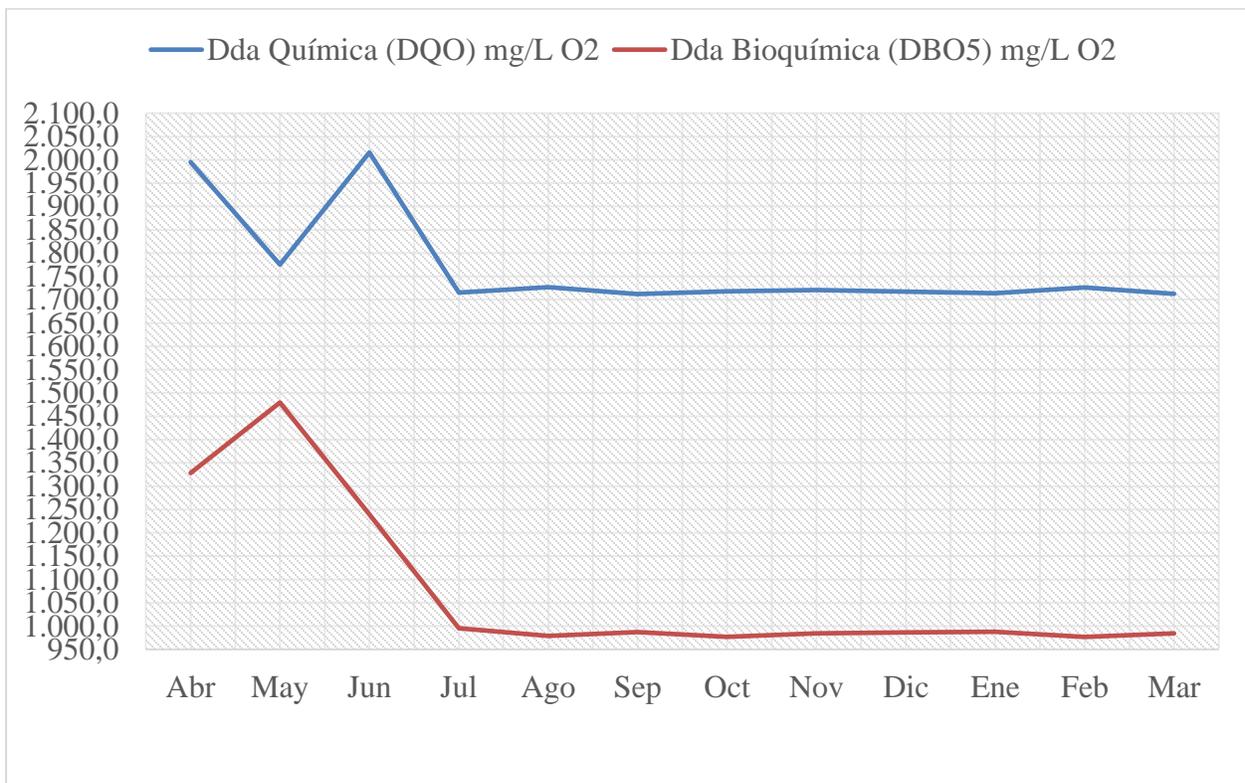
<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>
DQO	mg/L O ₂	1.995,3	1.775,1	2.015,7	1.715,0	1.727,2	1.712,1	1.718,3	1.720,8	1.717,4	1.714,0	1.726,1	1.712,5
DBO ₅	mg/L O ₂	1.328,6	1.479,5	1.239,3	995,6	979,2	987,0	977,2	984,4	986,5	987,9	976,7	984,2
SST	mg/L	542,1	720,2	320,1	159,9	152,7	171,5	148,6	164,2	167,3	163,9	144,5	154,3
SSED	mg/L	5,2	8,6	3,4	2,3	1,9	2,1	2,0	2,3	2,4	2,0	1,8	2,2
Grasas y Aceites	mg/L	40,0	47,2	35,3	31,7	30,0	32,4	30,2	33,5	30,1	32,8	30,0	31,9

Nota: Los parámetros de “Demanda Química (DQO), Demanda Bioquímica (DBO₅), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Sedimentables (SSED), Grasas y Aceites” permiten conocer los contaminantes presentes en las aguas residuales tratadas; es un registro mes a mes de los últimos 12 meses. Elaborado a partir de datos proporcionados por la empresa Del Llano S.A.

Se realizaron 2 gráficos (figura 5 y 6) debido a la diferencia de unidades; los valores de DBO y DQO se encontraban en, mg miligramos de oxígeno necesarios para la degradación de la materia orgánica por litro, y los demás parámetros en mg de de SST, SSED y, grasas y aceites contenidos por cada litro.

Figura 5.

Gráfico de líneas de DBO y DQO durante los últimos 12 meses



Nota: Elaborado a partir de datos proporcionados por la empresa Del Llano S.A.

Del Llano S.A. está en constante mejora de sus procesos. Han evaluado su tratamiento de aguas residuales realizando variaciones de coagulantes y floculantes para disminuir la carga de contaminantes. En la figura 5 se observó que a partir del mes de Julio la empresa logró disminuir y estabilizar su tratamiento de aguas. La DBO y DQO, permiten demostrar la eficiencia del

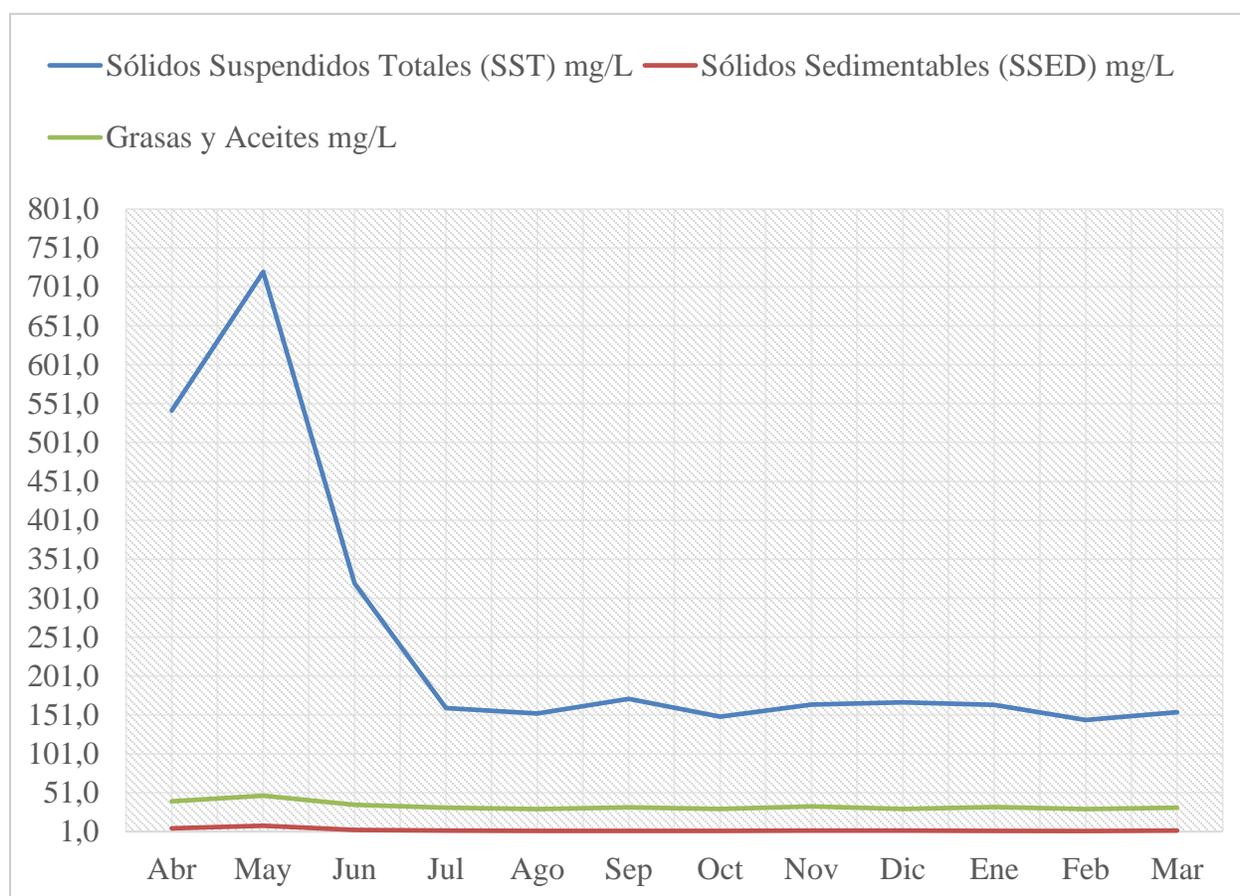
proceso de coagulación-floculación. Al realizar el tratamiento con coagulantes-floculantes se aglomeran los sólidos y son retirados, por lo que el valor de la DBO no es alto, ya que se necesitó como máximo de 1479,5 mg de O₂ (tabla 2) para la degradación biológica de la carga contaminante presente por cada litro de agua, es decir que no había grandes cantidades de estas por ser biodegradadas, gracias a la eficiencia del pretratamiento. En el caso de la DQO, de igual manera se evidencia eficiencia del pretratamiento por las mismas razones, necesitando como máximo de 2015,7 mg de O₂ para la degradación química de la carga presente por cada litro, siendo este el pico más alto, presentado en el mes de junio y, en el caso de la DBO en el mes de mayo. Sin embargo, en la figura 5 se evidenciaron picos hasta el mes de julio, donde lograron estabilizar los valores. En general, en el transcurso de abril a junio se observaron picos de ambas variables, indicando variación en coagulantes y floculantes; tomando los valores de abril como punto de partida, fue posible analizar que en el mes de mayo la proporción de agentes químicos fue mayor que en junio ya que la DQO pasó de 1775,1 a 2015,7 mg de O₂ por litro, y, en este mismo tiempo, por el contrario, la DBO disminuyó, pasando de 1479,5 a 1239,3 mg de O₂ por litro, indicando una baja eficiencia en la biodegradación. Mediante este tipo de análisis la empresa logró determinar un equilibrio de agentes químicos y biológicos para el proceso de coagulación-floculación permitiendo mejorar la remoción de agentes contaminantes.

Durante la visita realizada, se observó el tanque de lodos (anexo 3), en donde quedaban retenidas las Grasas y Aceites, y los sólidos, producto del pretratamiento, indicando eficiencia en la remoción de estos compuestos ya que los valores de los parámetros (tabla 2) son de máximo 47,2 mg de grasas y aceites, y 8,6 mg de Sólidos Sedimentables presentes por cada litro; en el caso de los Sólidos Suspendidos Totales, al ser insolubles no son removibles fácilmente, aunque de igual manera no se encuentran en grandes cantidades ya que como máximo hay 720,2 mg

presentes en cada litro en el mes de mayo, comprobando lo dicho anteriormente de que en el mes de mayo la proporción de agentes químicos fue superior que en el mes de junio (donde este valor disminuyó a 320 mg/L), indicando favorecimiento con el incremento de agentes biológicos, como se observa en la figura 6. Además, se evidencia que los SSED y las Grasas y Aceites no se ven muy afectados por la variación en los agentes coagulantes y floculantes, ya que su comportamiento no presenta picos notorios durante los 12 meses.

Figura 6.

Gráfico de líneas de SST, SSED y, Grasas y Aceites durante los últimos 12 meses



Nota: Elaborado a partir de datos proporcionados por la empresa Del Llano S.A.

Requerimientos técnicos de agua para uso en calderas

La empresa Del Llano S.A. requiere que en sus calderas sea usada agua que cumpla con las siguientes especificaciones:

Figura 7.

Parámetros requeridos del agua para alimentación en calderas

 Parámetro	Valores mínimos y máximos permisible en las calderas		
	Unidad	Mínimo	Máximo
Dda Química (DQO)	mg/L	0,002	9
Dda Bioquímica (DBO5)	mg/L		
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	-	Libre de solidos en	
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	0	<0,35
Grasas y Aceites	mg/L	0	<1

Nota: Datos proporcionados por la empresa Del Llano S.A.

Aunque la PTAR de la empresa ha presentado mejoras, los valores de los parámetros de las aguas tratadas (presentados en la tabla 2) no se ajustan a los requerimientos (figura 7) para ser usadas en la caldera, ya que, en los parámetros los valores son superiores a los de los requerimientos. En el caso de la DQO, se necesita de 1712,5 mg de O₂ para la degradación química de la carga presente por cada litro y la de la DBO son necesarios 984,2 mg de O₂ para la degradación biológica de la carga presente por cada litro, mientras que en los requerimientos se establecen valores de máximo 9 mg de O₂ para degradación química y biológica. En el caso de los SST, SSED y las grasas y aceites, deben ser de aproximadamente cero, ya que el agua de calderas debe ser cristalina, libre de sólidos.

Identificar a partir de referentes bibliográficos las características y propiedades del carbón activado como material filtrante que cumpla los requisitos del agua a suministrar a la caldera.

Para el desarrollo de este objetivo se consultaron 5 artículos científicos en revistas indexadas, de categoría B y C, con los que se logró construir la siguiente tabla:

Tabla 3.

Referentes bibliográficos de carbón activado de cuesco de palma

<i>Autor(es)</i>	<i>Granulometría</i>	<i>Activación</i>	<i>Capacidad de adsorción</i>
Vidal (2018)	Con mesoporos (2 a 50 nm)	Activación química con MgCl ₂ y CaCl ₂ al 3, 5 y 7%	Efectividad de remoción de sólidos suspendidos (tamaño mínimo de 45000 nm) y sedimentables (tamaño mínimo de 10000 nm), olor, grasas y aceites, color y otros compuestos de alto peso molecular.
Adilla y Yuzup (2017)	Área superficial de 1213 m ² /g con microporos (< 2 nm).	Carbonización por pirólisis (800°C) en atmósfera inerte y activación bajo gas oxidante (CO ₂)	Efectividad de remoción de metano (CH ₄), lo que indica que podría disminuir la DBO y DQO, además, por su área superficial es capaz de adsorber compuestos de alto peso molecular.
Diaz et al. (2017)	En polvo (< 0,25 mm) y granulado (> 0,25 mm) con microporos (< 2 nm)	Impregnado al 60% de agente activante H ₃ PO ₄ , con tiempo de activación de 120 minutos	Efectividad de remoción de hierro férrico (Fe ⁺³) que es retenido en microporos, que se encuentran en carbón activo tanto en polvo como granular ya que con todas las granulometrías se logró retención, aunque por su retención del 100% se estima que el carbón en polvo

<i>Autor(es)</i>	<i>Granulometría</i>	<i>Activación</i>	<i>Capacidad de adsorción</i>
			posee mayor cantidad de microporos que, así como eliminan este Fe^{+3} podría eliminar otras impurezas orgánicas, lo que a su vez disminuiría la DBO y DQO.
Ramirez et al. (2016)	Área superficial de 575,13 m ² /g	Activación química con ZnCl ₂	Efectividad de remoción de Azul de Metileno, como un aspecto importante que indica remoción de color, así como de otros compuestos de alto peso molecular como grasas y aceites.
Acevedo (2015)	Área superficial entre 453 y 501 m ² /g	Activados físicamente a 800°C, impregnados con solución acuosa al 3% p/v de MgCl ₂ y CaCl ₂	Efectividad de remoción de olor, color, grasas y aceites, entre otros compuestos de alto peso molecular debido a su área superficial

Nota: Elaborado por autores.

Por medio de la tabla 3 se puede concluir que, en general, el carbón activado de cuesco de palma posee un área superficial superior a 453 m²/g, y que, esto le confiere gran capacidad de adsorción. La influencia del tipo de activación incide en el tamaño de los poros; por activación química se logran áreas superficiales superiores a 575,13 m²/g, y física de 453 m²/g, con las que se retienen compuestos de alto peso molecular, lo que lograría disminuir los valores de sólidos y grasas y aceites. Sin embargo, por efectividad y fácil acceso a materiales, al realizar activación física (800°C) y química (impregnado al 60% de H₃PO₄ por 120 minutos), se lograría además de la disminución de los parámetros mencionados, la disminución de DBO y DQO.

Establecer el tipo de filtro adecuado para contener un lecho de carbón activado como material filtrante.

Para el desarrollo de este objetivo se consultaron 6 artículos científicos en revistas indexadas, de categoría C, con los que se logró construir la siguiente tabla:

Tabla 4.

Referentes bibliográficos de tipos de filtro

<i>Autor(es)</i>	<i>Tipo de filtro</i>	<i>Forma de Carbón</i>	<i>Aporte</i>
Garavito et al. (2020)	El sistema estuvo compuesto por tanques de material anticorrosivo, ya que el material se disuelve en el agua y este actúa por flotación, con un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de 10 días		Sistema abierto que permite la aireación del carbón. Eficaz en la remoción, pero no en el rendimiento.
Huamán et al. (2019)	Reactor vertical con dos capas de material filtrante, con orificios de ventilación en medio de ellas, y una tubería que distribuye el caudal de ingreso del agua, con un sistema clarificador en la parte inferior, en la que cae por gravedad el agua, que pasa a una tubería de salida. Funciona por bombeo periódico.	Activo Granular	Sistema cerrado con orificios de ventilación, efectivo para disminución de los parámetros de la DBO, DQO, sólidos y, aceites y grasas.
Barrera et al. (2018)	Se utilizó un filtro percolador en acero inoxidable, con una cama de lecho filtrante granular, en el medio, donde se rocía agua por tuberías, del mismo material, que rotan	Activo granular	Tecnología efectiva para la remoción de sólidos, DBO y DQO. Permite la

	sobre el material filtrante, y con una válvula de salida de agua por la parte inferior. Funciona por bombeo periódico.		aireación al ser un sistema abierto.
Romero et al. (2017)	Se utilizó un filtro percolador en PVC, con una cama de lecho filtrante granular, en el medio, donde se rocía agua por tuberías, del mismo material, que rotan sobre el material filtrante, y con una válvula de salida del agua por la parte inferior. Funciona por bombeo periódico.	Activo Granular	Sistema abierto que permite la aireación del carbón, efectivo en la disminución de la carga orgánica medible por DQO.
Elías et al. (2017)	La elaboración del filtro de agua se llevó a cabo en un tubo de PVC hidráulico de 1" de diámetro. Se realizaron dos diseños. En el primero se colocó la capa de papel filtro, y 2.5 gr de algodón absorbente, en seguida se puso 1 gr de CA granular y 1gr del mismo material carbonoso pulverizado, por último, se agregó 30 ml de volumen aparente de piedras. El segundo filtro tuvo la misma configuración, pero sin CA. Se presentó mayor eficiencia con el primer filtro que combinó carbón activo granular y en polvo.	Activo Granular y en Polvo	Sistema cerrado con CA granular y en polvo, efectivo en la remoción de DQO.
Gerardo et al. (2016)	Se diseñó un reservorio de PVC de 1.5", con filtro de carbón activado en polvo, en el fondo, y una tubería de salida en la parte inferior, para el paso total de los efluentes. Funciona por bombeo periódico.	Activo en Polvo	Sistema cerrado efectivo en la remoción de agua potable con cloro residual.

Nota: Elaborado por autores.

Por medio de la tabla 4 se puede concluir que los diferentes tipos de diseño son efectivos ya que eso depende de la capacidad de adsorción del carbón, que como se analizó en el anterior objetivo, es adecuado para disminuir los parámetros en general, por su gran área superficial y el tamaño de sus poros.

Los aspectos importantes, en la elección de un filtro, radican en el tiempo de contacto, la forma del carbón, el material utilizado y la flexibilidad en el diseño. Todos los autores tienen en común la aireación, para evitar la corrosión por parte del carbón, y es por esto que se usan materiales anticorrosivos como el Policloruro de Vinilo (PVC) y el acero inoxidable. En el caso del tiempo de contacto, filtros que funcionan por flotación no son adecuados porque, según los autores Garavito et al. (2020), este tipo de filtro cumple con su función, pero el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) es de 10 días; por el contrario, los demás diseños son efectivos y manejan un bombeo periódico que con un TRH equivalente a lo que tarda en pasar el agua a través del material filtrante. En cuanto al diseño, la PTAR de la empresa tiene una tubería de salida de 1 pulgada de diámetro, de material PVC (ver anexo 3), por lo que se podría implementar un diseño que se ajuste a esta; este es el caso del diseño de los autores Elías et al. (2017), que usan carbón activo granular y en polvo para mayor efectividad y, el reactor vertical de los autores Huamán et al. (2019). Todo depende de los fondos que la empresa está dispuesta a invertir en esto, ya que hay opciones de filtros sencillos que se implementan directamente en la tubería, y diseños de reactores y percoladores más industrializados.

Conclusiones

En el primer objetivo se logró determinar que el agua saliente de la PTAR, actualmente no cumple con los requerimientos de los parámetros para ser usada en la caldera, por lo que, es necesario que la empresa Del Llano S.A. implemente tecnologías adicionales para optimizar el tratamiento de las aguas residuales del proceso de refinamiento.

Dando cumplimiento al segundo objetivo se estableció que el carbón activado en general tiene potencial para remover los parámetros de DBO, DQO, SST, SSED y Grasas y Aceites. Por su parte, los 5 artículos analizados evidenciaron que es viable aprovechar el cuesco de la palma de aceite para la elaboración de este, y se concluyó que el método de activación ideal es una combinación de activación física a 800°C (pirolisis) y química mediante el agente activante impregnado al 60% de H₃PO₄ por 120 minutos, ya que es más sencillo trabajar con reactivos que con gases como el CO₂ que requieren atmósfera inerte (libre de gases contaminantes presentes en el aire).

Culminado el tercer objetivo del diseño del filtro, se analizaron propuestas de filtros de tubería, y tecnologías industrializadas como reactores o percoladores.

Recomendaciones

Es importante evaluar la viabilidad del uso de los filtros de carbón como tecnología complementaria, ya que existen múltiples diseños que podrían brindar solución a la necesidad de la empresa, sin embargo, depende en gran parte de los costos y beneficios que pueda generarle cada una de éstas.

Se recomienda que, sin importar el tipo de filtro elegido, se haga cambio del material filtrante cada año, sin esperar a exceder su vida útil que es de aproximadamente 2 años.

Es importante manejar sistemas de filtración que permitan la aireación para evitar problemas de corrosión por mantener húmedo el carbón activado.

Lista de referencias

- Acevedo, S., Giraldo, L., & Moreno, J. C. (2015). Caracterización textural y química de carbones activados preparados a partir de cuesco de palma africana (*Elaeis Guineensis*) por activación química con CaCl_2 y MgCl_2 . *Revista Colombiana de Química*, 44(3), 18-24. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n3.55606>
- Almansa Carrascosa, M.C. (2004). Preparación de discos de carbón activado químicamente para el almacenamiento de metano. [Tesis doctoral, Universidad de Alicante]. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/9102#vpreview>
- Azabache Liza, Y. F., & Cachay Ortiz, W. (2019). Efecto del carbón activado, obtenido experimentalmente a partir de cáscara de café (*Coffea Arábica L.*), en la adsorción de metales pesados, en aguas del acuífero del distrito de Yantaló, Moyobamba, 2017. <http://tesis.unsm.edu.pe/handle/11458/3500>
- Barrera, L., Díaz, A., López, E., Medina, E., Rivera, M., y Vallester, E. (2018). Evaluación del desempeño del filtro biológico de la Universidad Tecnológica de Panamá. *Revista De Iniciación Científica*, 4(1), 23-29. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.1.1863>
- Chiclote Gonzales, Y. E. (2018). Mejora de la calidad del agua del río cumbre empleando filtro de carbón activado. [Tesis de Pregrado, Universidad Privada Del Norte] <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13839>
- Cruz, C. G., Guzmán, T. V., Rimaycuna, R. J., Alfaro, A. R., Cruz, M. J., Aguirre, C. D., Ubillus, A. E. (2016). Tratamiento complementario de agua potable utilizando un filtro de carbón activado impregnado con quitosano producidos a partir de biomasa residual. *Revista de Investigación Científica, Universidad Nacional de Tumbes, Perú*, (12(1)), 65 – 74

<http://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/36/37>

Díaz Avalos, H. (2017). Efectividad del carbón activado de palma africana, para disminuir la concentración de Fe+3 en el agua potable de la habilitación urbana municipal de Manantay, 2017. Revista de investigación científica. 66-74.

<https://www.upp.edu.pe/revistas/index.php/RICCVIA/article/view/110/99>

Garavito Bermúdez, G. I., Ospina Romero, L. V., & Ospina Mora, D. C. (2020).

Evaluación de un sistema a escala laboratorio, de un filtro de macrófitas en flotación como tratamiento de aguas residuales de un autolavado. Revista Logos Ciencia & Tecnología, 12(1), 10-20. <http://dx.doi.org/10.22335/rict.v12i1.977>

Landin, K.S., & Tovar, D. (2017). Elaboración de un filtro de agua a partir de residuos domésticos. Revista de divulgación Científica. Vol. 3 Núm. 2

<http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2082>

La Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, (Fedepalma). (Mayo de 2019). LA PALMA DE ACEITE En Colombia.

<http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/infografias/infografia-palmadeaceite-colombia-2019.pdf>

Fuentes, L., Amezquita, C., & Torres, P. (2018). Application of double filtration with granular activated carbon for Atrazine reduction on water treatment processes.

Revista DYNA http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532018000200184&lang=es

Gómez, A., Klose, W. y Rincón, S. (2010). 1. Carbón activado de cuesco de palma: Estudio de termogravimetría y estructura. Universidad de Kassel:

https://books.google.com.co/books?id=_3iIfeXtdRwC&pg=PA1&dq=carbon+activ

o&hl=es-

419&sa=X&ved=2ahUKEwiF_JugrpfAhUyo1kKHbiJDPQQ6AEwAXoECAUQA
g#v=onepage&q=carbon%20activo&f=false

Infante Chipile, D. (2018). Carbón activo granular, en la mejora de la calidad del agua potable. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12672>

Jimenez Ramos, I., Rondón, W., Rojas de Astudillo, L., Rojas de Gáscue, B., Luis Prin, J., Freire, D., Díaz, Y., Pino, K., Gonzales, O. (2017). Síntesis de carbón activado a partir de epicarpio de arralea macrolepis y su aplicación en la remoción de Pb²⁺ en soluciones acuosas. Revista Internacional de Contaminación Ambiental

<https://www.redalyc.org/jatsRepo/370/37052723017/37052723017.pdf>

Menéndez, J. (2012). El carbón en la vida cotidiana de la pintura rupestre al ascensor espacial. editorial Instituto Nacional de Carbón

<https://books.google.com.co/books?id=kPrJQptYdzcC&pg=PA67&dq=carbon+activo+imagen&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiyqt3Ht5fsAhUyp1kKHSTGDP4Q6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q&f=false>

Ojeda, G., Orozco, A., & Espinoza, T. (2019). Proposal for the design of an activated carbon production line from sugarcane and coconut. Universidad de Carabobo

<http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v26n3/art06.pdf>

Ortiz Quintero, J. N., y Puerto Angarita, N. F. (2019). Uso del carbón activado de guadua para el tratamiento de aguas residuales: Revisión y vigilancia tecnológica. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]

https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23859/1/65_Jhoan%20Ortiz%20y%20Nelson%20Puerto.pdf

- Pereira Guanuche, F. A., Cedeño Sares, L. A., Romerosa Nieves, A. M., y Matamoros Morales, M. A. (2017). Purificación de agua mediante carbón activo proveniente de la cáscara de Arroz. Centro de Investigaciones Universidad Técnica de Machala <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/148/125>
- Prías, J., Rojas, C., Echeverry, N., Fonthal, G. & Ariza, H. (2015). Fabricación y caracterización de carbón activado y de nanoplaquetas de carbón a partir de Guadua angustifolia Kunth para aplicaciones en electrónica. Revista Académica Colombiana. 444-449. <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v39n153/v39n153a01.pdf>
- Prías, J., Rojas, C., Echeverry, N., Fonthal, G. & Ariza, H. (2011). Identificación de las variables óptimas para la obtención de carbón activado a partir del precursor guadua Angustifolia kunth. Scielo <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v35n135/v35n135a04.pdf>
- Poblete, R., Cortés, E., y Luna, Y. (2019). Landfill leachate treatment using activated carbon obtained from coffee waste. Revista Catolica de Colombia, (v.24 n.4), 834-842. <http://www.scielo.br/pdf/esa/v24n4/1809-4457-esa-s1413-41522019178655.pdf>
- Rashidi, N. A., y Yusuf, S. (2017). Revisión sobre avances tecnológicos recientes en la producción de carbón activado a partir de residuos de la palma de aceite. Revista Palmas, 38(2), 86-118. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12126>
- Ramirez P., A., Giraldo, S., Flórez, E., y Acelas, N. (2017). Preparación de carbón activado a partir de residuos de palma de aceite y su aplicación para la remoción de

colorantes. Revista Colombiana de Química. (46(1)), 33-41.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042017000100033&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Romero Ladino, Y. T., Rojas Ordóñez, L. F., Rodríguez Miranda, J. P. (2019).

Determinación de la eficiencia del sistema de filtros de esponjas colgantes continuas (DHS) en el tratamiento de aguas residuales del centro Poblado de Marian – Huaraz (Perú). Ciencia, Tecnología y Desarrollo. Volumen 5 Número (2): 27-37.

https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/1360

Romero Y., Rojas L. y Rodríguez. J. (2016). Evaluación de un filtro percolador sin

recirculación con medio de soporte en PVC para el tratamiento de aguas residuales combinadas (domésticas y pecuarias). Revista de Investigaciones, 9 (1), 38 - 48.

<https://www.udi.edu.co/revistainvestigaciones/index.php/ID/article/view/114/124>

Rodríguez, N. y Simoes, E., Guimaraes, R. (2007) Uso de Indicadores para estimar

consumo y digestibilidad de pasto. LIPE, lignina purificada y enriquecida. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. (Rev Col Cienc Pec 2007 20:4), 518-525.

<https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/324210/20781382>

Salamanca, E. (2016). Tratamiento de aguas para el consumo humano. Módulo

Arquitectura CUC, Vol.17 N°1, 29-48

[.http://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/2488/Tratamiento%20de%20aguas%20para%20el%20consumo%20humano.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/2488/Tratamiento%20de%20aguas%20para%20el%20consumo%20humano.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Santillán Pinedo, H., y Monsalve Delgado, T. (2018). Diseño de cámara filtrante, utilizando

carbón activado para mejorar la calidad del agua potable de C.P. El Milagro -

Moyobamba 2018. [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]

<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31632>

- Torres Guzmán, M. (2017). Consumo Energético de la molienda del mineral laterítico con carbón bituminoso aditivo. [Tesis de Pregrado, Instituto Superior Minero de Moa].
<http://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/2559/Marianna.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Torres, P., Amezquita, C., Agudelo, K., Ortiz, N., & Martinez, D. (2018). Evaluation of turbidity and dissolved organic matter removal through double filtration technology with activated carbon. *Revista DYNA*, 85(205), 234-239
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532018000200234&lang=es
- Troca Torrado, C. (2017). Adsorbentes carbonosos a partir de materiales de desecho de origen industrial. Preparación, caracterización y aplicaciones [Tesis Doctoral, Universidad de Extremadura].
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=125163>
- Van Dam, J. (2016). Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa. *Palmas*, 37(Especial Tomo II), 149-156
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11930/11923>
- Vilarrasa Garcia, E. (2014). Desarrollo de materiales para adsorción. [Tesis doctoral, Universidad de Málaga].
https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/8659/TDR_VILARRASA_GARCIA.pdf?sequence=1
- Vidal Mejia, M. V. (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado. *Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco*, (Vol. 23, No. 03), 411-419. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6760221>

Anexos

Anexo 1.

Formato de entrevista para la empresa

Entrevista
Fecha:
Nombre del entrevistado:
Cargo:
Objetivo: Esta entrevista tiene como objetivo la recolección de información sobre las condiciones del agua que sale de la PTAR para su posterior uso en las calderas.
Preguntas:
1. ¿La PTAR trata aguas provenientes fuera de la línea de producción? SI: ___ NO: ___ Si su respuesta fue sí, ¿de qué áreas proviene el agua que ingresa a la PTAR?
2. ¿DEL LLANO S.A. estaría dispuesta a proveer para el estudio el registro de los últimos 12 meses de los niveles de carga orgánica en el agua? SI: ___ NO: ___ Si su respuesta es sí, adjuntar la documentación.
3. ¿El agua que actualmente sale de la PTAR cumple con los requerimientos para su uso en la caldera? SI: ___ NO: ___ Si su respuesta es negativa, adjuntar los requerimientos del agua para su posterior uso en las calderas.
4. ¿De dónde provienen los residuos líquidos que llegan a la planta de tratamiento?
5. ¿Qué insumos son utilizados para llevar a cabo el proceso de aguas residuales?
6. ¿Bajo qué norma se rigen para realizar el proceso de aguas residuales?
7. ¿Con qué frecuencia realizan el tratamiento de agua?
8. ¿Cuál es la duración del proceso de tratamiento?
9. ¿Cuál es la capacidad de agua que la planta puede tratar en cada ciclo?
10. ¿Qué dimensión y forma tiene la apertura de salida de agua de la planta de tratamiento?

Nota: Elaborado por autores

Anexo 2.

Parámetros del agua saliente de la PTAR



Monitoreos de los parámetros analizados del agua saliente de la PTAR realizados en el año 2020

Abril	Parámetros	Unidad	Valor
	Dda Química (DQO)	mg/L O2	1995,3
	Dda Bioquímica (DBO5)	mg/L O2	1328,6
	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	542,1
	Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	5,2
	Grasas y Aceites	mg/L	40

Mayo	Parámetros	Unidad	Valor
	Dda Química (DQO)	mg/L O2	1775,1
	Dda Bioquímica (DBO5)	mg/L O2	1479,5
	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	720,2
	Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	8,6
	Grasas y Aceites	mg/L	47,2

Junio	Parámetros	Unidad	Valor
	Dda Química (DQO)	mg/L O2	2015,7
	Dda Bioquímica (DBO5)	mg/L O2	1239,3
	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	320,1
	Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	3,4
	Grasas y Aceites	mg/L	35,3

Julio	Parámetros	Unidad	Valor
	Dda Química (DQO)	mg/L O2	1715
	Dda Bioquímica (DBO5)	mg/L O2	995,6
	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	159,9
	Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	2,3
	Grasas y Aceites	mg/L	31,7

Agosto	Parámetros	Unidad	Valor
	Dda Química (DQO)	mg/L O2	1727,2
	Dda Bioquímica (DBO5)	mg/L O2	979,2
	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	152,7
	Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	1,9
	Grasas y Aceites	mg/L	30

Septiembre	Parámetros	Unidad	Valor
	Dda Química (DQO)	mg/L O2	1712,1
	Dda Bioquímica (DBO5)	mg/L O2	987
	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	171,5
	Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	2,1
	Grasas y Aceites	mg/L	32,4

Octubre	Parámetros	Unidad	Valor
	Dda Química (DQO)	mg/L O2	1718,3
	Dda Bioquímica (DBO5)	mg/L O2	977,2
	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	148,6
	Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	2
	Grasas y Aceites	mg/L	30,2

Noviembre	Parámetros	Unidad	Valor
	Dda Química (DQO)	mg/L O2	1720,8
	Dda Bioquímica (DBO5)	mg/L O2	984,4
	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	164,2
	Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	2,3
	Grasas y Aceites	mg/L	33,5

Diciembre	Parámetros	Unidad	Valor
	Dda Química (DQO)	mg/L O2	1717,4
	Dda Bioquímica (DBO5)	mg/L O2	986,5
	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	167,3
	Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	2,4
	Grasas y Aceites	mg/L	30,1



Monitoreos de los parámetros analizados del agua saliente de la PTAR realizados en el año 2021

Enero	Parámetros	Unidad	Valor
	Dda Química (DQO)	mg/L O2	1714
	Dda Bioquímica (DBO5)	mg/L O2	987,9
	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	163,9
	Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	2
	Grasas y Aceites	mg/L	32,8

Febrero	Parámetros	Unidad	Valor
	Dda Química (DQO)	mg/L O2	1726,1
	Dda Bioquímica (DBO5)	mg/L O2	976,7
	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	144,5
	Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	1,8
	Grasas y Aceites	mg/L	30

Marzo	Parámetros	Unidad	Valor
	Dda Química (DQO)	mg/L O2	1712,5
	Dda Bioquímica (DBO5)	mg/L O2	984,2
	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	154,3
	Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	2,2
	Grasas y Aceites	mg/L	31,9

Nota: Datos proporcionados por la empresa

Anexo 3.

Visita a la empresa, evidencia fotográfica.



Nota: Tomada por autores



Nota: Tanque de lodo. Tomada por autores.

Continuación de Anexo 3.



Nota: Tubo de salida del agua pretratada. Tomada por autores.



Nota: Caldera. Tomada por autores.

Anexo 4.

Matriz de revisión bibliográfica de carbón activado

Nº	Revista	Autor(es)	Categoría	Año	Título	Resumen	Metodología utilizada	Cita	Link de búsqueda	Aporte de:
1	Revista Scientia et Technica	Vidal Mejía Mari Victoria	B	2018	Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión	El objetivo de este artículo es exponer el aprovechamiento de residuos agroindustriales (frutos secos, alimenticios domésticos y de palmas aceiteras) para la fabricación de carbón activado y las aplicaciones en los que pueda emplearse. En especial, la activación química del Cuesco de Palma Africana se llevó a cabo utilizando dos soluciones de diferente concentración de dos agentes activantes: MgCl ₂ a 3%, 5%, 7% y CaCl ₂ de 3%, 5%, 7% y los resultados muestran que la activación con las sales MgCl ₂ y CaCl ₂ producen carbones activados con poros en el rango de los mesoporos (2 a 50 nm) que facilitan la entrada de la molécula de interés al interior del material.	Activación química con MgCl ₂ y CaCl ₂ al 3, 5 y 7%	Vidal, M. (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión. Scientia et Technica, 23(3), 411-419.	https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6760221	Efectividad de remoción de sólidos suspendidos (tamaño mínimo de 45000 nm) y sedimentables (tamaño mínimo de 10000 nm), olor, grasas y aceites, color y otros compuestos de alto peso molecular.
2	Revista de Investigación Científica	Hugo Diaz Avalos, C Luis J. Barboza Hernández, Hugo Guillermo Diaz Panduro & Noé Klever Guadalupe Baylón		2017	Efectividad del carbón activado de palma africana, para disminuir la concentración de Fe ⁺³ en el agua potable del pozo de la habitación urbana municipal de Manantay, 2017	Estudio desarrollado para determinar la efectividad del carbón activado elaborado del cuesco de la palma africana para disminuir el nivel de concentración de hierro férrico en el agua, se analizó y empleó las tres diferentes fuentes de variabilidad, las cuales fueron: el porcentaje de impregnación (30 y 60%) de agente activante (H ₃ PO ₄), tiempo de activación (90 y 120 minutos) y 3 diferentes granulometrías del carbón activado (granular, intermedia y en polvo). El carbón activo con mayor poder de adsorción y por consiguiente con una mayor área superficial fue el carbón activado al 60% de agente activante, con tiempo de activación de 120 minutos y granulometría en polvo. Según los resultados, a partir del endocarpio de Palma Africana fue posible la obtención de un carbón activado de buenas condiciones fisicoquímicas, y que ha cumplido con los estándares internacionales en cuanto a sus parámetros se refiere.	Activación química con H ₃ PO ₄	Diaz, H., Barboza, L., Dias, H. G., & Guadalupe, N. (2018). Efectividad del carbón activado de palma africana, para disminuir la concentración de Fe ⁺³ en el agua potable del pozo de la habitación urbana municipal de Manantay, 2017. Repositorio de revistas de la universidad privada de pucallpa, 3(02). https://www.upp.edu.pe/revistas/index.php/RICCVa/article/view/110/99	https://www.upp.edu.pe/revistas/index.php/RICCVa/article/view/110/99	Efectividad de remoción de hierro férrico (Fe ⁺³) que es retenido en microporos, que se encuentran en carbón activo tanto en polvo como granular ya que con todas las granulometrías se logró retención, aunque por su retención del 100% se estima que el carbón en polvo posee mayor cantidad de microporos que así como eliminan este Fe ⁺³ podría eliminar otras impurezas orgánicas, lo que a su vez disminuiría la DBO y DQO
3	Revista Palmas.	Nor Adilla Rashidi C & Suzana Yusup	C	2017	Revisión sobre avances tecnológicos recientes en la producción de carbón activado a partir de residuos de la palma de aceite	A lo largo de la revisión se hace énfasis en la metodología reciente de activación aplicada a los residuos de palma, la cual comprende las modalidades de calentamiento térmico en horno convencional y de calentamiento por microondas. Como resultado este artículo ayuda a los investigadores a avanzar en la búsqueda de una técnica sencilla y económicamente viable para la producción de carbón activado. El cuesco de palma activado con CO ₂ genera la mayor área superficial (1213 m ² /g) del resto de residuos, capaz de retener en sus microporos Metano.	Carbonización por pirólisis en atmósfera inerte y activación bajo gas oxidante (CO ₂)	Rashidi, N. A., & Yusup, S. (2017). Revisión sobre avances tecnológicos recientes en la producción de carbón activado a partir de residuos de la palma de aceite (Adriana Arias, trad.). Palmas, 38(2), 86 - 118.	https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12126/12059	Efectividad de remoción de metano (CH ₄), lo que indica que podría disminuir la DBO y DQO, además, por su área superficial es capaz de adsorber compuestos de alto peso molecular.

Continuación Anexo 4.

N°	Revista	Autor(es)	Categoría	Año	Título	Resumen	Metodología utilizada	Cita	Link de búsqueda	Aporte de:
4	Revista Colombiana de Química	Anyi P. Ramirez, Stephanie Giraldo, Elizabeth Flórez & Nancy Acelas	C	2016	Preparación de carbón activado a partir de residuos de palma de aceite y su aplicación para la remoción de colorantes	Los carbones activados producidos por activación química con ZnCl ₂ a partir de los residuos de la palma de aceite, fibra (mesocarpio) y cáscara (endocarpio) exhiben áreas superficiales de 835,30 y 575,13 m ² /g respectivamente, lo que indica que pueden ser usados como adsorbentes de Azul de Metileno. Los resultados mostrados en este estudio permiten concluir que los residuos de palma (fibra y cáscara) son precursores potenciales para la producción de carbón activado para la adsorción de contaminantes orgánicos, tal como el Azul de Metileno.	Activación química con ZnCl ₂ a partir de los residuos de la palma de aceite, fibra (mesocarpio) y cuesco (endocarpio)	Ramírez Muñoz, A. P., Giraldo Ardila, S., Flórez Yepes, E., & Acelas Soto, N. Y. (2017). Preparación de carbón activado a partir de residuos de palma de aceite y su aplicación para la remoción de colorantes. <i>Revista Colombiana de Química</i> , 46(1), 33-41. https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v46n1.62851	https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/62851/3905	Efectividad de remoción de Azul de Metileno, como un aspecto importante que indica remoción de color, así como de otros compuestos de alto peso molecular como grasas y aceites.
5	Revista Colombiana de Química	Sergio Acevedo, Liliana Giraldo & Juan Carlos Moreno	C	2015	Caracterización textural y química de carbones activados preparados a partir de cuesco de palma africana (<i>Elaeis guineensis</i>) por activación química con CaCl ₂ y MgCl ₂	La preparación de carbón activado empleando como activante MgCl ₂ genera materiales con características básicas, lo que indica que existe un aumento de la densidad electrónica de los planos basales causada por los grupos oxigenados a diferencia de los sólidos impregnados con CaCl ₂ . Las partículas de carbón obtenidos muestran mayores valores para la muestra que se impregna con solución acuosa de 3% p/v de MgCl ₂ y se activa a 1073 K. En comparación, los carbones activados con soluciones de CaCl ₂ presentan valores de área superficial de 453 m ² /g. Se obtuvieron carbones activados con diferentes características texturales: con áreas superficiales BET entre de 501 m ² /g y volúmenes de poro entre 0,01-0,29 cm ³ /g.	Activación física a 800°C e impregnación con soluciones acuosas de diferente concentración de dos activantes químicos, MgCl ₂ y CaCl ₂	Acevedo, S.; Giraldo, L.; Moreno, J.C. Caracterización textural y química de carbones activados preparados a partir de cuesco de palma africana (<i>Elaeis guineensis</i>) por activación química con CaCl ₂ y MgCl ₂ . <i>Rev. Colomb. Quim.</i> 2015, 44 (3), 18-24. DOI: http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n3.55606	https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/55606/5548	Efectividad de remoción de olor, color, grasas y aceites, entre otros compuestos de alto peso molecular debido a su área superficial

Nota: Elaborada por autores.

Anexo 5.

Matriz de revisión bibliográfica de tipos de filtros para aguas residuales.

Nº	Revista / Documento	Autor	Categoría	Año	Título	Resumen	Metodología utilizada	Cita	Link de búsqueda	Aporte de:
1	Revista Logos, Ciencia & Tecnología	Geraldine Isabel Garavito Bermúdeza, Laura Vanessa Ospina Romero, Diana Carolina Ospina Morac	C	2020	Evaluación de un sistema a escala laboratorio, de un filtro de macrófitas en flotación como tratamiento de aguas residuales de un autolavado	Se elaboró un filtro que emplea macrófitas en flotación a escala de laboratorio, usando aguas provenientes de un autolavado. Se utilizaron el Jacinto de Agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) y Lenteja de Agua (<i>Lemna minor</i>), y se realizó un monitoreo durante un mes de las concentraciones de DBO ₅ , DQO, SST y SS en el efluente del sistema.	El sistema estuvo compuesto por tanques de material anticorrosivo, ya que el material se disuelve en el agua y este actúa por flotación, con un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de 10 días	Garavito, G., Ospina, L., Ospina, D. (2020). Evaluación de un sistema a escala laboratorio, de un filtro de macrófitas en flotación como tratamiento de aguas residuales de un autolavado http://www.scielo.org.co/pdf/logos/v12n1/2422-4200-logos-12-01-10.pdf	http://www.scielo.org.co/pdf/logos/v12n1/2422-4200-logos-12-01-10.pdf	Sistema abierto que permite la aireación del carbón. Eficaz en la remoción pero no en el rendimiento
2	Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo	Martin Huamán Carranza, Yudith Flores Albornoz, Rosario Polo Salazar, Nino Araujo Jamanca, Kiko Depaz Celi	C	2019	Determinación de la eficiencia del sistema de filtros de esponjas colgantes continuas (DHS) en el tratamiento de aguas residuales del centro Poblado de Marian – Huaraz (Perú)	La aplicación de reactores, con filtrantes como esponjas endurecidas (llamados también reactor DHS) fue desarrollada como un tratamiento secundario de efluente de un tanque séptico. Los medios filtrantes de los reactores han sido elaborados con esponjas de poliuretano de resina epóxica. Los sistemas se instalaron y se desarrollaron en la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Marian (Huaraz - Perú), donde se logró que el efluente del tanque séptico ingrese continuamente al reactor DHS. Efectividad en dismicuión de DBO, DQO, Sólidos Grasas y Aceites, Nitritos y microorganismos.	Reactor vertical con dos capas de material filtrante, con onficios de ventilación en medio de ellas, y una tubería que distribuye el caudal de ingreso del agua, con un sistema clarificador en la parte inferior, en la que cae por gravedad el agua, que pasa a una tubería de salida. Funciona por bombeo periódico.	Huamán, M., Flores, Y., Polo, R., Araujo, N., Depaz, K. (2019). Determinación de la eficiencia del sistema de filtros de esponjas colgantes continuas (DHS) en el tratamiento de aguas residuales del centro Poblado de Marian – Huaraz (Perú) https://revistas.upu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/1360	https://revistas.upu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/1360	Sistema cerrado con onficios de ventilación, efectivo para disminución de los parámetros de la DBO, DQO, sólidos y, aceites y grasas.
3	Revista de Iniciación Científica	Lanneth Barrera, Ada Diaz, Ericka López, Erasmo Medina, Maritzel Rivera, Erick Vallester	C	2018	Evaluación del desempeño del filtro biológico de la Universidad Tecnológica de Panamá	Se realizó una evaluación técnica del filtro biológico de la Universidad Tecnológica de Panamá, donde le antecede un tratamiento primario por sedimentación (tanque séptico), antes de verterse a un cuerpo de agua superficial, en este caso el río Curundú. Se analizaron las características fisicoquímicas del agua residual tratada actualmente por este sistema de tratamiento secundario, evaluando parámetros tales como Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos, Sólidos Volátiles, DBO ₅ y DQO.	Se utilizó un filtro percolador en acero inoxidable, con una cama de lecho filtrante granular, en el medio, donde se rocía agua por tuberías, del mismo material, que rotan sobre el material filtrante, y con una válvula de salida de agua por la parte inferior. Funciona por bombeo periódico.	Barrera, L., Diaz, A., López, E., Medina, E., Rivera, M., & Vallester, E. (2018). Evaluación del desempeño del filtro biológico de la Universidad Tecnológica de Panamá. Revista de Iniciación Científica, 1–7. https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1863/2811	https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1863/2811	Tecnología efectiva para la remoción de sólidos, DBO y DQO. Permite la aireación al ser un sistema abierto, sin embargo, se recomienda ser cambiado cada 12 meses para mantener la eficiencia.

Continuación anexo 5.

Nº	Revista / Documento	Autor	Categoría	Año	Título	Resumen	Metodología utilizada	Cita	Link de búsqueda	Aporte de:
4	Revista de investigaciones	Yenny Tatiana Romero Ladino, Luisa Fernanda Rojas Ordóñez, Juan Pablo Rodríguez Miranda	C	2017	Evaluación de un filtro percolador sin recirculación con medio de soporte en PVC para el tratamiento de aguas residuales combinadas (domésticas y pecuarias)	La remoción de los contaminantes de un agua residual combinada (doméstica y pecuaria) considera la utilización de tecnologías de tratamiento, como los filtros percoladores, con lechos en policloruro de vinilo (PVC) y sin recirculación de efluentes, para la disminución de la carga orgánica medible como demanda química de oxígeno (DQO)	Se utilizó un filtro percolador en PVC, con una cama de lecho filtrante granular, en el medio, donde se rocía agua por tuberías, del mismo material, que rotan sobre el material filtrante, y con una válvula de salida del agua por la parte inferior. Funciona por bombeo periódico.	Romero, Y., Rojas, L., Rodríguez, J. (2017). Evaluación de un filtro percolador sin recirculación con medio de soporte en PVC para el tratamiento de aguas residuales combinadas (domésticas y pecuarias) https://www.udi.edu.co/revistainvestigaciones/index.php/ID/article/view/114/124	https://www.udi.edu.co/revistainvestigaciones/index.php/ID/article/view/114/124	Sistema abierto que permite la aireación del carbón, efectivo en la disminución de la carga orgánica medible por DQO
5	Revista de divulgación Científica	Elias Landin Karla San, Nicasio Tovar Diego Armando	C	2017	Elaboración de un filtro de agua a partir de residuos domésticos	Se elaboró un filtro en una estructura que llevaba dentro el carbón activado acompañado de piedras, algodón y papel filtro, los cuales ayudan a la filtración del agua residual y se evaluó mediante un análisis de remoción de DQO. Se hizo con el objetivo de mejorar la calidad del agua y minimizar el impacto ambiental en su elaboración. A partir de los resultados de la investigación se determinó que el filtro era funcional para industrias donde el agua residual pudiera ser reutilizada.	La elaboración del filtro de agua se llevó a cabo en un tubo de PVC hidráulico de 1" de diámetro. Se realizaron dos diseños. En el primero se colocó la capa de papel filtro, y 2.5 gr de algodón absorbente, en seguida se puso 1 gr de CA granular y 1gr del mismo material carbonoso pulverizado, por último, se agregó 30 ml de volumen aparente de piedras. El segundo filtro tuvo la misma configuración, pero sin CA. Se presentó mayor eficiencia con el primer filtro que combinó carbón activo granular y en polvo.	Elías, K., Nicasio, D. (2017). Elaboración de un filtro de agua a partir de residuos domésticos http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2082/1575	http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2082/1575	Sistema cerrado con CA granular y en polvo, efectivo en la remoción de DQO
6	Revista de Investigación Científica	Gerardo Cruz C., Victor Guzmán T., Jhon Rimaycuna R., Rubén Alfaro A., José Cruz M., Donian Aguirre C., Edwin Ubillus A.	C	2016	Tratamiento complementario de agua potable utilizando un filtro de carbón activado impregnado con quitosano producidos a partir de biomasa residual	Se probó la eficiencia de un filtro a base de carbón activado en polvo. El material se colocó en un soporte de plástico PVC de 1.5" de diámetro para constituir el filtro a ser utilizado durante el desarrollo de los experimentos con agua potable colectada en la zona de El Milagro – Tumbes. El filtro construido logró reducir eficientemente los niveles de concentración, turbidez y cloro residual en el agua potable.	Se diseñó un reservorio de PVC de 1.5", con filtro de carbón activado en polvo, en el fondo, y una tubería de salida en la parte inferior, para el paso total de los efluentes. Funciona por bombeo periódico.	Cruz, G., Guzmán, V., Rimaycuna, J., Alfaro, R., Cruz, J., Aguirre, D., Ubillus, E. (2016) Tratamiento complementario de agua potable utilizando un filtro de carbón activado impregnado con quitosano producidos a partir de biomasa residual http://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/36/37	http://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/36/37	Sistema cerrado efectivo en la remoción de agua potable con cloro residual

Nota: Elaborada por autores.