



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“ELECTROCOAGULACIÓN DE AGUAS RESIDUALES
PARA LA REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE DE
LA INDUSTRIA TEXTIL UNDERFLAME S.A.C, EN EL
DISTRITO DE PUENTE PIEDRA, LIMA 2024”

Tesis para optar al Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Cesar Julian Gonzalez Teves

Asesor:

Mg. Ing. Ronald Antonio, Alvarado Obeso

<https://orcid.org/0000-0001-7264-6490>

Lima - Perú

2024

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Luis Enrique Alva Diaz
	Nombre y Apellidos

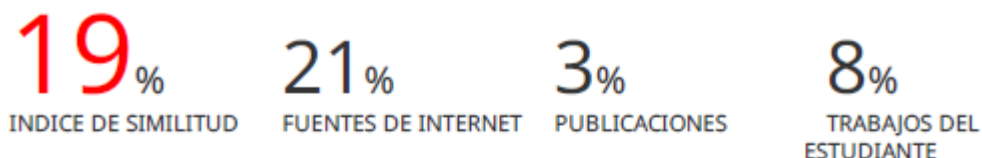
Jurado 2	Roberto Carlos Chuquilin Goicochea
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Ronald Antonio Alvarado Obeso
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD

CESAR JULIAN GONZALEZ TEVES - 02042024.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	6%
2	www.scribd.com Fuente de Internet	4%
3	repositorio.upagu.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	aconsa-lab.com Fuente de Internet	1%
5	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	1%
6	repositorio.ucp.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorioinstitucional.buap.mx Fuente de Internet	1%

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	12
CAPITULO II: METODOLOGÍA	34
CAPITULO III: RESULTADOS	48
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN	60
REFERENCIAS	69
ANEXOS	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Definiciones del tipo y diseño de investigación.....	34
Tabla 2. Factores y Niveles de los experimentos.....	35
Tabla 3. Matriz de distribución de los experimentos	36
Tabla 4. Distribución de las réplicas de los experimentos	37
Tabla 5. Variables del experimento	37
Tabla 6. Factores y Niveles de operatividad de los experimentos	40
Tabla 7. Datos de la Población para muestreo, experimentación y análisis.....	43
Tabla 8. Resultado de la aplicación de fórmula para obtener la cantidad de muestras de los efluentes ...	45
Tabla 9. Resultado de cantidad de muestras recogidas para ser llevadas al laboratorio	45
Tabla 10. Resultados del análisis de muestreo del efluente	48
Tabla 11. Resultados de los experimentos y sus replicas.....	49
Tabla 12. Porcentaje de remoción de cromo hexavalente VS Corriente (0.25 A)	50
Tabla 13. Porcentaje de remoción de cromo hexavalente VS Corriente (0.55 A) ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 14. Resultados de determinación de porcentaje de remoción VS pH = 4 y Tiempo Variable.	53
Tabla 15. Resultados de determinación de porcentaje de remoción VS pH = 9 y Tiempo Variable.	55
Tabla 16. Resultados de la concentración de cromo hexavalente (ppm), \bar{X} Replica Experimento, #1 y #2 - después del tratamiento con electrocoagulación.....	57

Tabla 17. Porcentaje (%) de remoción de cromo hexavalente después del tratamiento de electrocoagulación	58
Tabla 18. Matriz de consistencia.....	79
Tabla 19. Matriz de Operacionalización de Variables	80
Tabla 20. Resumen de análisis de Varianza de un factor de los experimentos	81
Tabla 21. Análisis de Varianza para F y valor crítico.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1. Flujograma del tratamiento y sus variables de operación.....	35
Figura. 2. Aplicación de la fórmula de porcentaje (%) de remoción de Cromo Hexavalente.	39
Figura. 3. Grafico del resultado del análisis de muestreo del efluente	49
Figura 4. Porcentaje de remoción de cromo hexavalente VS Corriente constante (0.25 A).....	51
Figura 5. Porcentaje de remoción de cromo hexavalente VS Corriente constante (0.55 A).....	52
Figura. 6. Resultados de determinación de porcentaje de remoción VS pH = 4, corriente = 0.25 A y Tiempo Variable.	53
Figura 7. Resultados de determinación de porcentaje de remoción VS pH = 4, corriente = 0.55 A y Tiempo Variable.	54
Figura 8. Resultados de determinación de porcentaje de remoción VS pH = 9, corriente = 0.25 A y Tiempo Variable.	55
Figura. 9. Resultados de determinación de porcentaje de remoción VS pH = 9, corriente = 0.55 A y Tiempo Variable	56
Figura. 10. Porcentaje (%) de remoción de cromo hexavalente después del tratamiento de electrocoagulación.	59
Figura. 11. Plano de localización Planta producción esc. 1:5000 de local de producción de UNDERFLAME S.A.C.	83
Figura. 12. Ficha de Cadena de Custodia de Laboratorio	84

RESUMEN

El objetivo principal de la presente tesis fue aplicar la electrocoagulación con electrodos de aluminio en un sistema de flujo continuo como método de tratamiento de aguas residuales para remover cromo hexavalente, también llamado Cromo VI, generados de procesos industriales, presentes en efluentes textiles, método que consiste en la aplicación de corriente eléctrica entre dos electrodos de aluminio en un medio acuoso conductor, que produce iones metálicos in situ que actúan como floculantes y precipitan contaminantes disueltos o en suspensión del efluente, la presente investigación es de tipo cuantitativo, experimental y explicativa.

Primeramente, se establece la etapa de diseño de experimental, para el cual se definen los factores controlables (corriente, pH y tiempo de operación), luego, el diseño para obtener datos experimentales, Factores de Proceso e indicadores, posteriormente, se establece los métodos de análisis como el Análisis de Varianza, en la penúltima etapa se identifica la fórmula para definir el porcentaje de remoción de cromo 6 de las aguas tratadas, por último, se obtienen los resultados, donde se puede evidenciar que en un medio de pH=4, con una intensidad de corriente de 5.5 Amperios y un tiempo de operación de 20 minutos se lograron mejores resultados de remoción y eficiencia.

PALABRAS CLAVES: Electrocoagulación, industria textil, tratamiento de aguas residuales, Cromo VI, Cromo hexavalente.

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° 004-2016-CONCYTEC-DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, así como la Ley N° 29733, Ley de Protección de Datos Personales.

REFERENCIAS

- Aconsa, E. de comunicación. (2021, mayo 25). *Parámetros químicos de calidad del agua: ¿Cuáles incluye la normativa?* Aconsa. <https://aconsa-lab.com/parametros-quimicos-calidad-agua-cuales-incluye-la-normativa/>
- Aguilar, E. (2015). Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 18(35), Article 35. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v18i35.11843>
- Aguilar, F., & Palomino. (2018). Evaluación de un Sistema de Electrocoagulación de Flujo Continuo para la Remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre-Huachipa-2018. *Universidad César Vallejo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/27948>
- Aguirre, J., Julcarima Laura, J. P., & Ramos Auccasi, C. P. (2022). *Reducción del contenido de cromo hexavalente por electrocoagulación en las aguas residuales de una empresa de curtiembre*. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/7961>
- Apraez, S., & Garcia, J. (2015). *ANÁLISIS DE LA ELECTROCOAGULACIÓN COMO TECNOLOGÍA EFICIENTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA TEXTIL*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/33/
- Arboleda, J. M., & Herrera, P. J. (2015). *Evaluación de un Proceso de Electrocoagulación en un Reactor Tipo Batch para la Remoción de Cromo Hexavalente (Cr⁶⁺) con Electroodos de Aluminio – Aluminio y de Hierro – Aluminio en Condiciones de Laboratorio* [Bachelor thesis, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/613>

- Argumedo, A. (2019). *Diseño y construcción de un reactor BATCH para la producción de biodiesel como combustible de origen orgánico producido a partir de aceites vegetales variando la relación molar aceite/alcohol*.
<http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/5122>
- Arias-Odón, F. (2014). *EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 6a EDICIÓN*.
- Armijos, B. (2015). *Aplicación de tratamiento a efluentes de Industrias Textil mediante Electrocoagulación*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/19755>
- Azario, R. R., Salvarezza, S. A., Ibarra, A., & García, M. D. C. (2010). Efecto del Cromo Hexavalente y Trivalente sobre el Crecimiento de Escherichia coli ATCC 35218. *Información tecnológica*, 21(1). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642010000100009>
- Babativa, C. A. (2017). *Investigación cuantitativa*. Bogotá : Fundación Universitaria del Área Andina , 2017. <https://digitk.areandina.edu.co/handle/areandina/3544>
- Baldeón, H., & Carrión, L. (2015). Remoción de cromo de agua residual de la industria textil con filtros de arcilla. *Universidad Nacional del Centro del Perú*.
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3727>
- Barreto, P. (2020). *PROTOCOLO DE MONITOREO DE AGUA. 01*.
- Bauer, J. L., Castro, J. C., & Chung, B. (2017). *El Agua en el Perú: Situación y Perspectivas, CAPITULO IV - Calidad del Agua*. Centro de Investigación en Geografía Aplicada | PUCP. <https://ciga.pucp.edu.pe>

Berruti, I., Nahim-Granados, S., Abeledo-Lameiro, M. J., Oller, I., & Polo-López, M. I. (2022).

Recent advances in solar photochemical processes for water and wastewater disinfection.

Chemical Engineering Journal Advances, 10, 100248.

<https://doi.org/10.1016/j.ceja.2022.100248>

Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodríguez, D., & Sandoval, J. (2015). Tratamientos para

la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales:

Una revisión. *Ingeniería y Región*, 13, 73-90.

Chico, D., Aldaya, M. M., flachsbarth, I., & Garrido, A. (2014). *Integrated Water Resources*

Management in the 21st Century: Revisiting the paradigm - Capitulo VI. CRC Press.

Comisión Nacional del Agua de Mexico. (2017). *Las propiedades del Agua*. gob.mx.

<http://www.gob.mx/conagua/articulos/las-propiedades-del-agua?idiom=es>

Cruz, M. S., & Yamir, T. (2019). Sistema combinado de electrocoagulación y filtro rotatorio

utilizando endocarpio de coco (Cocos nucifera) para la remoción de cromo (VI) y DQO

de efluentes emitidos por una curtiembre. *Repositorio Institucional - UCV*.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/48840>

Escuela Técnica superior de ingeniería industrial de la Universidad de Salamanca. (2024).

intensidad de una corriente eléctrica—Diccionario de Ingeniería Eléctrica.

<https://electricidad.usal.es/Principal/Circuitos/Diccionario/Diccionario.php?b=id:103>

Febres, J. P., & Montesdeoca, K. S. (2020). *Aplicación de tecnología de electrocoagulación para*

remoción de metales pesados: Níquel, Colbato, Cromo, Hexavalente y Dqo en efluente

textil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/51080>

- Fellaou, S., Ruiz-Garcia, A., & Gourich, B. (2021). Enhanced exergy analysis of a full-scale brackish water reverse osmosis desalination plant. *Desalination*, 506, 114999. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.114999>
- Frías, T. D. M. (2015). *EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN EL SECTOR PUERTO DE PRODUCTORES RÍO ITAYA, LORETO – PERÚ 2014 -2015*.
- Gasmi, A., Elboughdiri, N., Ghernaout, D., Hannachi, A., Halim, K., & Khan, M. (2022). Electrocoagulation process for removing dyes and chemical oxygen demand from wastewater: Operational conditions and economic assessment -a review. *Desalination and Water Treatment*, 271, 74-107. <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28792>
- Gonzalez, J. (2023). *Tecnologías avanzadas del tratamiento de agua*.
- Instituto de investigación científica de la Universidad de Lima. (2018). *DESCONTAMINACIÓN DEL AGUA CON ELECTROCOAGULACIÓN*. <https://www.ulima.edu.pe/node/11871>
- Instituto de Salud Publica de Mexico. (2020). *Importancia del agua para el buen funcionamiento de nuestro organismo*. <https://www.insp.mx/insp/cuidando-tu-salud/importancia-agua.html>
- Instituto Nacional del Cancer del Gobierno de Estados Unidos. (2015). *Compuestos de cromo hexavalente—NCI (nciglobal,ncienterprise) [cgvArticle]*. <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/cromo>
- Jyoti, D., Sinha, R., & Faggio, C. (2022). Advances in biological methods for the sequestration of heavy metals from water bodies: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 94, 103927. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2022.103927>

- Karami, T., Elyasi, S., & Amani, T. (2018). Modeling and optimizing of electrocoagulation process in treating phenolic wastewater by response surface methodology: Precise evaluation of significant variables. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15(11), 2389-2398. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1539-0>
- Luna, C. F. (2020). *Evaluación de la contaminación generada por el agua residual textil vertida al río Atoyac en Tlaxcala*. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/10264>
- Macias, S., & Arriola, E. (2020). *REMOCIÓN POR ELECTROCOAGULACIÓN DE Cr (VI) PRESENTE EN AGUAS RESIDUALES REALES DE UNA INDUSTRIA DE GALVANOPLASTIA*.
- Magaña-Irons, L., Rojas-Vargas, A., González-Díaz, Y., Ojeda-Armaignac, E., Magaña-Irons, L., Rojas-Vargas, A., González-Díaz, Y., & Ojeda-Armaignac, E. (2020). Remoción de contaminantes del residual lácteo por electrocoagulación con electrodos de aluminio. *Tecnología Química*, 40(1), 17-34.
- Manjit, S., Upadhyay, R., Sharma, V. P., Ahlawat, O. P., Kumar, S., Kamal, S., Arora, B., & Gupta, M. (2014). *Proceedings of the 8th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMP8) 2014 Volume II*.
- Mendocilla, C. E. (2018). Influencia del pH y el tiempo en la remoción de cromo hexavalente presente en soluciones acuosas utilizando la electrocoagulación. *Universidad César Vallejo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25059>
- Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento. (2013). *Resolución Ministerial N.º 273-2013-Vivienda*. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/13762-273-2013-vivienda>

Ministerio del Interior de la Republica de Argentina. (2021). *Metales pesados*. Argentina.gob.ar.

<https://www.argentina.gob.ar/interior/ambiente/control/productos-quimicos/metales-pesados>

Murillo, A. P. (2016). *Propuesta de tratamiento para el agua residual industrial generada por procesos de cromado mediante electrocoagulación*.

<http://52.0.229.99/handle/20.500.11839/428>

Nwabanne, J., Igwegbe, C., & Okpo, S. (2018). *Removal of Copper, Nickel, and Chromium from Simulated Wastewater using Electrocoagulation Technique*.

Ogando, F. I. B., Aguiar, C. L. de, Viotto, J. V. N., Heredia, F. J., & Hernanz, D. (2019).

Removal of phenolic, turbidity and color in sugarcane juice by electrocoagulation as a sulfur-free process. *Food Research International*, 122, 643-652.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.039>

OMEGA PERÚ. (2022, septiembre 16). Omega Perú S.A. - ¿Qué es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y cómo medirla? *Omega Perú S.A.* <https://omegaperu.com.pe/que-es-la-demanda-bioquimica-de-oxigeno-dbo-y-como-medirla/>

Pabón Guerrero, S. E., Benítez Benítez, R., Sarria Villa, R. A., & Gallo Corredor, J. A. (2020).

Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre ciencia e ingeniería*, 14(27), 9-18.

<https://doi.org/10.31908/19098367.1734>

Peng, H., Leng, Y., & Guo, J. (2019). Electrochemical Removal of Chromium (VI) from

Wastewater. *Applied Sciences*, 9(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/app9061156>

- Perales, J. (2019). Influencia del proceso de electrocoagulación en la remoción de cromo hexavalente (Cr^{+6}) en soluciones acuosas a nivel de laboratorio en la Universidad Continental, 2019. *Universidad Continental*.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7711>
- Pérez, R. D. (2018). *ESTUDIO DE LOS CORTES DE ENERGÍA DEL BAR MANHATTAN UBICADO EN LA CALLE CALDERÓN Y 2DA CALLE EN EL MES DE MAYO DEL 2018* [bachelorThesis, BABAHOYO]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/4758>
- Piña-Soberanis, M., Martín-Domínguez, A., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Guevara-Lara, A., & García-Espinoza, J. E. (2017). Revisión de variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación. *Revista mexicana de ingeniería química*, 10(2), 257-271.
- Prasetyaningrum, A., Jos, B., Dharmawan, Y., Prabowo, B. T., Fathurrazan, M., & Fyrouzabadi. (2018). The influence of electrode type on electrocoagulation process for removal of chromium (VI) metal in plating industrial wastewater. *Journal of Physics: Conference Series*, 1025(1), 012126. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1025/1/012126>
- Rodríguez, E. A. (2016). *Determinación de la eficiencia de remoción de Colorantes presentes en el Efluente de una Industria de Textiles de Tela de Algodón mediante Electrocoagulación*.
- Rodriguez, M. A., Agudelo, R., & Sanchez, A. (2023). *Electrocoagulación con radiación UV para remover DQO, COT y SDT en aguas residuales dela industria textil empleando electrodos de grafito* / *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*.
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/index>

- Rojas-Vargas, A., Ricardo-Riverón, A., Penedo-Medina, M., Ojeda-Armaignac, E., Rojas-Vargas, A., Ricardo-Riverón, A., Penedo-Medina, M., & Ojeda-Armaignac, E. (2020). Remoción de níquel por electrocoagulación del sistema Ni(II)-NH₃-CO₂-SO₂-H₂O con electrodos de aluminio. *Tecnología Química*, 40(2), 393-412.
- Rubí, H., Soto, M., & Domínguez Acosta, M. (2022). Electrocoagulación de iones de metales pesados en aguas residuales: Una revisión. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 19(2), 3.
- Ruiz, J., & Sanchez, L. M. (2019). Aplicación de aireación en la electrocoagulación para la remoción de Cr (VI) Y DQO en aguas residuales de curtiembre. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/51182>
- SEMARNAT. (2016). *Indicadores de calidad del agua—Gobierno de Mexico—Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales—SEMARNAT, Dirección General de Estadística e Información Ambiental, Noviembre, 2015, con base en: Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, Octubre, 2005.*
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2016/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet28b9.html
- Solís, C. A., Vélez, C. A., & Ramírez, J. S. (2016, junio 1). *Tecnología de membranas: Desarrollo histórico. | Entre Ciencia e Ingeniería | EBSCOhost.*
<https://openurl.ebsco.com/contentitem/gcd:116329217?sid=ebsco:plink:crawler&id=ebsco:gcd:116329217>
- Solís, C. A., Velez, C. A., & Ramirez-Navaz, J. S. (2017). *Tecnología de membranas: Ultrafiltración.* <http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909->

83672017000200026&script=sci_arttext

- Soncco, M. D. (2017). Proceso de electrocoagulación para la disminución de contaminantes de los efluentes de la empresa textil, Chorrillos—2017. *Universidad César Vallejo*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/16634>
- Sumalave, C. (2022). Biosorción de cromo de efluentes de la industria textil mediante el uso de microalgas en la ciudad de Arequipa—2022. *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91695>
- Tejada, C., Quiñones, E., Tejada, L., & Marimón, W. (2015). Absorção de cromo hexavalente em soluções aquosas por cascaras de laranja (*Citrus sinensis*). *Producción + Limpia*, 10(1), 9-21.
- Toro, J. P. A., & Alfonso, W. J. W. (2016). *Reducción de Aluminio, Cromo y Coliformes Presentes en Agua Residual del Embalse del Muña sector San Benito, por Técnica de Electrocoagulación*.
- Universidad de Chile. (s. f.). *Ácido-Base, pH y soluciones amortiguadoras – Aprendizaje U. Chile*. Recuperado 29 de febrero de 2024, de <https://aprendizaje.uchile.cl/recursos-para-aprender-ciencias-basicas-y-matematicas/quimica/acido-base/>
- Xicota, E. (2015). *Impactos del proceso de teñido textil*. ExpokNews.
<https://www.expoknews.com/impactos-del-proceso-de-tenido-textil/>
- Ye, Z., Yin, X., Chen, L., He, X., Lin, Z., Liu, C., Ning, S., Wang, X., & Wei, Y. (2019). An integrated process for removal and recovery of Cr(VI) from electroplating wastewater by ion exchange and reduction–precipitation based on a silica-supported pyridine resin. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117631.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117631>

Yuan, J., Passeport, E., & Hofmann, R. (2022). Understanding adsorption and biodegradation in granular activated carbon for drinking water treatment: A critical review. *Water Research*, 210, 118026. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.118026>