

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

**“OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA DE
REMOCIÓN DE TURBIDEZ Y SST, CON EL
COAGULANTE *OPUNTIA FICUS-INDICA* EN
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA
PTAR DE COLLIQUE, COMAS-LIMA, 2024”**

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Diego Alonso Barreto Cribillero

Juan Carlos Muñante Rodríguez

Asesor:

Mg. Ing. Denis Gabriel Hurtado

<https://orcid.org/0009-0009-4552-3861>

Lima - Perú

2024

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Haniel Josue Torres Joaquin
	Nombre y Apellidos


Jurado 2	Alberto Santiago Palacios Miñano
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Denis Gabriel Hurtado
	Nombre y Apellidos

Informe de Similitud

Diego Alonso Barreto Cribillero Juan Carlos Muñant...

OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ Y SST, CON EL COAGULANTE OPUNTIA FICUS-IN...

 Quick Submit

 Quick Submit

 Asesores

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3192173480

Fecha de entrega

23 mar 2025, 8:14 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

23 mar 2025, 9:36 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS_FINAL_Diego_y_Juan.docx

Tamaño de archivo

17.0 MB

89 Páginas

12.300 Palabras

65.590 Caracteres


11% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.


Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 10 words)

Top Sources

10%  Internet sources

1%  Publications

7%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a mi madre que siempre ha estado conmigo sin importar las adversidades en cada etapa de mi vida; a mis tíos, que también han sido mi soporte en cada uno de mis pasos para lograr ser el profesional que siempre quise ser; a mi abuelita, que desde el cielo me cuida y protege de quien siempre fui su orgullo. Con este trabajo rindo tributo a todo el cariño que me han dado siempre.

- Diego Barreto.

La presente investigación está dedicada a mis padres, a mi hermano, a mis abuelos en vida y a mis abuelos que en la gloria de Dios están, por ser las personas más importantes de mi vida, ya que siempre me apoyaron y dieron la comprensión necesaria para poder avanzar profesionalmente, así también, este trabajo se lo dedico a mis familiares, amigos y seres queridos que siempre confiaron en mí.

- Juan Muñante.

Agradecimiento

Agradecemos a Dios por iluminarnos a lo largo de nuestra carrera y en el proceso de la realización de este estudio. Estamos agradecidos el uno con el otro por el trabajo en equipo y apoyo mutuo que nos hemos brindado. Muchas gracias a nuestros padres por el soporte incondicional que nos otorgan siempre. Asimismo, estamos agradecidos con todos nuestros profesores que han sido parte importante en nuestra formación profesional.

Deseamos expresar un especial agradecimiento a nuestro asesor, Mg. Ing. Denis Gabriel Hurtado, porque ha sido un honor contar con su dedicación y orientación a lo largo del desarrollo de la presente investigación. Su influencia ha mejorado significativamente la calidad de nuestra investigación. Gracias por habernos brindado su experiencia y por haber compartido sus valiosos conocimientos y tiempo con nosotros.

Tabla de contenidos

JURADO EVALUADOR.....	2
Informe de Similitud	3
Dedicatoria	4
Agradecimiento.....	5
Índice de tablas	9
Índice de figuras	10
Resumen	12
Palabras Claves.....	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
1.1 Realidad problemática	13
1.2 Bases teóricas	18
1.2.1 Parámetros fisicoquímicos del agua	18
1.2.2 Coagulación.....	20
1.2.3 Aguas residuales	23
1.3 Formulación del problema.....	25
1.3.1 Pregunta de investigación.....	25
1.3.2 Preguntas específicas.....	25
1.4 Objetivos.....	25
1.4.1 Objetivo de la Investigación	25
1.4.2 Objetivos específicos.....	26

1.5 Hipótesis	26
1.5.1 Hipótesis general	26
1.5.2 Hipótesis específicas.....	26
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	28
2.1 Tipo de investigación	28
2.2. Diseño de la investigación.....	28
2.3.1. Población	30
2.3.2. Muestra	30
2.4 Materiales, técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	30
2.4.1 Materiales	30
2.4.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos y análisis de datos	31
2.4.3. Validez y confiabilidad.....	32
2.5. Métodos	33
2.5.1. Metodología para la recolección de muestra de agua.....	33
2.5.2. Metodología para la determinación de los parámetros iniciales y finales.....	33
2.6. Procedimiento.....	34
2.6.1. Ubicación del punto de muestreo y recolección de la muestra.....	34
2.6.2. Caracterización del agua residual doméstica.....	34
2.6.3. Ajuste de pH.....	35
2.6.4. Preparación de coagulante	35
2.6.5. Prueba de jarras	35

2.6.6. Filtración de muestras.....	36
2.7. Análisis estadístico de datos	36
2.8. Aspectos éticos de la investigación	37
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	38
3.1. Resultados descriptivos	38
3.1.1. Tratamiento del agua residual con <i>Opuntia ficus indica</i>	38
3.2. Resultados Inferenciales.....	40
3.2.1 Prueba estadística en el diseño Box Behnken	40
3.2.2. Gráficas Factoriales	46
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	54
4.1. Discusión	54
4.2. Conclusiones.....	59
REFERENCIAS	61
ANEXOS	67

Índice de tablas

Tabla 1 Factores de operación y niveles de estudio.....	29
Tabla 2 Matriz de diseño experimental Box-Behnken	29
Tabla 3 Lista de materiales para experimentación.....	31
Tabla 4 Técnicas e instrumentos de las etapas de la investigación	32
Tabla 5 Resultados iniciales de muestra de agua residual doméstica.....	38
Tabla 6 Resultados de remoción de Turbidez y SST en la prueba de jarras.....	38
Tabla 7 Resumen del Diseño de Box Behnken.....	40
Tabla 8 Análisis de varianza del porcentaje de turbidez	41
Tabla 9 Análisis de varianza del porcentaje de SST.....	42
Tabla 10 Resumen de modelo con datos del % de remoción de turbidez	42
Tabla 11 Resumen de modelo con datos del % de remoción de SST.....	43

Índice de figuras

Figura 1 Preparación del biocoagulante	35
Figura 2 Secuencia de la Prueba de Jarras.....	36
Figura 4 Gráfica de porcentaje de remoción de turbidez.....	39
Figura 5 Gráfica de porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales	39
Figura 6 Prueba de Normalidad de datos de remoción de turbidez.....	40
Figura 7 Prueba de Normalidad de datos de remoción de SST	41
Figura 8 Ecuación de predicción del % de remoción de turbidez	43
Figura 9 Ecuación de predicción del % de remoción de SST	43
Figura 10 Diagrama de Pareto de resultados del % de reducción de turbidez...	44
Figura 11 Diagrama de Pareto de resultados del % de remoción de SST	44
Figura 12 Gráfica de residuos de % de remoción de turbidez.....	45
Figura 13 Gráficas de residuos para porcentaje de remoción de SST	45
Figura 14 Interacción de la remoción de turbidez con los factores	46
Figura 15 Interacción de la remoción de SST con los factores	47
Figura 16 Gráfica factorial de la remoción de turbidez.....	48
Figura 17 Gráfica factorial de la remoción de SST	49
Figura 18 Gráfica de superficie de % Remoción Turbidez vs. Tiempo; Dosis .	49
Figura 19 Gráfica de superficie de % Remoción Turbidez vs. pH; Dosis.....	50
Figura 20 Gráfica de superficie de % Remoción Turbidez vs. Tiempo; pH	50
Figura 21 Gráfica de superficie de % Remoción SST vs. pH; Dosis	51

Figura 22	Gráfica de superficie de % Remoción SST vs. Tiempo; Dosis.....	51
Figura 23	Gráfica de superficie de % Remoción SST vs. Tiempo; pH.....	52
Figura 24	Gráfica de optimización de remoción de turbidez	52
Figura 25	Gráfica de optimización de remoción de SST.....	53

Resumen

En el estudio realizado a los efluentes residuales que recibe la Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Collique, se observa que presentan altos niveles de turbidez y sólidos suspendidos totales (SST), los cuales se tratan mediante el proceso de lodos activados, para luego ser utilizados en el riego de las áreas verdes del distrito. Esta planta enfrenta serios desafíos al no contar con un control específico sobre los parámetros de entrada y salida de los efluentes, pudiendo generar un posible riesgo al medio ambiente y la salud pública. En vista de este problema, la investigación tuvo como objetivo optimizar la eficiencia de remoción de turbidez y SST, con el coagulante *Opuntia ficus-indica* en las aguas residuales domésticas de la PTAR de Collique.

Para tal efecto, se empleó la metodología de superficie de respuesta con diseño experimental de Box Behnken. Se utilizaron dosis de 500 mg/L, 700 mg/L y 900 mg/L, pH de 7, de 8,5 y 10; y tiempo de agitación lenta de 10 min, 20 min y 30 min. Los resultados de la experimentación señalaron que se obtuvo una remoción máxima del 94,43 % de turbidez y un 91,38 % de SST utilizando una dosis de 500 mg/L, con un pH de 10 y a un tiempo de agitación lenta de 20 minutos.

Los resultados en mención se lograron optimizar, aumentando los porcentajes de remoción. En el caso de la turbidez, se alcanzó un 97,14 % utilizando una dosis de 661,62 mg/L y en el caso de los SST, se llegó a un 93,53 % con una dosis de 641,41 mg/L. En ambos casos, se empleó un pH de 10 y un tiempo de mezcla lenta de 21,11 minutos. Además, el análisis de varianza y las gráficas de Pareto demostraron que el pH y el tiempo de agitación lenta influyen más que la dosis en la eficiencia de remoción de turbidez y SST.

Finalmente, se concluye que el tratamiento alternativo de aguas residuales con el *Opuntia ficus-indica* es altamente eficiente, siendo una alternativa amigable con el medio ambiente y más económica frente a los procesos tradicionales.

Palabras Claves

Coagulante natural, *Opuntia ficus-indica*, turbidez, sólidos suspendidos totales, test de jarras y aguas residuales domésticas.

NOTA

El contenido de la investigación no se encuentra disponible en **acceso abierto** por determinación de los propios autores, en concordancia con en el Texto Integrado del Reglamento RENATI (artículo 12), la Directiva N°048-2020-CONCYTEC-P que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto (ALICIA) administrado por el pliego Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica - CONCYTEC y la Ley N° 29733, Ley de Protección de Datos Personales.

REFERENCIAS

- Adjovu, A. E., Stephen, H., James, D. y Ahmad, S. (2023). Medición de sólidos disueltos totales y sólidos suspendidos totales en sistemas hídricos: Una revisión de los problemas y las técnicas convencionales y de teledetección. *Teledetección*, 15 (14), 3534. <https://doi.org/10.3390/rs15143534>
- Alegre Calvo, E. (2021). *Trihalometanos en aguas de consumo humano y efectos en la salud, problemática en las industrias alimentarias y tratamientos alternativos de desinfección del agua*. [Tesis de Titulación, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/170900>
- Andía, Y. (2000). *Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico. Tratamiento de agua: Coagulación—Floculación*. <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-de-acapulco/fisicoquimica/tratamiento-de-agua-coagulacion-y-floculacion/11926159>
- Arias Gonzáles, J. L. y Covinos Gallardo, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Enfoques Consulting EIRL. <https://www.researchgate.net/publication/352157132>
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Informe técnico de resultados del primer monitoreo participativo de la calidad del agua superficial de la cuenca del río Rímac*. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/2456>
- Banchón, C., Baquerizo, R., Muñoz, D. y Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Enfoque UTE*, 7(4), 111-126. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n4.118>
- Baños, A. (24 de diciembre de 2018). *¿Qué nos dice la turbidez sobre la calidad del agua potable?*. Higiene Ambiental. Higieneambiental.com <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable>
- Caldera, Y., Laguna, K., Millán, E., González, Y. y Gutiérrez, E. (2020). *Opuntia ficus indica*: un coagulante alternativo para el tratamiento de aguas con alta turbidez y pH ácido. *Impacto científico*, 14(1), 127-137. <https://biblat.unam.mx/es/revista/impacto-cientifico/articulo/opuntia-ficus-indica->

un-coagulante-alternativo-para-el-tratamiento-de-aguas-con-alta-turbidez-y-ph-
acido

- Carrasquero S., Martínez M. F., Castro M. G., López Y., Díaz A. y Colina G. (2019). Remoción de turbidez usando semilla de *Tamarindus indica* como coagulante en la potabilización de aguas. *Bases de la Ciencia*, 7(1), 25-38. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v4i1.1424
- Carril Flores, A. del R. B. O., Gómez García, Y. J. y Vásquez Mendoza, H. (2020). *Efecto coagulante -floculante del cladodio de tuna (Opuntia ficus indica) y del endospermo de moringa (Moringa oleífera lam) en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas de la PTAR del sector 9, distrito de Manantay, 2018*. [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Ucayali]. <https://hdl.handle.net/20.500.14621/4605>
- Chuiza-Rojas, M. R., Calderón, S. H., Vargas-Escobar, J. A., Borja-Mayorga, D. F. y Rennola-Alarcón, L. (2019). Clarificación de un agua residual de una industria láctea mediante coagulación con tuna (*Opuntia ficus indica*). *Ciencia e Ingeniería*, 40(3), 245–252. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507567854003>
- Contreras Lozano, K. P., Mendoza, J. Y. A., Salcedo Mendoza, G., Olivero Verbel, R. y Mendoza Ortega, G. P. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Producción + Limpia*, 10(1), 40–50. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000100004&lang=es
- Cuadro Santana, W. y Rodas Haz, J. (2018). *Alternativa para sustitución de coagulantes metálicos aplicando almidón de yuca y moringa oleífera en tratamiento de aguas superficiales*. [Trabajo de titulación, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/33216>
- Cubillos Sierra, D., Huertas Huertas, D. y Contreras León, H. (2018). Evaluación de la eficiencia de la remoción de materia orgánica en un biodigestor tubular anaerobio a escala piloto. *Revista Ciencia e Ingeniería.*, 5(1), 43–57. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8742434>
- Dkhissi, O., El Hakmaoui, A., Chatoui, M., Bouyakhsass, R., Bakraouy, H., Kurniawan, T. A., Anouzla, A., Jada, A. y Souabi, S. (2023). Vegetable oil refinery wastewater

- treatment by using the cactus as a bio-flocculant in the Coagulation-Flocculation Process. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(5), 322. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06337-1>
- Fuentes Molina, N., Molina Rodríguez, E. J. y Patricia Ariza, C. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 11(2), 41–54. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552016000200005
- Fúquene, D. M. y Yate, A. V. (2018). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *Documentos de trabajo ECAPMA*, 2(1). <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.2771>
- HACH. (14 de mayo de 2024). *¿Cuál es la diferencia entre las unidades de turbidez NTU, FNU, FTU y FAU? ¿Qué es una JTU?* <https://support.hach.com/myhach/s/article/KA-es-ES-TE407-1020884?language=es>
- Hadadi, A., Imessaoudene, A., Bollinger, J. C., Amine Assadi, A., Amrane, A. y Mouni, L. (2022). Comparison of four plant-based bio-coagulants Performances against Alum and Ferric Chloride in the Turbidity Improvement of Bentonite Synthetic Water. *Water*, 14(20). <https://doi.org/10.3390/w14203324>
- HANNA instruments. (29 de marzo de 2019). *¿Qué es la turbidez?* <https://hannainst.com.mx/blog/que-es-la-turbidez/>
- Hernández Sampieri, R. y Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (1era ed.)*. Mc Graw Hill educación. <http://repositorio.uasb.edu.bo/handle/54000/1292>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación (6ta ed.)*. McGraw Hill. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2>
- Instituto del Agua. (17 de enero de 2024). *Turbidez en aguas residuales: Un análisis profundo sobre la claridad del agua*. <https://institutodelagua.es/aguas->

residuales/turbidez-en-aguas-residualesaguas-residuales/

Instituto Nacional de Calidad. (2016). *Aguas residuales. Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado*. (Norma Técnica Peruana 214.060:2016).

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2021). *Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2021*. <https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/3280963-peru-anuario-de-estadisticas-ambientales-2021>

Jaco, E., Gómez, W., Loroña, F., Zamora, N. y Huaman, N. (2022). Efficiency of *Opuntia ficus indica* as a coagulant for gray wastewater treatment and its application in a pilot system. *Ingeniería del Agua*, 26(3), 157–171. <https://doi.org/10.4995/ia.2022.17478>

Jacobo Salinas, P. A., Muguerza Salazar, N. Y. y Velasquez Marín, M. (2023). Importance of the natural coagulant *Opuntia Ficus-Indica* for the removal of turbidity in water, in the period from 2012 to 2022: A review of the scientific literature. *LACCEI*, 1(8). <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.528>

Lavado Meza, C., Sun Kou, R. y Castro Arroyo, T. (2020). Biosorción del colorante azul de metileno usando los cladodios de la tuna (*Opuntia ficus indica*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(3), 231–245. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i3.297>

Lobatón, M. y Hualpa, L. (2019). *Comparación de la eficiencia en la depuración de efluentes residuales de industrias de colapez, utilizando un tratamiento convencional y un alternativo de electrocoagulación en el PIRS -2019*. [Tesis de titulación, Universidad Católica de Santa María]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/9566>

Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria. *CienciAmérica*, 1(3), 34–39. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>

Methneni, N., Anthonissen, R., Van de Maele, J., Trifa, F., Verschaeve, L., Mansour, H. B. y Mertens, B. (2020). Assessment of natural coagulants to remediate Tunisian textile wastewater by combining physicochemical, analytical, and toxicological data. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(32), 40088–

40100. <https://doi.org/10.1007/S11356-020-10000-1>

- Mohammed, A. Y. A., Bady, Z. A. M., Fahmy, A. M. y Ahmed, A. M. M. (2020). Investigation of the potential of *Opuntia Ficus-Indica* powder for sewage treatment. *International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)*, 10(10), 179-181. <http://dx.doi.org/10.29322/IJSRP.10.10.2020.p10626>
- Nharingo, T. y Moyo, M. (2016). Application of *Opuntia ficus-indica* in bioremediation of wastewaters. A critical review. *Journal of Environmental Management*, 166, 55–72. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2015.10.005>
- Nharingo, T., Zivurawa M. T. y Guyo U. (2015). Exploring the use of cactus *Opuntia ficus indica* in the biocoagulation–flocculation of Pb(II) ions from wastewaters. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(10), 3791–3802. <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0815-0>
- Olivero Verbe, R. E., Aguas Mendoza, Y. del R., Mercado Martínez, I. D., Casas Camargo, D. P. y Montes Gazabón, L. E. (2014). Utilización de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *Avances Investigación En Ingeniería*, 11(1), 70–75. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.302>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sial-sialtrujillo/archivos/public/docs/3171.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. (24 de Julio de 2018). *Los bosques se pasean por las pasarelas de la moda*. <https://news.un.org/es/story/2018/07/1438312>
- Ramos Galarza, C. A. (2020). Alcances de una investigación. *CienciAmérica*, 9(3), 1–6. <https://doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>
- Razuri Malqui, K. E. (2017). *Disminución del contenido de la DBO5 y la DQO mediante coagulantes naturales (Aloe Vera L. y Opuntia ficus indica) en las aguas del canal de regadío E-8 Chuquitanta – San Martín de Porres*. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional - UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/3588>
- Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Ediciones de

la U. <http://hdl.handle.net/11407/2568>

TVP Perú (5 de noviembre de 2022). *Clausuran puntos de descarga de aguas residuales clandestinos en río Chillón en Comas.*

<https://www.tvperu.gob.pe/noticias/locales/clausuran-puntos-de-descarga-de-aguas-residuales-clandestinos-en-rio-chillon-en-comas>

Vaca-Mier, M., López-Callejas, R., Flores-Rodríguez, J., Terres Peña, H., Lizard Ramos, A. y Rojas-Valencia, N. (2014). Aplicación del Nopal (*Opuntia ficus indica*) como coagulante primario de aguas residuales. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica*, 7(3), 7. <http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/viewFile/46815/42201>

Villabona Ortiz, Á., Paz Astudillo, I. C. y Martínez García, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(1), 137-144. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-34752013000100014&script=sci_arttext

Zezulka, Š., Maršálek, B., Maršálková, E., Odehnalová, K., Pavlíková, M. y Lamaczová, A. (2024). Suspended particles in water and energetically sustainable solutions of their removal – A review. *Procesos*, 12 (12), 2627. <https://doi.org/10.3390/pr12122627>