

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO DE DOS RESIDUOS ORGÁNICOS EN LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE AGUA DEL RÍO CAPLINA DE TACNA

EVALUATION OF THE EFFECT OF ACTIVATED CARBON OBTAINED FROM TWO ORGANIC WASTES ON THE PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF WATER FROM THE CAPLINA RIVER IN TACNA

Autores: ¹Gina Milagros Arocutipá Phatti.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8567-7851>

¹E-mail de contacto: gmarocutipap@unjbg.edu.pe

Afiliación: ¹*Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Artículo recibido: 15 Julio del 2025

Artículo revisado: 25 Agosto del 2025

Artículo aprobado: 30 Septiembre del 2025

¹Estudiante de la carrera profesional de Ingeniera Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman, (Perú).

Resumen

El presente estudio tuvo como finalidad evaluar la eficiencia del carbón activado elaborado a partir de cáscaras de coco y naranja en la mejora de los parámetros físicoquímicos del agua del río Caplina, ubicado en la ciudad de Tacna, Perú.. En ese contexto, se propuso el uso de residuos orgánicos de cascara de coco y naranja abundantes en la localidad como materia prima para la obtención de carbón activado, alineando el trabajo con los principios de economía circular y aprovechamiento de recursos locales. La metodología consistió en la recolección de cáscaras de coco y naranja en mercados locales, las cuales fueron sometidas a procesos de activación química con ácido fosfórico. Posteriormente, se diseñó un experimento con dos tratamientos (carbón de coco y de naranja), tres dosis (5 g, 10 g y 15 g) y tres repeticiones por tratamiento. Las muestras de agua del río Caplina fueron tratadas con los respectivos filtros, y se midieron los parámetros de pH, turbidez y conductividad eléctrica. El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA y la prueba de Tukey, con un nivel de significancia del 5 %. Los resultados evidenciaron que el carbón activado de coco tuvo un mayor efecto positivo sobre los parámetros evaluados, destacando en la reducción de turbidez (hasta 95 %) y mejora del pH. Por su parte, el carbón de naranja también mostró capacidad adsorbente, aunque en menor medida. Podemos concluir que los residuos orgánicos como la cascara de coco y

naranja pueden transformarse en filtros eficientes para el tratamiento de agua, brindando una alternativa viable para comunidades con acceso limitado a tecnologías convencionales.

Palabras clave: Carbón activado, Coco y naranja, Muestra de agua, Turbidez, pH, Conductividad eléctrica.

Abstract

This study aimed to evaluate the efficiency of activated carbon produced from coconut and orange peels in improving the physicochemical parameters of water from the Caplina River, located in Tacna, Peru. In this context, the use of abundant local organic waste as raw material for producing activated carbon was proposed, aligning with the principles of circular economy and resource optimization. The methodology involved collecting coconut and orange peels from local markets, which were subjected to chemical activation using phosphoric acid. An experiment was designed with two treatments (coconut and orange carbon), three doses (5 g, 10 g, and 15 g), and three replications per treatment. Water samples from the Caplina River were treated with the respective filters, and pH, turbidity, and electrical conductivity were measured. Data analysis was performed using ANOVA and Tukey's test at a 5% significance level. The results showed that coconut-based activated carbon had a greater positive effect on the evaluated parameters, particularly in turbidity reduction (up to 97%) and pH improvement. Orange peel carbon also

exhibited adsorptive capacity, albeit to a lesser extent. These findings confirm that local organic waste can be transformed into efficient filters for water treatment, providing a viable alternative for communities with limited access to conventional technologies.

Keywords: Activated carbon, Coconut and orange, Water sample, Turbidity, pH, Electrical conductivity.

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia do carvão ativado produzido a partir de cascas de coco e laranja na melhoria dos parâmetros físico-químicos da água do Rio Caplina, localizado na cidade de Tacna, Peru. Nesse contexto, propôs-se a utilização de resíduos orgânicos abundantes localmente, provenientes de cascas de coco e laranja, como matéria-prima para a produção de carvão ativado, alinhando o trabalho aos princípios da economia circular e do uso de recursos locais. A metodologia consistiu na coleta de cascas de coco e laranja em mercados locais, que foram submetidas a processos de ativação química com ácido fosfórico. Posteriormente, foi delineado um experimento com dois tratamentos (carvão de coco e laranja), três doses (5 g, 10 g e 15 g) e três repetições por tratamento. Amostras de água do Rio Caplina foram tratadas com os respectivos filtros, e os parâmetros de pH, turbidez e condutividade elétrica foram medidos. A análise estatística foi realizada por meio de ANOVA e teste de Tukey, com nível de significância de 5%. Os resultados mostraram que o carvão ativado de coco apresentou maior efeito positivo nos parâmetros avaliados, principalmente na redução da turbidez (até 95%) e na melhoria do pH. Já o carvão ativado de laranja também demonstrou capacidade adsorvente, embora em menor grau. Podemos concluir que resíduos orgânicos, como coco e casca de laranja, podem ser transformados em filtros eficientes para o tratamento de água, constituindo uma alternativa viável para comunidades com acesso limitado a tecnologias convencionais.

Palavras-chave: Carvão ativado, Coco e laranja, Amostra de água, Turbidez, pH, Condutividade elétrica.

Introducción

La escasez de agua de calidad y su creciente contaminación representan uno de los desafíos ambientales y de salud pública más urgentes del siglo XXI. En muchas regiones, especialmente en países en desarrollo, los cuerpos hídricos están expuestos a descargas domésticas, agrícolas e industriales sin tratamiento previo, lo cual deteriora significativamente su calidad físico-química (Arcila y Jaramillo, 2022). La ciudad de Tacna no es ajena a esta realidad: el río Caplina, fuente superficial que atraviesa la urbe, presenta niveles elevados de turbidez, sólidos disueltos y presencia de metales, los cuales comprometen su uso para riego, consumo animal e incluso su potencial para potabilización (EPS, 2024). Frente a esta problemática, el desarrollo de tecnologías de bajo costo y alto impacto se vuelve fundamental. Entre ellas, el uso de carbón activado como material filtrante ha sido ampliamente estudiado debido a su elevada capacidad adsorbente, su baja selectividad y su capacidad para remover contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos (Smith et al., 2020; Rodríguez, 2022). Esta capacidad se atribuye a su estructura porosa altamente desarrollada, la cual puede ser optimizada dependiendo del precursor y método de activación empleados (Gabriel, 2023).

Si bien el carbón activado comercial es ampliamente utilizado, su costo limita su acceso en comunidades rurales o de bajos recursos. Por ello, la producción de carbón activado a partir de residuos orgánicos, como cáscaras de frutas o biomasa vegetal, ha emergido como una solución viable, sostenible y alineada con los principios de economía circular. Estudios recientes han demostrado que residuos como la cáscara de naranja, coco, piña o bambú pueden convertirse en eficaces filtros naturales mediante procesos de activación térmica o

química (Peña et al., 2019; Fanny et al., 2021; Vejarano y Casas, 2021). En el caso específico de Tacna, la gran disponibilidad de cáscaras de frutas provenientes de mercados locales (como el Mercado Grau) representa una oportunidad valiosa para su transformación en carbón activado. Esta alternativa no solo mitiga la contaminación hídrica, sino que también contribuye a la reducción de residuos orgánicos y a la generación de productos de valor agregado con impacto social, económico y ambiental (Mirella, 2019). Esta investigación tiene como objetivo evaluar el efecto del carbón activado elaborado a partir de cáscaras de naranja y coco sobre los parámetros fisicoquímicos del agua del río Caplina. Para ello, se comparará su eficacia en la remoción de turbidez, regulación del pH y reducción de la conductividad eléctrica. Con este trabajo se espera no solo aportar evidencia científica local sobre el desempeño de estos materiales, sino también fortalecer el enfoque de sostenibilidad mediante el aprovechamiento de residuos como insumo estratégico para el tratamiento de agua.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en dos espacios: el laboratorio de aguas de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG) y un entorno doméstico en la ciudad de Tacna. El tipo de investigación fue experimental de carácter comparativo, con un diseño completamente aleatorizado, utilizando dos tipos de carbón activado elaborados a partir de residuos orgánicos: cáscara de naranja y cáscara de coco. Se emplearon dos tratamientos (T1: carbón activado de coco, T2: carbón activado de naranja) con tres repeticiones por cada tratamiento, aplicando tres dosis (5 g, 10 g y 15 g), lo que dio un total de 18 muestras experimentales. Las cáscaras fueron recolectadas de carretas de jugos en el mercado

Grau, mientras que las muestras de agua se obtuvieron del río Caplina, específicamente en el sector de la Alameda de Tacna. El carbón activado fue preparado mediante activación química utilizando ácido fosfórico como agente activante. Las cáscaras fueron lavadas, secadas, trituradas y sometidas a carbonización en horno a 500°C por dos horas, posteriormente activadas con ácido fosfórico al 36%, y calcinadas nuevamente en una mufla. Los materiales utilizados incluyeron papel filtro, vasos, mortero, olla, cocina doméstica, crisol, balanza analítica, horno, mufla, y equipos multiparámetros (pH-metro, medidor de conductividad, turbidímetro). Para la evaluación de la eficiencia de los filtros, se midieron parámetros fisicoquímicos del agua antes y después del tratamiento: pH, turbidez, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales (TDS), usando instrumentos multiparámetros. El análisis estadístico fue realizado mediante el software Statgraphics Centurion, aplicando ANOVA de un factor y la prueba post-hoc de Tukey con un nivel de confianza del 95%, con el fin de establecer diferencias significativas entre tratamientos.

Resultados y Discusión

En el presente estudio se evaluó la eficiencia del carbón activado elaborado a partir de cáscara de coco y cáscara de naranja para el tratamiento del agua del río Caplina. llevaron a cabo una serie de experimentos a escala de laboratorio y en entorno doméstico, con el objetivo de analizar la remoción de turbidez, la variación del pH y la conductividad eléctrica. El carbón activado fue preparado mediante activación química con ácido fosfórico y posterior calcinación en horno tipo mufla. El experimento incluyó dos tratamientos (coco y naranja), tres dosis (5, 10 y 15 gramos) y tres repeticiones por dosis, empleando un diseño completamente aleatorizado. Se recolectaron muestras de agua

del río Caplina y se midieron los parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento, utilizando instrumentos como pH-metro, medidor de conductividad y turbidímetro.

El análisis estadístico fue realizado mediante ANOVA y prueba de Tukey, con un nivel de significancia del 95%, a fin de identificar diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 1. Se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos de la muestra inicial del agua de río Caplina, obtenido en el laboratorio

Muestra	pH	C.E.	Turbidez
Agua de río Caplina	5.2	1487 μ S/cm	65.95

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 2 se presentan bajo un experimento de Dos tratamientos de carbón activado de coco y de naranja donde indica su dosis añadida antes del filtrado el agua del río caplina donde indico

la cantidad de repeticiones para garantizar los resultados de los datos, analizando la efectividad de los carbones en la reducción de turbidez, pH y conductividad eléctrica.

Tabla 2. Numero de repeticiones y dosis añadida en cada tratamiento

R	Tratamiento	
	Coco (g)	Naranja(g)
1	5	5
2	10	10
3	15	15

Fuente: elaboración propia

La Tabla 3 ANOVA muestra los resultados del análisis estadístico aplicado al pH del agua del río Caplina tras el tratamiento con diferentes dosis de carbón activado de cáscara de coco. El valor de Razón-F obtenido fue 113.25, y el valor-p asociado fue 0. 0000. Este valor-p es significativamente menor que el nivel crítico de 0.05, lo que indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias

del pH para al menos uno de los niveles de tratamiento con carbón de coco. En otras palabras, el tratamiento con distintas concentraciones de carbón activado de coco afecta significativamente el pH del agua tratada. Esto sugiere que la aplicación de carbón activado de coco influye directamente en la modificación del pH del agua del río Caplina.

Tabla 3. ANOVA para el pH del carbón de coco

Fuente	suma de cuadradas	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	481.333	3	160.444	113.25	0
Intra grupos	0.113333	8	0.0141667		
Total (Corr.)	492.667	11			

Fuente: elaboración propia

En la Figura 1 muestra el gráfico con las medias del pH del agua del río Caplina tras el tratamiento con cuatro concentraciones de carbón activado de cáscara de coco (0, 5, 10 y 15 g/L), junto con los intervalos de confianza al

95% según el test de Tukey HSD. Se observa un aumento progresivo y significativo del pH a medida que se incrementa la dosis de carbón activado. Las barras de error no se superponen entre tratamientos, lo que indica que las

diferencias entre los niveles son estadísticamente significativas. Esto confirma que el carbón de coco tiene un efecto directo y positivo en la elevación del pH del agua tratada, siendo más evidente con dosis mayores.

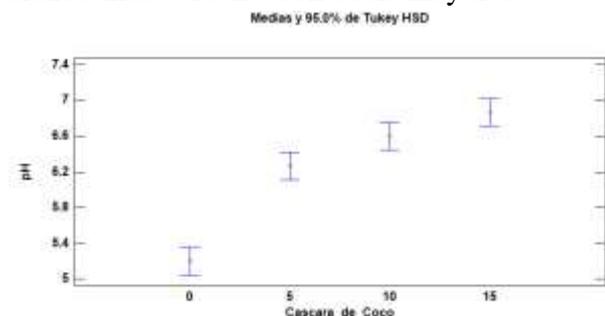


Figura 1. Gráfico de interacción de cantidades de carbón activado

Tabla 4. ANOVA para la conductividad eléctrica del carbón de coco

Fuente	Suma de cuadros	Gl	Cuadrado Medio	Razon-F	Valor -p
Entre grupos	1,93E+10	3	644899	58186.35	0.0000
Intra grupos	886.667	8	110.833		
Total (corr.)	1.93E+06	11			

Fuente: elaboración propia

En el Figura 2 evidenció diferencias significativas ($p < 0.05$) en la conductividad eléctrica del agua filtrada con diferentes dosis de carbón activado de cáscara de coco. La prueba post hoc de Tukey al 95% mostró que cada incremento en la cantidad del material filtrante generó una reducción estadísticamente significativa en la conductividad. El tratamiento con 15 g presentó la menor conductividad (~450 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo que demuestra su mayor eficacia en la remoción de sólidos disueltos.

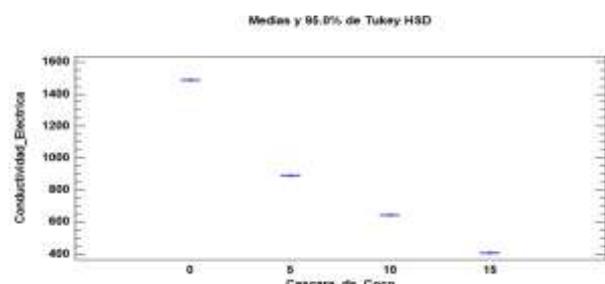


Figura 2. Pruebas de múltiples rangos de Tukey ($p < 0,05$) para conductividad eléctrica por dosis para el carbón activado de coco

En La tabla 4 ANOVA muestra los resultados del análisis de varianza para la conductividad eléctrica del agua del río Caplina tratada con diferentes concentraciones de carbón activado de cáscara de coco. La razón-F obtenida fue 58186.35, con un valor-p de 0.0000. Dado que el valor-p es significativamente menor que 0.05, se concluye que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de conductividad eléctrica correspondientes a las distintas dosis aplicadas de carbón activado. Esto indica que la cantidad de carbón de coco utilizada influye de manera significativa sobre la conductividad eléctrica del agua tratada.

En la Tabla 5 el análisis de varianza (ANOVA) evidenció un efecto altamente significativo de las dosis de cáscara de coco activada sobre la turbidez del agua filtrada ($F = 125961.77$, $p < 0.0001$). Esto indica que las distintas concentraciones aplicadas generan diferencias reales en la reducción de turbidez, siendo necesarias pruebas post hoc para identificar cuáles tratamientos difieren entre dosis del carbón de coco.

Tabla 5. ANOVA de la turbidez del carbón de Coco

Fuente	Suma de cuadros	Gl	Cuadrado Medio	Razon-F	Valor -p
Entre grupos	7872.61	3	2424.2	125961.77	0.0000
Intra grupos	0.166667	8	0.0208333		
Total (corr.)	7872.78	11			

Fuente: elaboración propia

En La Figura 3 muestra el efecto de diferentes dosis de cáscara de coco sobre la turbidez del

agua. Se observa una disminución progresiva de la turbidez conforme se incrementa la dosis de material filtrante. El tratamiento sin carbón (0 g) presentó el valor más alto (~68 NTU), mientras que la dosis de 15 g redujo la turbidez hasta ~2 NTU. Estos resultados coinciden con el ANOVA, que confirmó diferencias altamente significativas ($F = 125961.77$; $p < 0.0000$), indicando que el carbón activado de cáscara de coco mejora notablemente la calidad del agua en cuanto a turbidez.

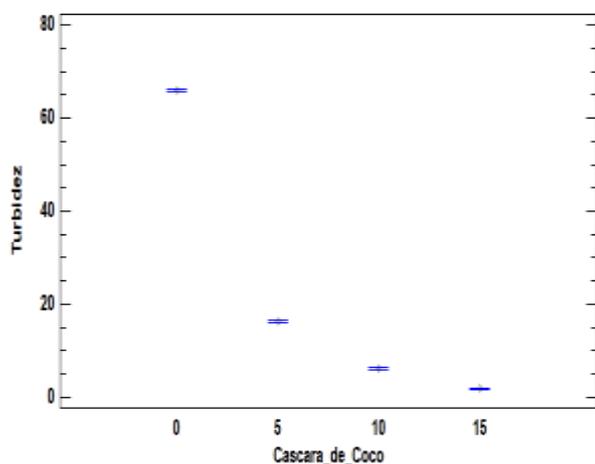


Figura 1: Gráfico de interacción de cantidades de carbón activado

Análisis de la Conductividad Electrica en el Anova según los datos obtenidos en el laboratorio después del filtrado del carbón de Naranja

En la tabla 6 muestra un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor. El eje vertical incluye las fuentes de variación ("Entre grupos", "Intra", "Total"), la suma de cuadrados (109280 para entre grupos, 463.333 para intra, 109310 total), grados de libertad (3 para entre grupos, 8 para intra, 11 total), cuadrado medio (36428.2 para entre grupos, 57.9167 para intra), razón-F (6289.76), valor-P (0.0000) y CV (20%). Los intervalos de confianza reflejan la variabilidad, con "Entre grupos" dominando la suma de cuadrados, sugiriendo diferencias marcadas entre los niveles evaluados.

Tabla 6. ANOVA de un solo factor

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Razón n-F	Valor-P
Entre grupos	109280	3	36428.2	6289.76	0.0000
Intra grupos	463.333	8	57.9167		
Total (Corr.)	109310	11			

Fuente: elaboración propia

En La Figura 4 muestra el efecto de diferentes dosis de cáscara de coco sobre la turbidez del agua. Se observa una disminución progresiva de la turbidez conforme se incrementa la dosis de material filtrante. El tratamiento sin carbón (0 g) presentó el valor más alto mientras que la dosis de 15 g redujo la turbidez hasta ~2. Estos resultados coinciden con el ANOVA, que confirmó diferencias altamente significativas ($F = 6289.76$; $p < 0.0000$), indicando que el carbón activado de cáscara de coco mejora notablemente la calidad del agua en cuanto a turbidez.

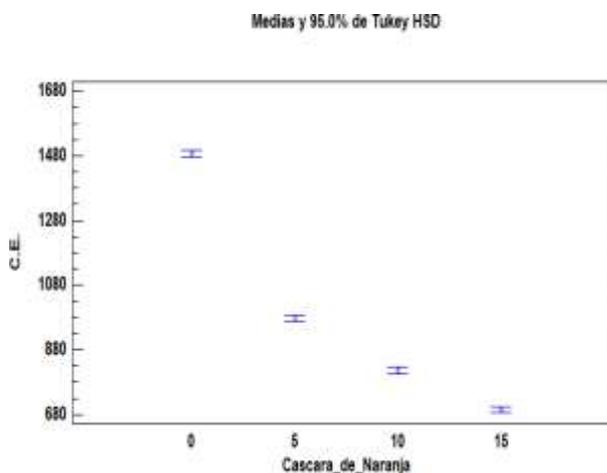


Figura 4. Pruebas de múltiples rangos de Tukey ($p < 0,05$) para la conductividad eléctrica por dosis para el carbón activado

Análisis del pH en el Anova según los datos obtenidos en el laboratorio después del filtrado del carbón de Naranja

En la tabla 7, el carbón activado de cáscara de naranja muestra un efecto significativo dependiendo del pH. Te sugiero analizar qué nivel de pH optimiza el rendimiento (puedes usar un análisis post-hoc si tienes los datos de

los niveles específicos). Si tienes más detalles o deseas un gráfico, indícalos.

Tabla 7. ANOVA de la pH del carbón de coco

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.5225	3	0.840833	40.36	0.0000
Intra grupos	0.166667	8	0.0208333		
Total (Corr.)	2.68917	11			
CV = 8.54%					

Fuente: elaboración propia

En la figura 5 gráfico muestra las medias y los intervalos de confianza al 95% (Tukey HSD) para el pH en función de diferentes cantidades de carbón activado de coco (0, 5, 10, 15). El eje vertical representa el pH, que varía de 5.0 a 6.5, mientras que el eje horizontal indica las cantidades de carbón. Las medias aproximadas son 5.3 a 0, 5.6 a 5, 5.9 a 10 y 6.2 a 15, con intervalos de confianza que reflejan la variabilidad. Los intervalos que no se superponen, como entre 0 y 10-15, sugieren diferencias potenciales, mientras que la superposición entre 5, 10 y 15 indica posible similitud.

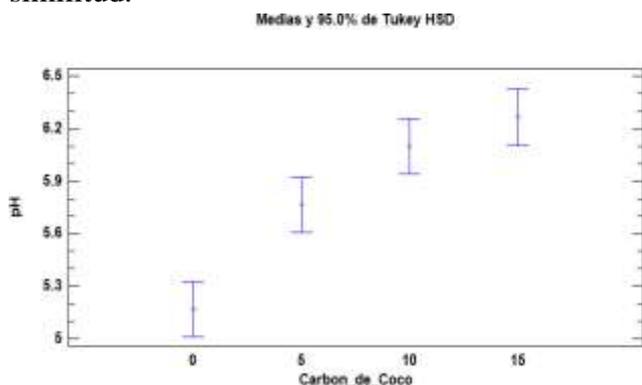


Figura 5. Pruebas de múltiples rangos de Tukey para el pH por dosis para el carbón activado

Conclusiones

Elaboración de filtros de carbón activado: Se logró desarrollar filtros a partir de cáscara de naranja y coco mediante activación química con ácido fosfórico, obteniendo materiales con capacidad adsorbente efectiva, lo cual

demuestra la viabilidad del aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de carbón activado. Eficiencia del carbón activado: Ambos tipos de carbón activado influyeron significativamente en la mejora de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Caplina. En particular, el carbón de coco mostró mayor efectividad en la reducción de turbidez (hasta ~2 NTU), elevación controlada del pH (de 4.6 a valores cercanos a 6.2), y disminución de la conductividad eléctrica (hasta ~450 μ S/cm), con diferencias estadísticamente significativas entre las dosis evaluadas ($p < 0.05$). Comparación entre carbones: El análisis estadístico evidenció que el carbón de coco tuvo un desempeño superior respecto al de naranja en los tres parámetros evaluados, lo que sugiere que su estructura porosa y superficie específica son más adecuadas para la remoción de contaminantes presentes en el agua del río Caplina.

Referencias Bibliográficas

- Briones, L. (2023). *El carbón activado como adsorbente universal*. En *Sólidos porosos: preparación, caracterización y aplicaciones*. Bogotá: Ediciones Uniandes.
- Burbano, J. L. (2015). *Análisis de la reutilización de las aguas grises en edificaciones domiciliarias* [Tesis de grado, Universidad de Especialidades Espíritu Santo]. Repositorio UEES. <http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/420/1/analisis-de-la-reutilizacion-de-aguas-grises-en-edificaciones-domiciliarias.pdf>
- Carboshell, A. (2023). *El carbón activado en las plantas de tu hogar*. Carbonactivadogdl.com. <https://www.carbonactivadogdl.com/como-se-puede-utilizar-el-carbon-activado-en-las-plantas-de-tu-hogar>

- Cecilia, B., & Marlon, M. (2020). *Evaluación del tiempo de carbonización y concentración del ácido fosfórico en la preparación de carbón activado a partir de la cáscara de naranja Valencia a nivel laboratorio* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. UNCP.
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/5467>
- Gabriel, P. (2022). *Remoción de contaminantes en aguas residuales industriales empleando carbón activado de pino pátula* [Tesis de grado, Universidad Libre]. Unilibre.
- López, J. (2023). *Remoción de turbidez del río Utcubamba mediante carbón activado* [Tesis de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. UNTRG.
- Mirella, Y. (2019). *Mejoramiento de la calidad del agua de río Chillón utilizando carbón activado y nanopartículas de plata* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. UCV.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/61293>
- Peña, A., et al. (2019). *Preparación de carbón activado a partir de cáscara de naranja* [Tesis de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. UNMSM.
- Smith, R., et al. (2020). El carbón activado en procesos de descontaminación. *Journal of Environmental Chemistry*, 15(3), 45–62.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Gina Milagros Arocutipa Phatti

