



Received: Nov 20, 2024 / Dic 16, 2024

Artículo Original

Tratamientos naturales para la remodelación de metales pesados y turbidez en aguas del Río Pativilca, Perú

Natural treatments for the removal of heavy metal and turbidity in the Pativilca river, Peru

J. Padilla-Ramírez¹ , R. Toscano-Justino¹ , E. Mendoza Nieto² , J. Parra-Calero¹ , R. Fernández-Moreno^{1*}



<https://doi.org/10.51431/par.v6i2.978>

Resumen

Objetivo: Determinar el efecto de tratamientos naturales y convencionales en la remoción de turbidez, metales pesados y parámetros complementarios de las aguas del río Pativilca. **Metodología:** Se realizó un pre muestreo para seleccionar un tramo del río con altas concentraciones de metales, seguido del muestreo en el punto identificado (EM.RPATI-I). En cada muestra se evaluaron seis tratamientos: dos naturales (mucílago de penca de tuna en polvo y carbón activado de fibra lignocelulósica de penca de tuna), dos convencionales (carbón activado convencional y sulfato de aluminio), y dos mezclas (mucílago de tuna en polvo más carbón activado de penca y sulfato de aluminio más carbón activado convencional). Las dosis utilizadas fueron 0,7 mg/L, 10 g/L, 0,1 g/L y sus combinaciones. El estudio se realizó durante 150 días, analizando las variables: turbidez (UNT), concentración de plomo, concentración de hierro, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y temperatura del agua. **Resultados:** Los tratamientos más efectivos para la remoción de turbidez fueron el carbón activado de fibra de penca (98,79%), sulfato de aluminio (98,72%) y carbono activado convencional (98,47%); para la remoción de plomo, fueron sulfato de aluminio más carbón activado (94,89%) y carbón activado convencional (94,15%) y para la remoción de hierro, el carbón activado de penca de tuna (73,67%) mostró la mejor eficacia. **Conclusión:** El mucílago y la fibra lignocelulósica de la penca de tuna, como floculante y carbón activado, presentaron un efecto similar al de los tratamientos convencionales en la mejora de la calidad del agua del río Pativilca.

Palabras clave: Floculante, carbón activado, *opuntia ficus*, sulfato de aluminio, test de jarras

Abstract

Objective: To determine the effect of natural and conventional treatments on removing turbidity, heavy metals, and complementary parameters of the Pativilca River water. **Methodology:** A pre-sampling was conducted to select a stretch of the river with high concentrations of metals, followed by sampling at the identified point (EM.RPATI-I). Six treatments were evaluated in each sample: two natural (powdered prickly pear mucilage and activated carbon from lignocellulosic fibre of prickly pear), two conventional (conventional activated carbon and aluminium sulfate), and two mixtures (powdered prickly pear mucilage plus prickly pear activated carbon and aluminium sulfate plus conventional activated carbon). The doses used were 0.7 mg/L, 10 g/L, 0.1 g/L, and their combinations. The study was conducted over 150 days analysing the variables: turbidity, lead concentration, iron concentration, pH, electrical conductivity, total dissolved solids, and water temperature. **Results:** The most effective treatments for turbidity removal were prickly pear activated carbon (98.79%), aluminium sulfate (98.72%), and conventional activated carbon (98.47%); for lead removal, they were aluminium sulfate plus activated carbon (94.89%) and conventional activated carbon (94.15%); and for iron removal, prickly pear activated carbon (73.67%) showed the best efficacy. **Conclusion:** The mucilage and lignocellulosic fiber from prickly pear, as a flocculant and activated carbon, showed a similar effect ($p < 0.05$) to that of conventional treatments in improving the water quality of the Pativilca River.

Keywords: Flocculant, activated carbon, *Opuntia ficus*, aluminium sulfate, jar test.

¹Escuela profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho-Perú

²Departamento Académico de Agronomía, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho-Perú

*Autor para la correspondencia: cfmoreno99@gmail.com

Introducción

El crecimiento industrial ha incrementado la generación de residuos y efluentes contaminantes, especialmente en áreas como la cuenca del río Pativilca. En esta cuenca se identifican tres demandas consuntivas (agrícola, industrial y poblacional) y una demanda no consuntiva (hidroeléctrica). La alta demanda poblacional y la ausencia de tratamiento de las aguas no garantizan su calidad para diversos usos (Méndez, 2019). A diferencia de los países desarrollados que disponen de plantas de tratamiento de aguas, en esta región el uso de productos químicos como sulfato de aluminio y el cloruro férrico en los procesos de purificación presentan riesgos para la salud (Acevedo, 2019).

El floculante derivado del mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) se presenta como una alternativa prometedora frente a los coagulantes químicos convencionales. Este floculante natural no solo mejora la calidad microbiológica del agua al reducir turbidez y precipitar patógenos, sino que también contribuye a disminuir la contaminación por metales pesados mediante procesos de bioadsorción (Nougbo et al., 2015; Padilla y Velarde, 2023).

Los estudios han demostrado que el mucílago de tuna tiene eficacia comparable a la de los floculantes químicos, logrando hasta un 61.61% de remoción de turbidez en agua (Padilla y Velarde, 2023). Además, el uso de carbón activado, especialmente derivado de fibra lignocelulósica, facilita el tratamiento de contaminantes específicos, contribuyendo así a una gestión más sostenible de los recursos hídricos (Asimbaya et al., 2015).

La presente investigación propone una alternativa ecológica y económica en la remoción de la turbidez y metales pesados (hierro y plomo) de las aguas del río Pativilca mediante la aplicación del mucílago como floculante y fibra lignocelulósica carbonizada como carbón activado. Los resultados obtenidos a partir del proyecto a escala de laboratorio, permitirá seguir avanzando hacia el desarrollo de tecnologías más sostenibles en la mejora de la calidad del agua de los ríos, que en un futuro puedan ser utilizados para consumo humano.

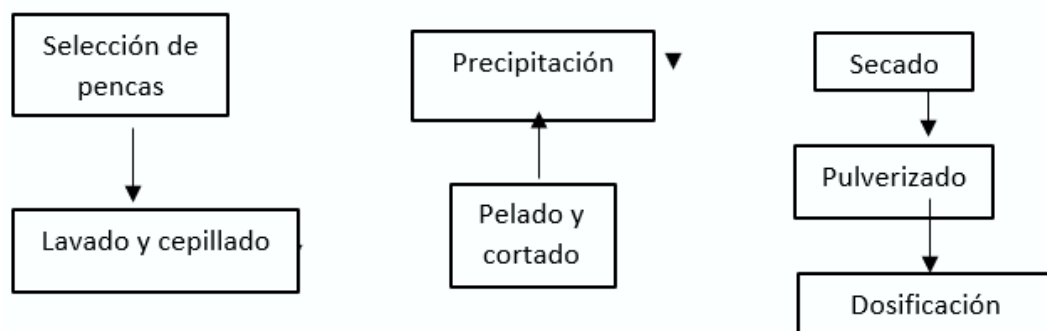
Metodología

Obtención de mucílago de tuna

El proceso de la obtención de mucílago de tuna se detalla en la figura 1.

Figura 1

Flujograma de la obtención de mucílago de Tuna en polvo



Fuente: Padilla y Velarde (2023)

Obtención de sulfato de aluminio. El sulfato de aluminio tipo B (15,2% de pureza) se adquirió del laboratorio Multilab.

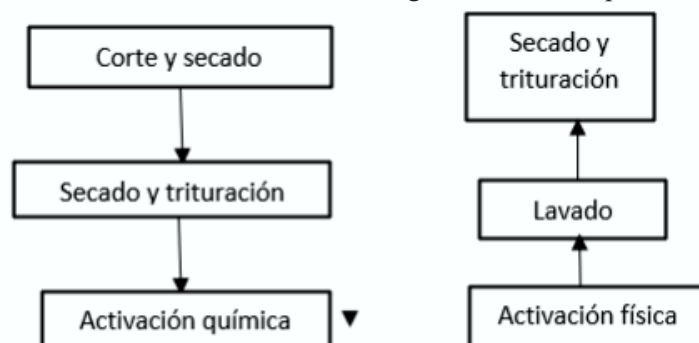
Obtención de la mezcla de sulfato de aluminio más mucílago de tuna en polvo. Una vez obtenido el mucílago en polvo a través de operaciones unitarias, y habiendo obtenido también el sulfato de aluminio, se procedió a pesar 0,03 g de sulfato de aluminio y 0,07 g de mucílago de tuna en polvo

por cada unidad experimental. De este modo, la dosis utilizada fue de 0,1 g/L de floculante mixto.

Obtención del carbón activado de la fibra lignocelulósica de la penca de tuna. El procedimiento utilizado para la obtención del carbón activado a base de fibra de penca de tuna se detalla en la Figura 2.

Figura 2

Flujograma de la obtención del carbón activado de fibra lignocelulósica de penca de tuna



Fuente: Adaptado de Martínez (2012) y Bastidas et al. (2009):

Obtención del carbón activado convencional. Se adquirió 5 kg de carbón activado de la empresa productora Oregon Chem Group.

Obtención del sulfato de aluminio. Se adquirió de una farmacia local y se pesó a dosis de 10g/L.

Realización del pre muestreo. Se llevó a cabo una visita de campo al Río Pativilca para realizar un pre-muestreo en tres puntos estratégicamente seleccionados y georreferenciados con *Google Earth Pro*. Las muestras fueron enviadas al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina, donde se analizaron las concentraciones de hierro y plomo.

Realización de muestreo de agua del río Pativilca. Luego de los resultados del pre muestreo, se tomaron las muestras en la estación cuyas concentraciones de plomo y hierro fueron las más elevadas. El muestreo se realizó en la E.M.RPATI-I, de acuerdo a los lineamientos establecidos en la Resolución Jefatural N° 160-2010-ANA.

Ensayos

Ensayo de jarras: Se realizó en los laboratorios del área de sostenibilidad de Industrias San Miguel, ubicado en antigua Panamericana Norte km 550, Distrito de Huaura, Provincia de Huaura, Región Lima-Perú. Se utilizó un equipo de jarras de marca VELP modelo FP4, el cual se regulo a una velocidad de 3500 r.p.m. Una vez calibrado el equipo de jarras, se vertieron las muestras en los vasos de precipitado de 1 L, se añadieron los floculantes, de manera ordenada, se agitó por 15 minutos para luego dejar sedimentar. Este procedimiento fue realizado para todas las muestras con sus

respectivos floculantes. La turbidez de las repeticiones se midió con ayuda del turbidímetro de Marca Hatch modelo 2100q

Ensayo de filtración por carbón activado. Las muestras se trasvasaron a frascos con carbón activado en diferentes dosis y de distinta naturaleza (convencional y de penca de tuna). Luego se sellaron los frascos y se agitaron manualmente para homogenizar la muestra, dejándola actuar por una hora. Posteriormente, se prepararon matraces de Erlenmeyer con embudos y papeles filtro, y se vertió la muestra en el embudo con el papel filtro Este procedimiento se repitió por cada unidad experimental con su respectivo tratamiento. Una vez realizado los experimentos se procedió a medir los valores finales de turbidez, acidez (pH), conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y temperatura. Los resultados fueron anotados en la ficha de ensayos. Finalmente, se añadieron los preservantes a las muestras, que se conservaron y enviaron al laboratorio para su análisis.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA). Se realizó el análisis de varianza (ANVA) y la comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey al 5% de significancia. Se analizaron siete tratamientos con cuatro repeticiones por cada tratamiento, haciendo un total de 28 unidades experimentales (Ver Tabla 1).

Como variable respuesta, se midieron la turbidez, contenido de plomo y hierro y, como parámetros complementarios se midieron el pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y temperatura.

Tabla 1

Tratamientos para la determinación de metales pesados y turbidez en las aguas del río Pativilca, Perú

Tratamiento	Descripción
T1	Testigo o control (0 dosis)
T2	Carbón activado obtenido a partir de fibra lignocelulósica a 10 g/L (Zambrano <i>et al.</i> , 2018)
T3	Mucilago de tuna en polvo a 0,7 g/L (Silva, 2017)
T4	Carbón activado convencional a 10 g/L (Zambrano <i>et al.</i> , 2018)
T5	Sulfato de aluminio a 0,1 g/L (Silva, 2017)
T6	Mucilago de tuna en polvo a 0,7 g/L (Silva, 2017) + Carbón activado obtenido a partir de fibra lignocelulósica a 10 g/L (Zambrano <i>et al.</i> , 2018).
T7	Sulfato de aluminio a 0,1 g/L (Silva, 2017) + Carbón activado convencional a 10 g/L (Zambrano <i>et al.</i> , 2018).

Resultados y discusión

Análisis de la turbidez en el agua

Se observó que los niveles iniciales de turbidez en el agua excedieron los LMP establecidos en el DS 031-2010-DIGESA. Además, se aprecia que una vez aplicados los tratamientos se obtuvo una remoción de la

turbidez de hasta el 99,14%.

Existieron diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Tabla 2). Se observa que los tratamientos T2, T4, T5, T6 y T7 tuvieron una mayor remoción de la turbidez del agua en comparación al T1 (control) y T3 (mucilago de tuna).

Tabla 2

Diferencias entre tratamientos para la remoción de la turbidez en aguas del río Pativilca, Perú

Tratamiento	Descripción	% remoción de turbidez
2	Carbón Activado fibra de penca	98,79 a
7	Sulfato de aluminio	98,72 a
4	Carbón activado convencional	98,47 a
6	Sulfato de aluminio + carbón activado convencional	97,83 a
5	Mucilago + carbón activado penca de tuna	97,03 a
1	Control	72,97 b
3	Mucilago de tuna en polvo	68,31 b

Medias con letras iguales poseen similitud estadística ($p > 0,05$).

En la tabla 2 se observa que el control alcanzó un porcentaje de remoción de turbidez de 72,97%. Este resultado se atribuye a la precipitación de sólidos suspendidos, que influye en los valores de la turbidez. Las muestras tratadas con métodos alternativos naturales, específicamente el T, el T3 y el T5 presentaron promedios de remoción de turbidez de 98,78, 68,31 y 97,03%, respectivamente. Estos resultados contrastan con los hallazgos de Cáceres y Castiblanco (2020), quienes desarrollaron floculantes a base mucilago y

obtuvieron una remoción de hasta 94% 8 ($p < 0,05$) a una concentración de 20 mg/L. Asimismo, Padilla y Velarde (2023) lograron resultados positivos, alcanzando hasta un 40% de remoción con el mucilago de tuna en polvo ($p < 0,01$).

Análisis de remoción de metales pesados en el agua

Los diversos tratamientos tuvieron diferente efectividad en la remoción del plomo (Tabla 3), siendo los más eficaces los tratamientos T2, T4, T6, y T7.

Tabla 3

Diferencias entre tratamientos en la remoción del plomo de las aguas del río Pativilca, Perú

Tratamiento	Descripción	% remoción de plomo
7	Sulfato aluminio + carbón activado convencional	94,89 a
4	Carbón activado convencional	94,15 a
6	Mucilago de tuna en polvo + carbón activado de penca	93,89 a
2	Carbón activado de penca	91,97 a
5	Sulfato de aluminio	17,55 b
3	Mucilago de tuna en polvo	16,76 b
1	Control	2,61 c

Medias con letras iguales poseen similitud estadística ($p > 0,05$).

Se lograron porcentajes de remoción de hasta el 94,89 % para el sulfato de aluminio en combinación con carbón activado convencional. Asimismo, se observó que los tratamientos propuestos, que incluyen carbón activado de penca y Mucilago de tuna en polvo más carbón activado de penca, presentaron resultados estadísticamente similares, con porcentajes de remoción de plomo de 91,97 y 93,89%, respectivamente. Además, los tratamientos propuestos como floculantes mostraron efectos mínimos, con porcentajes de remoción por debajo del 20%. Estos resultados se contrastan positivamente con los obtenidos por Ponce (2019), quien desarrolló filtros de carbón activado de biomasa natural a una dosis de 20 g/L, logrando un 75% de remoción. Por otro lado, Alvarado y Gómez (2022) reportaron porcentajes de remoción de plomo de hasta un 99,06 al aplicar carbón activado a base de cascara de coco a una dosis de 15 g/L.

En la Tabla 4 se observa que los tratamientos T2 (Carbón activado de penca), T7 (Sulfato de aluminio más carbón activado convencional) y T4 (Carbón activado convencional) poseen efectos estadísticamente similares para la remoción del hierro en el agua. Por otro lado, el tratamiento T6 (Tuna en polvo más carbón activado de penca) mostró similitud estadística con los tratamientos 4 y 7, pero no con el tratamiento 2. Además, los tratamientos T3, T5 y T1 obtuvieron resultados por debajo del 5%, lo cual indica que no hay efectos significativos en las concentraciones de hierro del agua. Estos resultados son similares a los resultados de

Azabache (2019) y García (2018), quienes llevaron a cabo ensayos de filtración utilizando carbón activado de biomasa natural, obteniendo porcentajes de remoción de hierro de 96,12 y 89,35, respectivamente.

Tabla 4

Diferencias entre tratamientos para la remoción del hierro de las aguas del río Pativilca, Perú

Trat	Descripción	Media
2	Carbón activado de penca	73,67 a
7	Sulfato de aluminio + carbón activado convencional	68,23 ab
4	Carbón activado convencional	66,46 ab
6	Mucilago de tuna en polvo + Carbón activado de penca	62,55 b
3	Mucilago de tuna en polvo	4,50 c
5	Sulfato de aluminio	4,10 c
1	Testigo	1,38 c

Medias con letras iguales poseen similitud estadística ($p > 0,05$).

Caracterización físicoquímica del río Pativilca

Acidez (pH)

Inicialmente los valores de este parámetro se encontraban dentro del rango mínimo y máximo establecido por la norma. Sin embargo, tras la aplicación de los tratamientos, se observó que el T2 y el T6 lograron reducir los niveles de pH por debajo del límite mínimo permitido (LMP). Por otro lado, el tratamiento T4 elevó los valores de pH en todas las muestras, superando el límite máximo permitido (LMP).

Salinidad (conductividad eléctrica)

La conductividad eléctrica de todas las muestras antes de la aplicación de los tratamientos se encontró dentro de los niveles aceptables según la norma. Sin embargo, tras la realización de los ensayos, algunas unidades experimentales de los tratamientos T2 y T6 superaron los límites máximos establecidos.

Sólidos totales disueltos en el agua

Los niveles de sólidos totales disueltos en el agua de las muestras analizadas, tanto antes como después del experimento, se mantuvieron por debajo de los límites máximos permisibles.

Temperatura del agua

La tendencia de la temperatura del agua con la aplicación de los tratamientos se mantuvo dentro de lo establecido por normativa nacional.

Conclusión

El mucilago de penca de tuna en polvo, utilizado como floculante y la fibra lignocelulosa de la penca de tuna, empleada como carbón activado, demostraron potencial para el tratamiento de turbidez y eliminación de metales pesados de las aguas del río Pativilca, comparable al de los productos químicos convencionales. Estos hallazgos sugieren que estos tratamientos alternativos no sólo son viables, sino que también representan una opción sostenible y ecológica para mejorar la calidad del agua. Los análisis de los parámetros complementarios de calidad del agua, como el pH, la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales (TDS) y la temperatura se mantuvieron en su mayoría dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la normativa nacional.

Referencias

- Acevedo, D. (2018). *Pruebas de adsorción y regeneración química de carbón activado granular de madera y de cáscara de coco para el tratamiento de agua residual de la industria del teñido textil* [Tesis de postgrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://hdl.handle.net/11191/6719>
- Acevedo, E. (2019). *Uso de Semillas de Moringa (Moringa Oleífera) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de Río Negro, Río de Oro y Quebrada Floridablanca, Santander* [Tesis de pregrado, Universidad de Santander]. <http://repositorio.udes.edu.co/handle/001/10>

50

- Aguilar, A. y Pumachara, L. (2022). *Propuesta de tratamiento de efluentes del proceso de curtido mediante la adsorción de Cr III con carbón activado de cáscara de coco, para reducir el riesgo químico en la empresa de curtiembre San Vicente* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/6435>
- Asimbaya, C., Rosas, N., Endara y D., Guerrero, V. (2015). Obtención de carbón activado a partir de residuos lignocelulósicos de canelo, laurel y eucalipto. *Revista Politécnica*. 36(3). 2 4 - 2 9 . https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/537
- Bastidas, M., Buelvas, L., Márquez, M., y Rodríguez K. (2009). Producción de Carbón Activado a partir de Precursores Carbonosos del Departamento del Cesar, Colombia. *Información tecnológica*, 21(3). 87-96. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642010000300010>
- Bravo, M. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales* [tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/5609>
- Bobadilla, N. y Leon, M. (2022). *Remoción de plomo (Pb) utilizando biofiltro con carbón activado de la cáscara de coco en el Río Moche-Otuzco-2022* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/105002>
- Cáceres Duran, L. G. y Castiblanco Molina, L. X. (2020). *Evaluación del opuntia ficus indica (cactus) como coagulante natural para el tratamiento de agua potable de la empresa Emservilla en el municipio de Ubaté* [Tesis de grado, Fundación Universidad de América]. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8103>
- Camani, C. (2017). *Diseño completamente al azar* [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad José Carlos Mariátegui, Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12819/305>
- Carrasquero, S., Montiel, S., Faría, D., Parra, P., Marín, J., y Díaz, A. (2017). Efectividad de

- coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Sonalum tuberosum*) y plátano (*musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 13(2), 90-99. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1941>
- Carrillo, H., Martinaez, D., Live-Carrillo, W., Yañez-Ramirez, E., Gavilánez, T., y Diéguez-Santana K. (2018). Estudio de la adsorción de azul de metileno en medio acuoso mediante el uso de cáscara de yuca “Manihot esculenta” como bioadsorbente. *UTCiencia*. 5(3), 174-187. <http://investigacion.utc.edu.ec/revistasutc/index.php/utciencia/article/view/249>
- Choque-Quispe, D., Ligarda-Samanez, C., Ramos-Pacheco, B., Solano-Reynoso, A., Choque-Quispe, Y., Peralta-Guevara, D., y Quispe-Quispe, Y. (2020). Optimización de la capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas. *Revista DYNA*, 87(212), 90-95. <http://doi:10.15446/dyna.v87n212.80467>
- Coayla, B. y Peña, J. (2022). *Influencia de la penca de tuna en la calidad del agua cruda de la PTAP Chen Chen – Moquegua 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/12237>
- Dávila, C., Huamán, M., Flores, J., Polo, R., y Araujo, N. (2018). Efectividad de especies naturales como ayudantes de coagulación, para la clarificación de aguas turbias en épocas de avenidas en caseríos y centros poblados de Huaraz y Callejón de Huaylas. *Revista Aporte Santiaguino*, 11(2), 299-310. <http://doi:10.32911/as.2018.v11.n2.583>
- Fiestas, M. y Millones, A. (2019). Influencia de la concentración y el tiempo de contacto de carbón activado de cáscara de coco en la remoción de arsénico de aguas subterráneas de Mórrope. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/4028>
- Guevara, G., Verdesoto, A., y Castro, E. (2020). Metodologías de investigación educativa A (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Revista científica mundo de la investigación y el conocimiento*, 4(3), 163-173. <http://doi:10.26820/recimundo/4>
- Ley General del Ambiente N.º 28611(2005, 15 de octubre) Congreso de la República. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>
- Lagos, L. (2016). *Bioadsorción de cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local*. [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]
- Lozano, L. (2018). *Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de opuntia ficus-indica (tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018* [tesis de pregrado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo]. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/721>
- Macías, G. (2021). *Aprovechamiento de residuos de cáscara de cacao en la obtención de carbón activado para ser usado como medio filtrante* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6208>
- Maldito, V. (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, España]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=307932>
- Martínez, M. (2012). *Preparación y caracterización de carbón activo a partir de lignina para su aplicación en procesos de descontaminación de aguas*. (Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Madrid). https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/12833/61732_fierro_martinez_cristin_a.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Méndez, T. (2019). *Análisis de la gestión integrada de los recursos hídricos en cuenca del río Pativilca –Perú, incluyendo el cambio climático* [Tesis de postgrado, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1129899/M%20c3%a9n%20de%20-%20An%20a1lisis%20de%20la%20gesti%20c3%b3n%20integrada%20de%20los%20recursos%20h%20c3%a9ddricos%20en%20la%20Cuenca%20del%20r%20Pativilca....pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Meza-Leones, M., Riaños-Donado, K., Mercado-Martínez, I., Olivero-Verbel, R., y Jurado-Eraso, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95-104. <http://doi:10.18273/revuin.v17n2-2018009>
- Ministerio de Agricultura y Riego (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado mediante Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA. *Autoridad Nacional del Agua*. Perú
- Ministerio de Agricultura y Riego (2014). Evaluación del estado de la calidad del agua en la cuenca del río Pativilca-Ancash-Lima. *Autoridad Nacional del Agua*. Perú
- Ministerio de Salud (2023). Directiva Administrativa que establece las disposiciones para la vigilancia, prevención y control de la salud de los trabajadores con riesgo a exposición a SARS-CoV-2. *Dirección General de Intervenciones estratégicas en Salud*. Perú.
- Ministerio del Ambiente (2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua aprobado mediante Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. *Ministerio del Ambiente*. Perú.
- Ministerio de Salud (2010). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano aprobado mediante Decreto Supremo N.º 031-2010-SA. *Salud Ambiental*. Perú.
- Ministerio de Salud (2015). Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo aprobado mediante Resolución Directoral N.º 160-2015/DIGESA/SA. *Dirección General de Salud*. Perú.
- Morejón, B. (2017). *Utilización del mucilago de tuna (Opuntia ficus-indica) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir Grande, provincia del Carchi* [Tesis de postgrado, Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utm.edu.ec/handle/123456789/6621>
- Nougboade, A., Sessou, P., Alassane, A., Youssao, K., Agbagnam, P., Mama, D., Sohounhloue, C. (2015). Evaluation of Aloe vera leaf gel as a Natural Flocculant: Phytochemical Screening and Turbidity removal Trials of water by Coagulation flocculation. *Research Journal of Recent Sciences*, 4(12), 1-9. https://www.researchgate.net/publication/289521797_Evaluation_of_Aloe_vera_leaf_gel_as_a_Natural_Flocculant_Phytochemical_Screening_and_Turbidity_removal_Trials_of_water_by_Coagulation_flocculation
- Ortiz, V., López, G., Torres, C., y Pampillón, L. (2018). Almidón de yuca (Manihot esculenta crantz) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 7(13), 18-46. <http://doi:10.23913/ciba.v7i13.73>
- Padilla, J. y Velarde, M. (2023). *Efecto de floculantes alternativos en la mejora de la calidad del agua de potencial consumo humano en Santa María, Huaura* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <http://hdl.handle.net/20.500.14067/7620>
- Ponce, D. (2019). *Aplicación del carbón activado de la cascara de coco, en la purificación y absorción del hierro y plomo del agua de consumo de los pobladores de paragsha – Pasco 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1563>
- Renault, F., Sancey, B., Badot, M., y Crini, G. (2008). Chitosan for coagulation/flocculation processes – an eco-friendly. *European Polymer Journal*, 45(2009), 1337-1348. <http://doi:10.1016/j.eurpolymj.2008.12.027>
- Reyes, E., Cerino, J., y Suárez, M. (2006). Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa. *Repositorio académico digital Universidad Autónoma De Nuevo León*. 9(31), 59-64. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/10323>
- Rodríguez, L., Hernández, A., Rodríguez, C. (2017). Diversificación del uso industrial del yacimiento Río del Callejón: Obtención de Sulfato de aluminio para tratamiento de agua.

- Minería y Geología*, 33(2), 177-190. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S199380122017000200004&lng=es&tlng=es
- Ruiz, E., Oré, L., Vega-Guevara, M., Angulo-Romero, A., Ruiz-Huaman, C., García, G., y Díaz, J. (2022). Aloe Vera (L.) como floculante para remoción de turbidez de aguas superficiales. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 62(3), 526-545. Recuperado de <http://iaes.edu.ve/iaespro/ojs/index.php/bmsa/article/view/508/688>
- Silva, M. (2017). Extracción del mucilago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://core.ac.uk/download/pdf/323351458.pdf>
- Tejada, C., Quiñones, Edgar., Tejeda, L., & Marimón, W. (2015). Absorción de Cromo Hexavalente en soluciones acuosas por cascarras de naranja (*Citrus sinensis*). *Producción + Limpia*, 10(1), 9-21. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000100002
- Torres-Parra, C., García-Ubaque, C., García-Ubaque, J., García-Vaca, M., y Pacheco-García, R. (2017). Agua segura para comunidades rurales a partir de un sistema alternativa de filtración. *Revista salud pública*, 19(4), 453-459. <http://doi:10.15446/rsap.v19n5.56039>
- Villa, F., Villa, H., Coloma, T., Alulema, M. (2024). *Evaluación de la capacidad adsorbente de la cáscara de naranja (Citrus sinensis) y coco (Cocos nucifera) para la remoción de metales pesados (Cr, Pb)* [Tesis de postgrado, Universidad Estatal de Milagro]. <http://142.93.18.15:8080/jspui/handle/123456789/1067>
- Villena, J. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de medicina experimental y salud pública*, 35(2), 304-308. <http://doi:10.17843/rpmpesp.2018.352.3719>
- Zambrano, M. y Pérez, M. (2021). Elaboración de carbón activado a partir del endocarpio de coco para remoción de anaranjado de metilo en fase acuosa. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 39(1), 59-70. <https://doi.org/10.20937/RICA.54514>
- Zamudio, J., Reinel, J., Ibarra, D., Solaque, Ó., Cafiero, A., y Garzón, E. (2015). Desarrollo de un floculante natural para el tratamiento de aguas superficiales en hogares del sector rural del municipio de Fusagasugá. *Revista tecnología y productividad*, 1(1), 71-83. <http://doi:10.23850/24632465.248>