

# Capacidad de adsorción de desechos agroindustriales para remover contaminantes de aguas residuales

## Adsorption capacity of agroindustrial waste to remove contaminants from wastewater

Cesar Augusto Paccha Rufasto<sup>1,a</sup>, Pablo Roberto Paccha Huamani<sup>1,b</sup>

Recibido: 01/01/2023 - Aprobado: 27/03/2023 – Publicado: 02/06/2023

### RESUMEN

La reutilización de residuos como parte de la economía circular será una tendencia importante en los próximos años. Los residuos agroindustriales se encuentran entre los insumos de biomasa de más bajo costo, en la actualidad son los más aplicados para la eliminación de contaminantes en aguas residuales. El objetivo de este trabajo es analizar comparativamente y describir la capacidad de adsorción que tienen las cáscaras provenientes de desechos agroindustriales para remover contaminantes en las aguas residuales, para lo cual se emplearon técnicas de preparación como biosorbente no modificado, biosorbente premodificado, biosorbente modificado químicamente y biosorbente modificado físicamente. En los resultados se observó que la cáscara de naranja, coco, arroz y castaña tienen una elevada capacidad de adsorción de los carbonos obtenidos a través de residuos agroindustriales para la adsorción de metales pesados, tintes, pesticidas y otros contaminantes. Los contaminantes adsorbidos mediante estos carbonos son metales y tintes. En conclusión, podemos inferir que los residuos agroindustriales tienen un alto potencial de reutilización, para la adsorción de contaminantes.

**Palabras claves:** Residuos agroindustriales, biosorbente no modificado, biosorbente premodificado, biosorbente modificado químicamente, biosorbente modificado físicamente, metales pesados, adsorción.

### ABSTRACT

Agroindustrial residues are among the lowest cost biomass inputs, these are currently the most applied for the elimination of pollutants in wastewater. This article makes a compilation of the latest experimental findings presented with different organic materials. In this study, the adsorbents were classified based on their preparation technique as: unmodified biosorbent, premodified biosorbent, chemically modified biosorbent, and physically modified biosorbent. It was observed that orange peel, coconut, rice and chestnut are the species with the best results in the adsorption studies. The contaminants adsorbed by these carbons have been more on metals and dyes. Said review showed the good adsorption capacities of the carbons obtained through agro-industrial residues for the adsorption of heavy metals, dyes, pesticides and other contaminants. It was also observed that agro-industrial residues have a high potential for reuse, which underlines their usefulness for industrial application.

**Keywords:** Agroindustrial residues, unmodified biosorbent, premodified biosorbent, chemically modified biosorbent, physically modified biosorbent, heavy metals, adsorption.

1 Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

a Autor para correspondencia: [cpaccha@uni.edu.pe](mailto:cpaccha@uni.edu.pe) – ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2085-3046>

b E-mail: [ppaccha@uni.edu.pe](mailto:ppaccha@uni.edu.pe) – ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3770-5818>

## I. INTRODUCCIÓN

Los residuos agroindustriales en la actualidad son un problema a nivel mundial, porque muchos no son debidamente recolectados, procesados o dispuestos de manera adecuada, razón por la cual contribuyen al incremento de la contaminación ambiental. Tienen un alto potencial para ser aprovechados en diferentes procesos para la elaboración de nuevos productos como carbón activado y para la recuperación de condiciones ambientales alteradas. (Vargas Corredor & Pérez Pérez, 2018).

Huamán-Boza, (2022). En la investigación titulada “Adsorción de plomo y zinc a partir de soluciones acuosas mediante el uso de arcilla natural”, se demuestra el uso de arcilla natural para la adsorción de metales como plomo y zinc. Desde el material que se obtiene en la naturaleza como la arcilla y residuos orgánicos se pueden emplear para la adsorción de contaminantes. (Villa-Sánchez, 2022; Del Cid López, 2023).

Tanto las aguas residuales domésticas como las municipales contienen altas cargas de bacterias, que generalmente provienen de las heces. Cuando ocurre una infección las bacterias, virus, protozoos y helmintos se propagan hacia el medio ambiente por medio de las heces. La eliminación de estos patógenos es el objetivo primordial de los sistemas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), que permiten la reducción de la enfermedad. Pequeñas cantidades de algunos compuestos orgánicos pueden contaminar grandes volúmenes de agua. (Bokoba, I; Ryder, 2017).

Actualmente, el 25% de los ríos en América Latina están muy contaminados con agentes patógenos, que están vinculados con aguas residuales no tratadas. (Menéndez Vera et al., 2022). El agua es un recurso muy importante y esencial para la vida humana, así como para la actividad agroexportadora, razón por la cual se debe tener una gestión ambiental adecuada. (Torres Guerra & Reátegui Lozano, 2022).

Existe información reciente que explica la capacidad de adsorción que tienen las cáscaras provenientes de desechos agroindustriales, permiten remover contaminantes en las aguas residuales, a través de distintos tratamientos. Este biocarbón debe recibir previamente tratamiento para que se obtenga una mayor capacidad de adsorción de los distintos contaminantes que se encuentran en las aguas residuales. Los metales pesados que se consideran entre los contaminantes ambientales más tóxicos de las últimas décadas son: aluminio (Al), cromo (Cr), cromo hexavalente (Cr+6), manganeso (Mn), hierro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc (Zn) y plomo (Pb) (Dunán Avila et al., 2021).

Los adsorbentes no convencionales, por lo general son producidos de materiales orgánicos como los residuos agroindustriales, que provienen de la industria alimenticia y también de especies vegetales. Existen hoy en día diferentes estudios que demuestran que el empleo de productos orgánicos como adsorbentes reduce la carga orgánica de efluentes contaminados con metales, colorantes, pesticidas, así como también de otros

compuestos orgánicos denominados emergentes. La idea es poder estudiar más estos adsorbentes no convencionales como alternativas ecosostenibles para las comunidades que muchas veces carecen de los recursos para poder tratar de manera adecuada sus aguas residuales, estas alternativas pueden ser más viables para ellos. (Valladares et al., 2017).

Los desechos agroindustriales generan residuos sólidos y se ha demostrado, a través de distintos trabajos de investigación, que pueden ser usados como alternativas sostenibles para remover distintos contaminantes provenientes de las aguas residuales domésticas e industriales, orientado para comunidades que no cuentan con muchos recursos para comprar insumos químicos o pagar tratamientos costosos, esto sería una alternativa sostenible.

El presente trabajo de sistematización busca recolectar información reciente para describir la capacidad de adsorción que tienen las cáscaras provenientes de desechos agroindustriales para remover contaminantes en las aguas residuales, enfocado a distintos tratamientos.

## II. MÉTODO

### 2.1 Diseño del estudio

Es un trabajo de sistematización, una investigación de tipo exploratorio, descriptivo, bajo el enfoque cualitativo. Se seleccionaron más de 40 artículos de investigación y tesis de posgrado, sobre el empleo de residuos orgánicos industriales para la adsorción de contaminantes con especial atención en metales pesados. Los resultados se procesaron con el método PRIMA. Se realizó la comprobación de requisitos y criterios de validación de hipótesis de investigación en forma de metaanálisis. Asimismo, se utilizó para la valoración y evaluación de la consistencia, criterios definidos por la bibliografía revisada para la preparación del carbón activado. Por lo general los adsorbentes no convencionales provienen de desechos de la industria alimentaria y agrícola, como pueden ser los residuos de fruta, los desechos de vegetales y plantas. (Valladares et al., 2017). Se explica el método y técnica particular para analizar la capacidad de adsorción de cada tipo de residuo.

### 2.2 Instrumentos empleados

Se utilizaron las fichas técnicas para la caracterización de la capacidad de adsorción de cada subproducto empleable. Se inicia mediante el biocarbón que se obtiene por la descomposición física o térmica de materiales orgánicos agrícolas y muchas veces con escaso suministro de oxígeno (pirólisis), a temperaturas bajas (inferior a los 700 °C). Se tienen hoy en día varios estudios relacionados a la generación de biocarbón a partir de activación física, química o fisicoquímica, provenientes de residuos orgánicos tales como plantas, semillas, hojas, tallos, cáscaras, la pulpa de frutas y hortalizas, que han dado buen resultado como adsorbentes de distintos contaminantes como metales pesados. Los materiales agroindustriales analizados han sido las cáscaras de naranja, piña, plátano, papa, coco, café, arroz y castaña. La preparación de adsorbentes a partir de materia orgánica extraída de desecho agroindustrial puede darse mediante los siguientes métodos de activación.

## 2.3 Procedimiento y recolección de datos

### 2.3.1 Métodos de activación del carbón a base de desecho agroindustrial

La finalidad de una activación del biocarbón es la de optimizar el volumen de sus poros, extender el tamaño de los poros e incrementar la porosidad obtenida en la carbonización. (Mohamed et al, 2010). En este proceso, grupos funcionales oxigenados se adhieren a la composición del carbón, con lo cual se genera un carbón "activado" para ciertas aplicaciones (Nieto Delgado, 2010). Por lo general la activación del carbón se puede dar por tres métodos: la activación física, la activación química y la activación fisicoquímica (esta última una combinación de las activaciones física y química) (Ioannidou et al, 2009).

#### 2.3.1.1 Activación física

En la activación física la porosidad de los carbones es el resultado de la carbonización a temperaturas altas. En esta etapa se eliminan el hidrógeno (H) y el oxígeno (O<sub>2</sub>) del carbón para obtener mayor porosidad. Durante este periodo el carbón se expone a una atmósfera oxidante que puede ser vapor de agua, dióxido de carbono, o una mezcla de ambos; en este proceso se eliminan los productos volátiles y átomos de carbono y se obtiene un aumento del volumen de poros y del área específica del carbón. El carbón obtenido es llamado carbón primario (que se utiliza para las parrillas).

Este tipo de activación se da en dos etapas. La primera es la carbonización de un material orgánico en una temperatura promedio de 400-850 °C y puede llegar a alcanzar los 1000 °C. En la segunda etapa la activación del material se obtiene a temperaturas entre 600°C y 900 °C, tiene gases tales como CO<sub>2</sub>, vapor, aire o mezcla de gases (Ioannidou et al. 2009). Cáscaras de pistache (Lua y Yang 2004). Cáscara de naranja (Peña et al 2012). Cáscara de maní (Jiménez et al. 2019). Semilla de durazno (Reyna & Chuquilin 2006). Cáscara de coco (Cachola 2022). Cáscara de palma de aceite (Gómez et al 2004). Tallos de maíz (Wang et al 2014). Estas son algunas de las materias primas que dieron buenos resultados con este método.

Por lo general para lograr la activación física se requiere una temperatura promedio de 450 y 800 °C y temperaturas promedio de activación de 800 y 900 °C, con tiempos en intervalos de 1 y 2 horas. De este modo se obtienen carbones activados de estructuras porosas de buena definición y con superficies mayores a los 1000 m<sub>2</sub>/g. De acuerdo a los estudios revisados podemos señalar que el gas más usado en este método es el CO<sub>2</sub>, porque es más limpio y es más fácil de emplear. (Ioannidou et al, 2009).

#### 2.3.1.2 Activación química

La activación química logra una mayor porosidad en los carbones, esto es generada por reacciones de deshidratación química, por medio de temperaturas más bajas. En dicha activación el material carbonoso se impregna mediante un agente químico, principalmente ácido fosfórico (o cloruro de zinc o hidróxido de sodio). Este material impregnado se calienta en un horno a una temperatura promedio de 500 a 700 °C. Los activadores químicos utilizados reducen la formación de materia volátil y alquitranes. Luego se hace

un lavado al carbón resultante para eliminar los restos del agente químico usado.

La activación química es un método muy utilizado que combina la carbonización y la activación en un solo paso. En este proceso el precursor se mezcla con agentes de activación, que actúan como deshidratantes y también como oxidantes al mismo tiempo, esto hace que se desarrollen mejores estructuras porosas en los carbones activados, de este modo se logra mejorar la capacidad de adsorción del biocarbón. Los agentes químicos más utilizados en este método de activación son: ZnCl<sub>2</sub>, KOH, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Ioannidou et al 2009).

Es necesario precisar, que al añadir ácido sulfúrico durante el proceso de activación se puede interrumpir la generación de alquitranes, inducir a la formación de grupos funcionales con oxígeno en su estructura y formar complejos estables de C-O. Asimismo, puede bajar el rendimiento, porque el vapor puede incrementar el carbón quemado y generar una pérdida (Foo, K.; Hameed, 2012).

#### 2.3.2 Técnicas de preparación del carbón

Hemos clasificado en cuatro grupos la preparación de los adsorbentes:

- i. Biosorbente no modificado (BNM)
- ii. Biosorbente premodificado (BPM)
- iii. Biosorbente modificado químicamente (BMQ)
- iv. Biosorbente modificado físicamente (BMF)

Cuando no se utiliza reactivo en la etapa de lavado inicial, el producto final es un biosorbente no modificado. Cuando se aplica algún tipo de tratamiento químico en la etapa de lavado, se trata de biosorbente premodificado.

Tanto para el biosorbente no modificado como para el premodificado, se lleva a cabo un paso de activación química adicional, el resultado es un biosorbente modificado químicamente. Si la técnica del tratamiento de modificación es física (cocer al vapor o hervir), entonces el producto puede denominarse biosorbente modificado físicamente (Ighalo & Adeniyi, 2020).

## III. RESULTADOS

Luego de una exhaustiva revisión bibliográfica, se realiza la sistematización valorando sólo tres trabajos de investigación por cada tipo de insumo empleado como adsorbente de contaminantes. Para determinar el número de trabajos considerados, se aplica el criterio de simetría y suficiencia.

Para describir la capacidad de adsorción que tienen las cáscaras, provenientes de desechos agroindustriales y para remover contaminantes en las aguas residuales, se elabora un cuadro completo descrito en la Tabla 1.

La descripción de la capacidad de adsorción de dichos residuos también nos permite inferir y determinar el residuo más eficiente en la remoción de contaminantes. Tales como:

- Dosis de carbón utilizado
- Activación del carbón
- Tiempo de aplicación
- Porcentaje de adsorción
- Método utilizado en la preparación de carbón

### Comparativo de resultados

Para comparar los resultados el criterio de selección aplicado es el principio de simetría. Se han seleccionado como base tres rigurosos artículos de investigación científica, que proponen diversas alternativas de remoción de elementos tóxicos de aguas residuales como tinte azul de metileno (AM), nitratos ( $\text{NO}^{-3}$ ), nitritos ( $\text{NO}^{-2}$ ), cromo hexavalente (Cr (VI)), cobre (Cu (II)), plomo (Pb (II)), zinc (Zn (II)) cadmio (Cd II), arsénico pentavalente (As (V)), amonio ( $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ ), norfloxacin (C<sub>16</sub>H<sub>18</sub>FN<sub>3</sub>O<sub>3</sub>) y oxitetraciclina (C<sub>22</sub>H<sub>24</sub>N<sub>2</sub>O<sub>9</sub>). Este proceso nos servirá para analizar la capacidad de adsorción (mg/g) de cada uno de los materiales agroindustriales analizados en base a las técnicas de preparación del carbón de los elementos contaminantes como metales pesados, que existen en las aguas residuales y que muchas veces son difíciles y costosos de remover por tratamientos convencionales, para dicho análisis se elaboró la Tabla 1.

#### 3.1.1 Cáscara de naranja

Se investigó la adsorción de cobre por piel de naranja, que fue modificada químicamente con hidróxido de sodio. Se realizaron experimentos en columna para estudiar la aplicabilidad práctica y se obtuvieron curvas de ruptura. Respecto al Cu (II) se obtuvo una capacidad máxima de adsorción de 50,25 mg/g y un valor de pH ácido de 5,3. Los resultados muestran una modificación química adicional del adsorbente por NaOH y una mayor capacidad de adsorción. (Feng, N., Guo, X., Liang, 2010).

Hoy en día la contaminación por metales pesados en fuentes de agua, es un problema por resolver para muchas comunidades, cada vez existe mayor concentración. Por lo general se utilizan tecnologías como la precipitación química, la oxidación, el intercambio iónico, entre otras; que son costosas y muchas no son muy eficientes si se desea remover contaminantes, especialmente de bajas concentraciones. Para la remoción de plomo Pb (II) en aguas residuales industriales, se empleó residuo de cáscara de naranja, a un pH de 6,0, con valores de remoción 99,2%. Se obtuvo una capacidad de adsorción alta mediante el Biosorbente no modificado. (Tejada et al., 2016).

Cuando el biosorbente de naranja se modifica químicamente se obtiene buena capacidad de adsorción del Pb (II), en comparación con otros metales pesados, con los cuales la adsorción es menor. La piel de naranja tiene una buena propiedad de adsorción en sus poros (Saini et al., 2021).

#### 3.1.2 Cáscara de piña

La orina humana es una rica fuente de nitrógeno que se puede capturar para complementar las fuentes de nitrógeno existentes como fertilizantes, de este modo se puede contribuir a mejorar la producción de cultivos. Sin embargo, la orina es el principal contribuyente de macronutrientes

en los flujos de aguas residuales municipales que resultan en la eutrofización de los cuerpos de agua receptores. El biosorbente de cáscara de piña fue modificado físicamente para la eliminación segura de amonio nitrógeno ( $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ ) de soluciones de orina humana. Los valores obtenidos muestran la eficiencia que tienen estos materiales para la adsorción de  $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$  en la orina humana. (Otieno et al. 2021).

El biocarbón a base de piña (*pinus radiata*) de biomasa de pirólisis lenta sintetizada, se activó con ácido, se caracterizó y se probó su eficacia en la eliminación por adsorción de iones metálicos  $\text{Pb}^{+2}$  en fase acuosa. La modificación de la superficie del adsorbente se realizó mediante tratamiento con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Los tres tipos de biocarbón, a saber, BC (biocarbón crudo sin modificación), AC<sub>1</sub> (modificado por  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) y AC<sub>2</sub> (modificado con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), se utilizaron para la eliminación de  $\text{Pb}^{+2}$  en fase acuosa. Se obtuvieron las máximas capacidades de adsorción de  $\text{Pb}^{+2}$  tales como: 251 mg/g, 283 mg/g y 321 mg/g para BC, AC<sub>1</sub> y AC<sub>2</sub> respectivamente. Este estudio indicó que el biocarbón de piña es un adsorbente rentable y respetuoso con el medio ambiente en una solución sostenible para el tratamiento de aguas residuales, está clasificado como Biosorbente modificado químicamente (Biswas, S., et al 2020).

Se utilizó biomasa de desecho de cáscara de piña con pirólisis lenta a 350, 450, 550 y 650 °C, como biosorbente modificado físicamente para conocer la adsorción en concentración inicial de Cr(VI) (10–500 mg/L), dosis de biocarbón (0,5–10 g/L) y tiempo de adsorción (0–96 h).

Se encontró que el biocarbón preparado a 350 °C tiene la mayor capacidad de adsorción de 41,67 mg/g. También se exploró la producción de biocarbón para su reutilización. El estudio sugirió que los residuos de cáscara de piña pueden ser reciclados a biocarbón con alta estabilidad de carbono y puede usarse como un adsorbente alternativo de bajo costo para aguas residuales. (Shakya & Agarwal, 2019).

#### 3.1.3 Cáscara de plátano

Los desechos de cáscara de plátano se utilizaron como una fuente adecuada para la producción de biocarbón. La cáscara de plátano (BPB) fue modificada incorporando nanopartículas magnéticas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y ZIF-67. La capacidad máxima de adsorción de  $\text{Cd}^{+2}$  usando BPB, BPB/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y BPB/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /ZIF-67 fueron 20,63 mg/g, 30,33 mg/g y 50,78 mg/g, respectivamente. Los resultados mostraron que los adsorbentes estudiados especialmente BPB/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /ZIF-67 tienen una buena capacidad para adsorber, desorber  $\text{Cd}^{+2}$  y limpiar un efluente que contiene contaminantes (Foroutan et al. 2022).

Se utilizaron cáscaras de plátano frescas y deshidratadas como materia prima de biomasa para producir un adsorbente altamente efectivo a través de un sencillo enfoque de carbonización hidrotermal de un solo paso, con 20% de volumen de ácido fosfórico como el medio de reacción. Los adsorbentes mostraron excelente capacidad de clarificación de plomo de 359 mg/g y 193 mg/g para cáscaras de plátano frescas y deshidratadas a base de biocarbón, respectivamente (Zhou et al. 2017).

Tabla 1. Adsorbentes a base de residuo agroindustrial

Adsorbente a base de residuo agroindustrial	Contaminante	Método de preparación del carbón	Activación del carbón	Instrumentos empleados para la caracterización del adsorbente	Dosis de carbón utilizado	Tiempo de aplicación	Porcentaje de adsorción (%)	Capacidad de adsorción (mg/g)	Autor
Cáscara de naranja	Cu(II)	BMQ	Hidróxido de sodio	Analizador de área superficial, espectroscopia infrarroja y microscopia electrónica de barrido	50 mg/L	1 hora	91.6	50.25	Feng, Guoy Liang (2010)
	Pb (II)	BNM	Sin modificar	Análisis FTIR, espectros de infrarrojo con transformada de Fourier	40 mg/mL	24 horas	99.2	495.33	Tejada, C., Herrera, A. and Nuñez, J., (2016)
	Pb(II)	BMQ	Cloruro de calcio	Análisis FTIR, espectros de infrarrojo con transformada de Fourier	40 mg/mL	24 horas	98.6	49.98	Tejada, C., Herrera, A. and Nuñez, J., (2016)
Cáscara de piña	(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N)	BMF	Agua desionizada y N <sub>2</sub>	Microscopia electrónica de barrido-espectroscopia de dispersión de energía (SEM-EDS), difracción de rayos X en polvo (XRD), espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) y análisis termo gravimétrico (TGA)	156.88 mg/L	30 min	96.8	13.4	Otieno, A., et al (2021)
	Pb (II)	BMQ	Ácido sulfúrico y ácido fosfórico	Área superficial BET, volumen de poro, tamaño de poro, análisis C-H-N-S, FTIR, XRD y FESEM	50 mg/L	150 min	95	321	Biswas, S., et al (2020)
	Cr (VI)	BMF	pirólisis lenta a 350, 450, 550 y 650 °C	microscopio electrónico de barrido (SEM), área de superficie BET, Análisis de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) y análisis de difracción de rayos X (XRD)	0,5-10 g/L	0-96 h	99.19	41.67	Shakya, A. and Aganwal, T., (2019)
Cáscara de plátano	Cd(II)	BMQ	Nano partículas magnéticas de Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> y ZIF-67	Técnicas SEM, FTIR, XRD, BET	4,70 m2/g	40-50 y 80 min	99.14	50.78	Foroutan, R., et al (2022)
	Pb (II)	BMQ	Ácido fosfórico al 20 %	Análisis de difracción de rayos X (XRD), FTIR, BET, SEM, espectrofotómetro de absorción atómica	0.25mg/mL	30 min	72.05	359	Zhou et al., (2017)
	Pb (II)	BNM	Sin modificar	Análisis de difracción de rayos X (XRD), FTIR, BET, SEM, Espectrofotómetro de absorción atómica	0.25mg/mL	30 min	73.35	193	Zhou et al., (2017)
Cáscara de papa	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> FN <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	BMQ	modificación con atapulgita	infrarrojo transformado de Fourier (FTIR), difractómetro de rayos X (XRD), Brunauer-Emmett-Teller (BET) y microscopia electrónica de barrido (SEM)	1.47 mg/mL	24 horas	92.7	5.24	Li, Y., et al., (2017)
	Cr (VI)	BMQ	Hidróxido de potasio	Espectrometría de absorción atómica	4 g/L	48 min	98.15	0.132	Pabón, Y. and Rosas, W. (2016)
	P	BMF	Pirólisis 500-800 °C	Analizador termo gravimétrico, rayos X, XRF, espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier de reflectancia total y XRD	2 mg/mL	24 horas	85.96	174.8	Quispeima, A., et al., (2022)
Cáscara de coco	NO <sup>3</sup>	BNM	Sin modificar	Microscopia electrónica de barrido (SEM). La espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR), el análisis elemental (CHNO)	30 mg/mL	120 min	24.39	12.97	Morris, K., et al (2021)
	NO <sup>2</sup>	BNM					91.39	0.245	
	Pb (II)	BMF	Co pirólisis	Técnicas SEM, FTIR, XRD, BET	1000 mg/L	1440 min	90	833.33	Wang, S., et al (2021)
	Cu (II)	BMQ					90	38.02	
	Cd(II)	BMQ	Modificación con tanino	Espectrometría infrarroja transformada de Fourier	4 mg/mL	30 min	90	59.52	Taksitta, K., et al (2020)
Pb (II)	BMQ					52	72.101		

**Tabla 1.** Continuación...

Adsorbente a base de residuo agroindustrial	Contaminante	Método de preparación del carbón	Activación del carbón	Instrumentos empleados para la caracterización del adsorbente	Dosis de carbón utilizado	Tiempo de aplicación	Porcentaje de adsorción (%)	Capacidad de adsorción (mg/g)	Autor
	NO <sub>3</sub> -	BNM	Sin modificar	Microscopía electrónica de barrido (SEM). La espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR), el análisis elemental (CHNO)	30 mg/mL	120 min	16.79	12.08	Morris, K., et al (2021)
	NO <sub>2</sub> -	BNM	Sin modificar	Microscopía electrónica de barrido (SEM), espectrofotómetro de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR), difracción de rayos X, (XRD), Rayos X fluorescencia (XRF) y analizador de área de superficie (SAA)	1 mg/mL	90 min	56.33	170.26	Juniar, L., et al (2020)
Cáscara de Café	Pb (II)	BNM	Sin modificar	Espectrometría de absorción atómica	4 g/L	48 min	99.23	0.134	Pabón, Y., and Rossas, W. (2016)
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	BNM	Sin modificar	Microscopía electrónica de barrido (SEM). La espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR), el análisis elemental (CHNO)	30 mg/mL	120 min	22.4	12.315	Morris, K., et al (2021)
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	BNM	Sin modificar	Termogravimétrico diferencial, difracción de rayos X (XRD), espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), SEM, espectrómetro de emisión de plasma acoplado inductivo (ICP)	0.2 g/L	3 horas	91.2	492	Zhang, Y., et al (2020)
Cáscara de arroz	Pb (II)	BMF	Pirólisis 500 °C	técnicas SEM, FTIR, XRD, BET	1 mg/mL	180 min	99	41.2	Pham et al (2022)
	Pb (II)	BMQ	sintetizado y modificado por solución de alginato de sodio	espectrometría de absorción atómica de llama, FTIR, XRD	0.1 g/mL	1 hora	96.25	112.78	Zhang, Z., et al (2022)
	Cd(II)	BMQ	Fosfato de sodio	Análisis termogravimétrico (TGA), difracción de rayos X (XRD), espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR), microscopía electrónica de barrido (SEM) e isoterma de adsorción de nitrógeno utilizando brunauer, emmett y teller (BET) y espectroscopia de fotoelectrones de rayos X (XPS).	250 mg/mL	400 min	92	1145	An, et al (2022)
Cáscara de castaña	AM	BMQ	ácido fosfórico al 40% durante 24 h	microscopía electrónica de barrido asociada con espectroscopia de rayos X de dispersión de energía, analizador de área de superficie Brunauer, emmett, teller (BET); difracción de rayos X, espectroscopia de fotoelectrones de rayos X, FTIR	20 mg/L	1440 min	80	0.788	Guo, X., et al (2022)
	C <sub>22</sub> H <sub>24</sub> N <sub>2</sub> O <sub>9</sub>	BMQ	Permanganato potásico y cloruro férrico				90	6.2854	

Leyenda: Tinte azul de metileno (AM), nitritos (NO-3), nitros (NO-2), cromo hexavalente (Cr (VI)), cobre (Cu (II)), plomo (Pb (II)), zinc (Zn (II)), cadmio (Cd II), arsénico pentavalente (As (V)), amonio (NH4+-N), norfloxacin (C16H18FN3O3) y oxitetraciclina (C22H24N2O9), Biosorbente no modificado (BNM), Biosorbente modificado químicamente (BMQ) y Biosorbente modificado físicamente (BMF).

### 3.1.4 Cáscara de papa

Se realizó un biocarbón de arcilla (APB) de bajo costo con tallo de papa y atapulgita natural para mejorar la eficiencia de eliminación de norfloxacin de la solución acuosa. Se cargó una pequeña cantidad de atapulgita natural sobre la biomasa con una relación de peso de 1:5 y luego se pirolizó a 500 °C durante 6 h en un horno de mufla. El experimento de sorción por lotes indicó que se adsorbió fuertemente en el biocarbón de arcilla con capacidades máximas de sorción de 5,24 mg/g, que fue aproximadamente 1,68 veces mayor que el biocarbón prístino (PB). Se demostró que el APB es altamente regenerable en varias iteraciones. Estos resultados indicaban que el biocarbón modificado con atapulgita tenía potencial como adsorbente ecológico y rentable para remediar el entorno de agua contaminada con norfloxacin (Li et al., 2019).

Se obtuvo la concentración de cromo (VI) para una muestra de agua, por el método de espectrometría de absorción atómica. Luego se implementó el material bioadsorbente (adsorción de la cáscara de papa) para cuantificar el cromo (VI) en los residuos líquidos y finalmente se determinaron los porcentajes de remoción de cromo hexavalente, logrando obtener buenos resultados de 0.132 mg/g (Pabón Patiño & Arevalo, 2016).

Los residuos de cáscara de papa (PP) se generan en grandes cantidades y causan contaminación ambiental, así como problemas de salud. Esta investigación es importante, porque nos permite dar un uso adecuado a los residuos para beneficio de la población. Para la remoción de fósforo (P) fueron preparados por pirólisis (500–800 °C) utilizando cáscara de huevo (ES) y PP (ES/PP = relación 1:2 en peso), (pirolizado a 700 °C), alcanzó un  $Q_{max}$  de 174,8 mg P/g, mientras que la aplicación de biocompuestos de Ca en aguas residuales domésticas alcanzó un 85,96% de remoción de P. Se determinó que luego de ser adsorbido el P, este funcionaría como fertilizante para tipos de suelos ácidos, muchas veces contaminados por la minería. Este resultado es importante en la gestión de residuos para implementar las 3R “Reducir, Reutilizar, Reciclar” y lograr así una economía circular. (Quispeprima et al. 2022).

### 3.1.5 Cáscara de coco

El enriquecimiento de los cuerpos de agua con nutrientes de las aguas residuales es una de las causas de la eutrofización de los organismos acuáticos. Se investigó el uso de biochar, derivado de cáscara de coco, en adsorber nitratos ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) y nitritos ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) de las aguas residuales de los mataderos. El biocarbón de cáscara de coco tiene las mayores capacidades de adsorción de  $\text{NO}_3\text{-N}$  y  $\text{NO}_2\text{-N}$  a 12,97 mg/g y 0,244 mg/g, respectivamente, atribuyéndose a su alta porosidad. Estos valores son buenos indicadores de que el biocarbón estudiado puede enriquecerse con  $\text{NO}_3\text{-N}$  y  $\text{NO}_2\text{-N}$  y utilizarse como fertilizantes de liberación lenta. (Morris et al., 2021).

La haloisita/biocarbón se preparó mediante copirólisis a diferentes temperaturas utilizando cáscara de coco y haloisita como materias primas. Los adsorbentes magnéticos se prepararon mediante extrusión en molino de bolas con  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y la haloisita/. Se evaluó y comparó el

biocarbón y la capacidad de los adsorbentes para adsorber Pb (II) del agua. Las muestras preparadas indican que la capacidad de adsorción ( $833,33 \pm 16,71$  mg·g<sup>-1</sup>), y la eficiencia de remoción de Pb (II) por los adsorbentes magnéticos estaba por encima del 90% después de cuatro ciclos de adsorción-desorción. Los adsorbentes magnéticos que fueron preparados demostraron una buena perspectiva de aplicación para el tratamiento de Pb (II) que se encuentran en las aguas residuales, con lo que se tienen nuevas alternativas para el reciclaje y la utilización de los residuos. (Wang et al. 2021).

Las fibras de celulosa de la cáscara de coco (CH) se modificaron con tanino y se aplicaron como biosorbente para la eliminación de iones de metales pesados, incluidos Cu (II), Cd (II) y Pb (II) en aguas residuales. Para mejorar la eficiencia de adsorción de iones de la fibra de celulosa de CH, se usó epíclorhidrina como agente de reticulación para injertar moléculas de tanino en la celulosa para producir fibra de celulosa inmovilizada con tanino (TCF). La capacidad de adsorción fue de 38,02 mg/g, 59,52 mg/g y 72,99 mg/g para los iones Pb (II), Cd (II) y Cu (II), respectivamente. El TCF desarrollado es una alternativa económica y eficiente que podría desarrollarse aún más como una plataforma para la gestión de aguas residuales. (Taksitta et al. 2020).

### 3.1.6 Cáscara de café

Se investigó el uso de biochar, derivado de la cáscara de café, para adsorber nitratos ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) y nitritos ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) de las aguas residuales de los mataderos. El biocarbón de la cáscara de café, fue 12,08 mg/g y 0,218 mg/g para  $\text{NO}_3\text{-N}$  y  $\text{NO}_2\text{-N}$ , Estos valores son buenos indicadores de que el biocarbón estudiado puede enriquecerse con  $\text{NO}_3\text{-N}$  y  $\text{NO}_2\text{-N}$  y utilizarse como fertilizantes de liberación lenta. (Morris et al. 2021).

La adsorción ha sido un método popular de bajo costo y respetuoso con el medio ambiente, que se puede utilizar para reducir los metales pesados en las aguas residuales, especialmente con el uso de adsorbentes de biomasa. A partir de la cáscara de café se realizó el adsorbente. Se analizó la capacidad de adsorción del café sobre el Pb (II). Se obtuvo que la máxima capacidad de adsorción del café es de 170,26 mg/g con un tiempo de equilibrio de alrededor de 90 minutos. Finalmente, se pudo concluir que la cáscara de café es una biomasa eficiente para obtener adsorbentes con alta capacidad para eliminar metales pesados (Junior et al. 2020).

Se obtuvo la concentración de cromo (VI) para una muestra de agua, por el método de espectrometría de absorción atómica. Luego se implementó el material bioadsorbente (adsorción de la cáscara de café) para cuantificar el cromo (VI) en los residuos líquidos y finalmente se determinó los porcentajes de remoción de cromo hexavalente. Se logró obtener buenos resultados de 0.134 mg/g (Pabón Patiño & Arevalo, 2016).

### 3.1.7 Cáscara de arroz

Se investigó el uso de biochar, derivado de cáscara de café, en adsorber nitratos ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) y nitritos ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) de

las aguas residuales de los mataderos. El biocarbón de cáscara de arroz fue 12,315 mg/g y 0,233 mg/g para  $\text{NO}_3\text{-N}$  y  $\text{NO}_2\text{-N}$ . Estos valores son buenos indicadores de que el biocarbón estudiado puede enriquecerse con  $\text{NO}_3\text{-N}$  y  $\text{NO}_2\text{-N}$  y utilizarse como fertilizantes de liberación lenta (Morris et al. 2021).

Hoy en día, la biomasa natural que se obtiene a partir de residuos orgánicos, es una buena alternativa de fuente renovable con las cuales se consigue carbono poroso. Se aplicó residuos agrícolas como cáscara de arroz (RH) para producir carbones activados (AC) a través de la activación de un solo paso con hidróxido de sodio. Durante la adsorción de iones de plomo en aguas residuales simuladas, la CA basada en HR reveló una capacidad de captura superior de  $492 \pm 15$  mg/g. El carbón obtenido a partir de cáscara de arroz tiene una alta eficiencia para lograr productos de carbono ecológicos (Y. Zhang et al. 2020).

En este trabajo, se sintetizó biocarbón modificado con alginato, derivado de desechos de cáscara de arroz, mediante un proceso simple. El biocarbón modificado (MBC) y el biocarbón de cáscara de arroz (RhBC) se investigaron para eliminar los iones Pb (II) en las aguas residuales. Asimismo, se analizó la capacidad de adsorción que tiene el biocarbón con respecto al Pb (II). En el presente estudio se determinó que el MBC tiene mayor capacidad de adsorción con un valor de 112,3 mg/g, mientras que el RhBC tiene un valor de 41,2 mg/g. El RhBC modificado logró reducir más del 99 % del Pb (II) provenientes de las aguas residuales. También se comprobó que se puede reutilizar hasta tres veces, con un rendimiento de eliminación mayor al 90 %. Finalmente, se vio buena capacidad de adsorción del Pb usando MBC y se debatió la aplicación de este biocarbón para el tratamiento de aguas residuales en Vietnam. (Pham et al. 2022).

### 3.1.8 Cáscara de castaña

El biocarbón modificado es un adsorbente factible para resolver la contaminación por cadmio en el agua. A la fecha, existen pocos estudios que indiquen un adecuado mecanismo de adsorción de cadmio por biocarbón enfocado desde una perspectiva molecular. Se utilizaron sales de sodio metalmente amigables para modificar el biocarbón a base de cáscara de castaña y emplearlo en la Adsorción de  $\text{Cd}^{+2}$ .

El biocarbón modificado con  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  mostró la mayor capacidad de adsorción de  $\text{Cd}^{+2}$  (112,78 mg/g). El trabajo realizado dio a conocer un nuevo enfoque de investigación y sirve también como una guía de aplicación de biocarbones para emplear en la adsorción de metales pesados. (Zhang et al. 2022).

El carbón activado se ha utilizado para tratar tintes orgánicos en sistemas de agua. Se desarrolló un adsorbente híbrido, que consiste en una mezcla (MCS) de biocarbón de cáscara de castaña activado (CN) y material de cáscara de caracol pirolizado (SS). Para resolver el problema de los tintes en las aguas residuales, se procesaron las muestras de cáscara de caracol de desecho por pirólisis, la castaña y muestras de cáscara pretratadas químicamente

y luego pirolizadas. Los resultados obtenidos a partir de la muestra MCS3-1, que se consiguió de la adición de CN y SS en la dosificación de 3 a 1, mostraron una alta capacidad de adsorción para el azul de metileno (MB), con 1145 mg/g a una concentración inicial de 1300 mg/L (se pudo obtener una tasa de eliminación del 92%). Los resultados mostraron que el MCS3-1 puede eliminar sin ningún problema el MB proveniente de las aguas residuales. (An et al. 2022).

En el presente estudio, se exploró el mecanismo de adsorción competitivo o sinérgico potencial de fosfato y antibióticos de una solución que utiliza biocarbón derivado de cáscara de castaña (CS). Los CS se utilizaron como materia prima para preparar biocarbón (BCCS) y biocarbón modificado (MBCCS) a través de una pirólisis aislada con oxígeno y la posterior modificación con  $\text{KMnO}_4$  y  $\text{FeCl}_3$ . A partir del MBCCS, que tenía iones de Fe y Mn en su área, se obtuvieron capacidades de adsorción de 0,7880 mg/g P y 6,2854 mg/g de oxitetraciclina (OTC), respectivamente. Se comprobó la alta capacidad de reutilización del biocarbón a partir del aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales. Este trabajo muestra la eficiencia de adsorción que se tiene a partir de material orgánico sobre aguas contaminadas. (Guo et al., 2022).

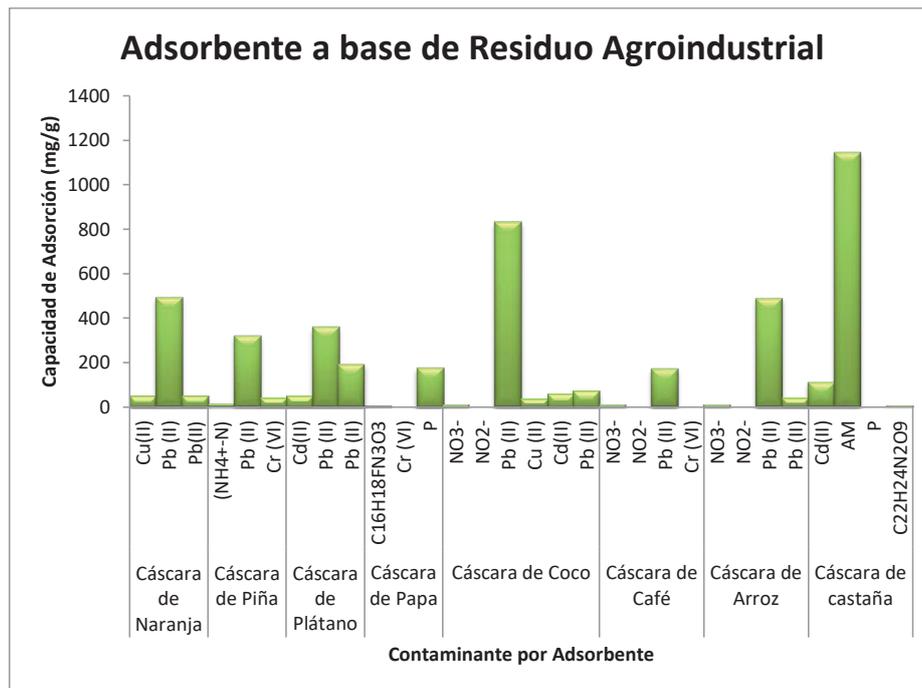
## IV. DISCUSIÓN

Las evidencias nos muestran que los adsorbentes agroindustriales a base de cáscara de naranja (que no ha sido modificada), cáscara de coco (modificada físicamente), cáscara de arroz (no modificada) y cáscara de castaña (modificada químicamente), son los que tienen mayor capacidad de adsorción de plomo y azul de metileno (Figura 1).

(Yamaguchi et al., 2021) propuso el uso de moringa oleífera (MO) para procesos más limpios en el tratamiento de agua en lugares de bajos ingresos por su abundante disponibilidad, bajo costo, menor generación de subproductos, biodegradabilidad y no toxicidad. El uso de moringa como coagulante añadido (normalmente alumbre) mejora los procesos de tratamiento del agua, mejora la eficiencia (20%), reduce el uso de coagulantes químicos (60%) y reduce la toxicidad final del agua tratada. Actualmente es difícil tener acceso al tratamiento de las aguas residuales a bajo costo y al alcance de muchas comunidades.

## V. CONCLUSIONES

Describimos la capacidad de adsorción para elementos químicos que son contaminantes de las aguas residuales. Asimismo, se describen las características valoradas de la cáscara de naranja (que no ha sido modificada), cáscara de coco (modificada físicamente), cáscara de arroz (no modificada) y cáscara de castaña (modificada químicamente), que han dado buenos resultados en la verificación de la capacidad de adsorción de contaminantes.



**Figura 1.** Capacidad de adsorción de los residuos agroindustriales

Leyenda: tinte azul de metileno (AM), nitratos (NO-3), nitritos (NO-2), cromo hexavalente (Cr (VI)), cobre (Cu (II)), plomo (Pb (II)), zinc (Zn (II)) cadmio (Cd II), arsénico pentavalente (As (V)), amonio (NH4+-N), norfloxacin (C16H18FN3O3) y oxitetraciclina (C22H24N2O9).

Evidenciamos el valor de los residuos sólidos orgánicos como potenciales adsorbentes, que se generan en grandes cantidades y sobrecargan los rellenos sanitarios autorizados y en la mayoría de los casos son arrojados en cualquier lugar. Se identificó como el uso de adsorbentes no convencionales, a partir de la cáscara de naranja y cáscara de coco, serían alternativas para el tratamiento de las aguas residuales por su eficiencia de remoción de sólidos suspendidos, aceites, azul de metileno y metales pesados y que inclusive el costo de la obtención de este material sería bajo o casi nulo por ser una materia orgánica que genera residuo sólido.

Para futuros trabajos de investigación sería importante definir el material adsorbente no convencional que se utilizará. Determinar la capacidad de adsorción que tendrá este material y la cantidad de adsorbente que se obtendrá de su estado natural hasta que pase a ser un carbón activado. El Perú es un país megadiverso, donde se puede realizar muchos trabajos de investigación mediante filtros orgánicos como adsorbentes no convencionales.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a los profesores de la Universidad Nacional de Ingeniería, de la Facultad de Ingeniería Ambiental por las facilidades y aportes para el desarrollo de esta investigación.

## VII. REFERENCIAS

- An, J., Thi, N., Nhung, H., Ding, Y., Chen, H., He, C., Wang, X., & Fujita, T. (2022). *Chestnut Shell-Activated Carbon Mixed with Pyrolytic Snail Shells for Methylene Blue Adsorption*. 1–25. <https://doi.org/10.3390/ma15228227>
- Biswas, S., Siddiqi, H., Charan, B., Kanti, T., Khiadani, M. (2020). *Preparation and Characterization of Raw and Inorganic Acid-Activated Pine Cone Biochar and Its Application in the Removal of Aqueous-Phase Pb<sup>2+</sup> and Metal Ions by Adsorption*. *Water, Air, & Soil Pollution*. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4375-7>
- Bokoba, I; Ryder, G. (2017). Aguas residuales. In *ONU-Agua*. [www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en%0Ahttps://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Municipios\\_2015/Documento\\_Tecnico-Gestion\\_de\\_Agua\\_y\\_Alcantarillado\\_2015.pdf%0Ahttps://saludurbanaorg.files.wordpress.com/2017/04/](https://www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en%0Ahttps://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2015/Documento_Tecnico-Gestion_de_Agua_y_Alcantarillado_2015.pdf%0Ahttps://saludurbanaorg.files.wordpress.com/2017/04/)
- Cachola Maldito Lowden, V. M. (2022). *Preparación y caracterización de carbón activado de cáscara de coco. Aplicaciones en la adsorción de solutos en disolución acuosa [Tesis doctoral, Universidad de Extremadura]*. [https://www.mendeley.com/catalogue/5d8367c0-064e-3958-b7f7-abf109c52575/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.8&utm\\_campaign=open\\_catalog&userDocumentId=%7B9a91d9bb-8045-4c09-b0e4-b8fc6e5245b2%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/5d8367c0-064e-3958-b7f7-abf109c52575/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B9a91d9bb-8045-4c09-b0e4-b8fc6e5245b2%7D)
- Del Cid López, M. A. (2023). *Evaluación de la capacidad de adsorción del carbón activado obtenido a partir de cáscara*

- de naranja (*Citrus x sinensis*), a escala laboratorio, por medio de la adsorción de cloruro de metilitionina en solución acuosa y su comparación con el carbón obtenido del endocarpo de coco (*Cocos nucifera* L.) (Tesis Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala). <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/18284>
- Dunán Avila, P. L., Fernández Rodríguez, M., Riverón Zaldívar, A. B., & Bassas Noa, P. R. (2021). *Evaluación del contenido de metales pesados en las aguas del río Yamanigüey*. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 24(48), 315–321. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.19444>
- Feng, N., Guo, X., Liang, S. (2010). *Enhanced Cu (II) adsorption by orange peel modified with sodium hydroxide*. 50774100. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(10\)60030-1](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(10)60030-1)
- Foo, K.; Hameed, B. (2012). Potential of activated carbon adsorption processes for the remediation of nuclear effluents: a recent literature. *Desalination and Water Treatment*. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.664680>
- Foroutan, R., Peighambaroust, S. J., Mohammadi, R., Peighambaroust, S. H., & Ramavandi, B. (2022). *Cadmium ion removal from aqueous media using banana peel biochar/ Fe3O4/ZIF-67*. *Environmental Research*, 211(February), 113020. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113020>
- Gómez, A., Klose, W., Rincón, S. L., & Wiest, W. (2004). *Proceso de producción de carbón activado a partir de cáscaras de palma de aceite en un horno rotatorio y su aplicación en la limpieza de NO*. *Revista Palmas*, 25, 461–471. [https://www.mendeley.com/catalogue/d5e433d3-91de-38de-9f62-4b59b59944f0/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.8&utm\\_campaign=open\\_catalog&userDocumentId=%7B4f9ad5bd-14f7-4690-b3b2-af4a92dac4a3%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/d5e433d3-91de-38de-9f62-4b59b59944f0/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B4f9ad5bd-14f7-4690-b3b2-af4a92dac4a3%7D)
- Guo, X., Zhu, L., Xu, X., Ma, M., Zou, G., & Wei, D. (2022). *Competitive or synergetic? Adsorption mechanism of phosphate and oxytetracycline on chestnut shell-derived biochar*. *Journal of Cleaner Production*, 370(August), 133526. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133526>
- Huamán Boza, Y. (2022). *Adsorción de plomo y zinc a partir de soluciones acuosas mediante el uso de arcilla natural*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú] <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7798>
- Ighalo, J. O., & Adeniyi, A. G. (2020). *Adsorption of pollutants by plant bark derived adsorbents: An empirical review*. *Journal of Water Process Engineering*, 35(March), 101228. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101228>
- Jiménez, P. V., Agostinho Da Silva, D., Gatani, M., & Medina, J. C. (2019). *Characterization of peanut shells from the province of Córdoba, Argentina*. *Argentine Engineering Journal*, 13, 71–78. [https://www.mendeley.com/catalogue/c582b315-5ff3-3321-a9cb-00128f94d8fa/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.8&utm\\_campaign=open\\_catalog&userDocumentId=%7B66e2f9c6-c4e6-488b-9ed6-75e3b9230376%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/c582b315-5ff3-3321-a9cb-00128f94d8fa/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B66e2f9c6-c4e6-488b-9ed6-75e3b9230376%7D)
- Juniar, L., Mariana, Mulyati, S., Fathira, D., & Safitri, R. (2020). *Preparation and Characterization of Activated Carbon from Gayo Coffee Shell as an Adsorbent for Removal of Lead (Pb) in Liquid Waste*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 796(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/796/1/012050>
- Li, J., Li, B., Huang, H., Lv, X., Zhao, N., Guo, G., & Zhang, D. (2019). *Removal of phosphate from aqueous solution by dolomite-modified biochar derived from urban dewatered sewage sludge*. *Science of the Total Environment*, 687, 460–469. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.400>
- Lua, Aik Chong; Yang, T. (2004). *Effects of vacuum pyrolysis conditions on the characteristics of activated carbons derived from pistachio-nut shells*. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2004.08.001>
- Menéndez Vera, J. Y., Flores Pinargote, J. A., Noles Aguilar, P. J., Menéndez Cevallos, C. J., & Espinel Pino, V. D. (2022). *Capacidad auto depurativa del río Carrizal sobre efluentes de la laguna de oxidación*. *Calceta*. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 25(49), 65–72. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i49.19681>
- Morris Wadera, K. S. M., Murunga, S. I., & Raude, J. M. (2021). *Adsorption and desorption of nutrients from abattoir wastewater: modelling and comparison of rice, coconut and coffee husk biochar*. *Heliyon*, 7(11), e08458. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08458>
- Nieto Delgado, C. (2010). *Production of Activated Carbon from Agave salmiana Bagasse and its Modification to Remove Arsenic from Water*. [https://www.mendeley.com/catalogue/76ad3f1a-237a-3b75-9adf-059aa0f7cf62/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.8&utm\\_campaign=open\\_catalog&userDocumentId=%7Bd6693de7-d7c9-435f-a6cb-fb8c4b1a1aed%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/76ad3f1a-237a-3b75-9adf-059aa0f7cf62/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7Bd6693de7-d7c9-435f-a6cb-fb8c4b1a1aed%7D)
- O. Ioannidou, A. Zabanitoutou, E.V. Antonakou, K.M. Papazisi, A.A. Lappas, C. A. (2009). *Investigating the potential for energy, fuel, materials and chemicals production from corn residues (cobs and stalks) by non-catalytic and catalytic pyrolysis in two reactor configurations*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.01.004>
- Otieno, A. O., Home, P. G., Raude, J. M., Murunga, S. I., Ngumba, E., Ojwang, D. O., & Tuhkanen, T. (2021). *Pineapple peel biochar and lateritic soil as adsorbents for recovery of ammonium nitrogen from human urine*. *Journal of Environmental Management*, 293(February), 112794. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112794>
- Pabon, J. C. & Rosas, W. A. (2016). *Determinación de la eficiencia de adsorción de la cáscara de café y cáscara de papa en la remoción de Cr (VI) presente en aguas residuales provenientes de una curtiembre de Pandiaco*. [Proyecto de investigación, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repositorio.unad.edu.co/handle/10596/18067>
- Peña H, Karen J, Giraldo, Liliana, & Moreno, Juan Carlos. (2012). *Preparación de carbón activado a partir de cáscara de naranja por activación química. caracterización física y química*. *Revista Colombiana de Química*, 41(2), 311-323. Retrieved March 31, 2023, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-28042012000200010&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042012000200010&lng=en&tlng=es)
- Pham, T. H., Chu, T. T. H., Nguyen, D. K., Le, T. K. O., Obaid, S. Al, Alharbi, S. A., Kim, J., & Nguyen, M. V. (2022). *Alginate-modified biochar derived from rice husk waste for improvement uptake performance of lead in wastewater*. *Chemosphere*, 307(P3), 135956. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135956>

- Quisperima, A., Pérez, S., Flórez, E., & Acelas, N. (2022). *Valorization of potato peels and eggshells wastes: Ca-biocomposite to remove and recover phosphorus from domestic wastewater. Bioresource Technology*, 343(August 2021). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126106>
- Rahman Mohamed, Abdul; Mohammadi, Maedeh; Najafpour Darzi, G. (2010). *Preparation of carbon molecular sieve from lignocellulosic biomass: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.01.024>
- Reyna, L and Chuquilin, C. (2006). *Obtención de carbón activado y aceite esencial a partir del durazno (Blanquillo)*. Revista Peruana de Química e Ingeniería Química. [https://www.mendeley.com/catalogue/6520121f-33b4-3c6d-8e0c-71a3bfb74f7c/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.8&utm\\_campaign=open\\_catalog&userDocumentId=%7B6429551f-ce7e-41ee-b12f-cc244da7841c%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/6520121f-33b4-3c6d-8e0c-71a3bfb74f7c/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B6429551f-ce7e-41ee-b12f-cc244da7841c%7D)
- Saini, K., Sahoo, A., Biswas, B., Kumar, A., & Bhaskar, T. (2021). *Preparation and characterization of lignin-derived hard templated carbon(s): Statistical optimization and methyl orange adsorption isotherm studies. Bioresource Technology*, 342(August), 125924. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125924>
- Shakya, A., & Agarwal, T. (2019). *Removal of Cr(VI) from water using pineapple peel derived biochars: Adsorption potential and re-usability assessment. Journal of Molecular Liquids*, 293, 111497. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111497>
- Taksitta, K., Sujarit, P., Ratanawimarnwong, N., Donpudsa, S., & Songsrirote, K. (2020). *Development of tannin-immobilized cellulose fiber extracted from coconut husk and the application as a biosorbent to remove heavy metal ions. Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100389>
- Tejada, C., Herrera, A., & Núñez, J. (2016). *Remoción de plomo por biomasa residual de cáscara de naranja y zuro de maíz. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, XIX(1), 169–178. [https://www.mendeley.com/catalogue/db95cbb2-3d1b-303b-9862-b35f4c01cdcf/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.8&utm\\_campaign=open\\_catalog&userDocumentId=%7B7a76a935e-63f7-4a1a-9442-d988d8f26110%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/db95cbb2-3d1b-303b-9862-b35f4c01cdcf/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B7a76a935e-63f7-4a1a-9442-d988d8f26110%7D)
- Torres Guerra, J. A., & Reátegui Lozano, R. (2022). *Gestión sostenible del agua y la gran minería del oro en Perú. Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 25(49), 173–180. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i49.23006>
- Ueda Yamaguchi, N., Cusioli, L. F., Quesada, H. B., Camargo Ferreira, M. E., Fagundes-Klen, M. R., Salcedo Vieira, A. M., Gomes, R. G., Vieira, M. F., & Bergamasco, R. (2021). *A review of Moringa oleifera seeds in water treatment: Trends and future challenges. Process Safety and Environmental Protection*, 1–54. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.044>
- Valladares Cisneros, M. G., Valerio Cárdenas, C., de la Cruz Burelo, P., & Melgoza Alemán, R. M. (2017). *Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 1–19. <https://doi.org/10.22395/rium.v16n31a3>
- Vargas Corredor, Y. A., & Pérez Pérez, L. I. (2018). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. Revista Facultad de Ciencias Básicas*, V(1), 59–72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Villa Sánchez, F. E. (2022). *Evaluación de la capacidad adsorbente de la cáscara de naranja (Citrus sinensis) y coco (Cocos nucifera) para la remoción de metales pesados (Cr, Pb) (Master's thesis)*. <http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/6002>
- Wang, Z., Wu, J., He, T., & Wu, J. (2014). *Corn stalks char from fast pyrolysis as precursor material for preparation of activated carbon in fluidized bed reactor. Bioresource Technology*, 167, 551–554. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.123>
- Wang, S., Xiao, D., Zheng, X., Zheng, L., Yang, Y., Zhang, H., Ai, B., & Sheng, Z. (2021). *Halloysite and coconut shell biochar magnetic composites for the sorption of Pb(II) in wastewater: Synthesis, characterization and mechanism investigation. Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), 106865. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106865>
- Zhang, Y., Song, X., Zhang, P., Gao, H., Ou, C., & Kong, X. (2020). *Production of activated carbons from four wastes via one-step activation and their applications in Pb<sup>2+</sup> adsorption: Insight of ash content. Chemosphere*, 245, 125587. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125587>
- Zhang, Z., Li, Y., Zong, Y., Yu, J., Ding, H., Kong, Y., Ma, J., & Ding, L. (2022). *Efficient removal of cadmium by salts modified-biochar: Performance assessment, theoretical calculation, and quantitative mechanism analysis. Bioresource Technology*, 361, 127717. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127717>
- Zhou, N., Chen, H., Xi, J., Yao, D., Zhou, Z., Tian, Y., & Lu, X. (2017). *Biochars with excellent Pb(II) adsorption property produced from fresh and dehydrated banana peels via hydrothermal carbonization. Bioresource Technology*, 232, 204–210. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.074>

#### Contribución de autoría

Conceptualización, redacción: Pablo Roberto Paccha Huamani; Investigación y metodología: Cesar Augusto Paccha Rufasto.

#### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.