



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE REMOCIÓN DE CROMO MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN PARA CURTIEMBRES, TRUJILLO - 2022”

Tesis para optar al título profesional de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

**Autora:**

Milagros Nyraida Valle Alfaro

**Asesora:**

M.Sc. Marieta Eliana Cervantes Peralta

<https://orcid.org/0000-0001-9405-7048>

Trujillo - Perú

**2022**

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	<b>FERNANDO ENRIQUE UGAZ ODAR</b>	18098186
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>LUIS ENRIQUE ALVA DIAZ</b>	<b>43679478</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>LIANA YSABEL CARDENAS GUTIERREZ</b>	<b>40221041</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

**Tabla de contenido**

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
<b>1.1. Realidad problemática</b>	<b>11</b>
<b>1.2. Formulación del problema</b>	<b>24</b>
<b>1.3. Objetivos</b>	<b>24</b>
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	25
<b>2.1. Población y muestra</b>	<b>26</b>
<b>2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos</b>	<b>26</b>
<b>2.3. Procedimiento</b>	<b>31</b>
<b>2.4. Consideraciones éticas</b>	<b>32</b>
CAPÍTULO III: RESULTADOS	33
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	69
REFERENCIAS	75
ANEXOS	82

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Matriz de Homogenización .....	27
<b>Tabla 2.</b> Matriz de búsqueda de información .....	31
<b>Tabla 3.</b> Codificación de artículos seleccionados para análisis. ....	33
<b>Tabla 4.</b> Eficiencias de Remoción de Cromo de los Procesos de Electrocoagulación. .	38
<b>Tabla 5.</b> Matriz de homogenización de datos cualitativos de electrocoagulación.....	40
<b>Tabla 6.</b> Matriz de homogenización de datos cuantitativos de electrocoagulación.....	43
<b>Tabla 7.</b> Distribución de Frecuencia del Tipo de Muestra Tratada. ....	45
<b>Tabla 8.</b> Distribución de Frecuencias del tipo y material del reactor. ....	46
<b>Tabla 9.</b> Eficiencias de remoción de cromo en reactor tipo batch de plexiglás.....	47
<b>Tabla 10.</b> Distribución de frecuencia de la dinámica de la solución. ....	47
<b>Tabla 11.</b> Estadística del Uso y No uso de Agitador Magnético en el Sistema de EC..	48
<b>Tabla 12.</b> Distribución de frecuencias del tipo de conexión de electrodos. ....	49
<b>Tabla 13.</b> Distribución de frecuencias de la naturaleza de Cromo. ....	49
<b>Tabla 14.</b> Eficiencias de remoción de cromo según su naturaleza. ....	50
<b>Tabla 15.</b> Distribución de frecuencias del Material de Electrodo. ....	50
<b>Tabla 16.</b> Eficiencias de remoción de cromo según el material de electrodo.....	51
<b>Tabla 17.</b> Variables de condiciones de diseño para un sistema de electrocoagulación.	52
<b>Tabla 18.</b> Datos del análisis del tiempo de contacto en la remoción de cromo.....	53
<b>Tabla 19.</b> ANOVA: Tiempo de Contacto Vs Agrupación de Concentración Inicial. ...	55
<b>Tabla 20.</b> Método Tukey al 95% de confianza: Tiempo de Contacto. ....	55
<b>Tabla 21.</b> Estadística del tiempo de contacto según grupo de concentración inicial.....	56

<b>Tabla 22.</b> Datos del análisis del pH inicial en la remoción de cromo. ....	57
<b>Tabla 23.</b> ANOVA: porcentaje de remoción de Cromo Vs Agrupación de pH inicial.	60
<b>Tabla 24.</b> Método Tukey al 95% de confianza: pH inicial de la solución tratada. ....	60
<b>Tabla 25.</b> Estadística descriptiva del pH inicial y % de Remoción. ....	61
<b>Tabla 26.</b> Resumen de pruebas estadísticas y conclusiones de las variables cuantitativas del diseño de electrocoagulación. ....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Flujograma del proceso de selección de artículos en la revisión sistemática	28
<b>Figura 2.</b> Distribución de publicaciones según país. ....	37
<b>Figura 3.</b> Distribución de publicaciones según año. ....	37
<b>Figura 4.</b> Correlación de Pearson: Tiempo de contacto y Concentración Inicial. ....	54
<b>Figura 5.</b> Diferencia de medias del tiempo de contacto. ....	56
<b>Figura 6.</b> Correlación de Pearson: pH inicial vs Remoción (%) ....	59
<b>Figura 7.</b> Porcentajes de Remoción de Cromo según la escala de pH de la solución. ..	61
<b>Figura 8.</b> Vista Frontal del diseño de Electrocoagulación. ....	64
<b>Figura 9.</b> Vista 45° del diseño de Electrocoagulación. ....	65
<b>Figura 10.</b> Medidas de la celda de plexiglás escala laboratorio en Reactor tipo Batch	66
<b>Figura 11.</b> Elementos principales del sistema de electrocoagulación. ....	67
<b>Figura 12.</b> Medidas del electrodo de Hierro y Componentes del Reactor tipo Batch ..	68

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Porcentaje de Remoción de Contaminantes.....	<b>38</b>
-----------------------------------------------------------------	-----------

## RESUMEN

Las curtiembres del departamento de La Libertad, han aumentado significativamente y con ello la búsqueda de tecnologías para el tratamiento de sus residuos, en especial por los efluentes de cromo. El objetivo de la tesis es la elaboración de un sistema de remoción de cromo mediante electrocoagulación para curtiembres. La investigación del tipo descriptivo, consiste en una revisión documental de las tecnologías de remoción mediante electrocoagulación, así como del análisis estadístico sobre los factores que condicionan este proceso. Los resultados mostraron mayores remociones cuando el pH inicial estuvo entre valores de 5-8, con un tiempo de contacto de 27 minutos y tiempos de 75 minutos, para concentraciones menores y mayores a 1000 ppm de cromo, respectivamente. Además, los electrodos de Hierro demostraron tener en promedio una eficiencia de remoción del 99,15 %, asimismo se demostró que los factores que influyen en la electrocoagulación son la densidad de corriente, conductividad, cantidad de electrodos y material de reactor. Finalmente, se diseñó un sistema de remoción de cromo, siendo este un reactor tipo batch de plexiglás de una capacidad de 1 litro, con dos electrodos fijos de hierro en conexión monopolar en paralelo, con una fuente de alimentación de 1 a 30 voltios.

**PALABRAS CLAVES:** Tratamiento de aguas residuales, electrocoagulación, remoción, cromo, diseño.



## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales**

## REFERENCIAS

- Acosta Niño, G. E., Coy Barrera, C. A., Bourdón García, A., & Cuervo Lumbaque, E. (2013). La Electrocoagulación como un Tratamiento Eficiente para la Remoción de Metales Pesados Presentes en Aguas Residuales. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 9(2), Art. 2. <https://doi.org/10.18359/rfcb.389>
- 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), Art. 35. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v18i35.11843>
- Aguilar Mancco, F. R., & Palomino Cartolin, A. (2018). *Evaluación de un Sistema de Electrocoagulación de Flujo Continuo para la Remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre-Huachipa-2018*. [Thesis, Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/27948>
- Arias Cepeda, W. G. (2013). *Remoción de Cromo (III) y DQO a través de electrocoagulación en aguas residuales de la industria curtiembre haciendo uso racional de la energía* [Master's Thesis, Universidad Libre]. <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/7834>
- Beltrán González, K. E. (2016). *Diseño conceptual y construcción de un electrocoagulador controlado por Labview* [Thesis, Universidad Santo Tomas]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2959>
- Bermudez-Colina, Y., Mejías-Acosta, A. A., Bermudez-Colina, Y., & Mejías-Acosta, A. A. (2018). Medición de la responsabilidad social empresarial: Casos en pequeñas

- empresas Latinoamericanas. *Ingeniería Industrial*, 39(3), 315-325.  
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/45457>
- Bolaños Díaz, R., & Calderón Cahua, M. (2014). Introducción al meta-análisis tradicional. *Revista de Gastroenterología del Perú*, 34(1), 45-51.  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1022-51292014000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1022-51292014000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Campos Cuenca, V. J. J. (2013). *Análisis y mejora de procesos de una curtiembre ubicada en la ciudad de Trujillo* [Thesis, Pontificia Universidad Católica del Perú].  
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/4898>
- Carhuancho Alcantara, H. M., & Salazar Escobar, J. L. (2015). *Estudio del efecto de la electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales a nivel de laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales convicorti en la ciudad de trujillo—La libertad*. [Thesis, Universidad Nacional de Trujillo].  
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3590>
- Carreño Sayago, U. F. (2016). Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(2), 74-81.  
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.52271>
- Chávez Porras, Á. (2010). Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(17), 41-49.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1692-33242010000200004&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1692-33242010000200004&lng=en&nrm=iso&tlng=es)

- Gómez-Luna, E., Fernando-Navas, D., Aponte-Mayor, G., & Betancurt Buitrago, L. A. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *DYNA*, 81(184), 158-163. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.37066>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición). McGraw-Hill Education. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2005). *Políticas e instrumentos para mejorar la gestión ambiental en las PYMES y promover la oferta de bienes y servicios: el caso mexicano* (Serie N°95). Naciones Unidas. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/5633>
- Cristancho, D., Pinto, L. y Tique J. (2019). Evaluación de la eficiencia de un sistema de electrocoagulación en los vertimientos de curtiembres en el sector de Villapinzón (Cundinamarca). *Revista Mutis*, 9(2), 34-48. <https://doi.org/10.21789/22561498.1590>
- Cuberos, E., Rodriguez, A. y Prieto, E. (2009) Niveles de cromo y alteraciones de salud en una población expuesta a las actividades de curtiembres en Bogotá, Colombia. *Revista de Salud Pública*, 11 (2), 278-289. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-523820>
- De la cruz, J., Silva, E. e Inca, J. (2017). *Tratamiento de aguas residuales de la industria de curtiembre mediante el método de electrocoagulación para la reducción de la Demanda Química de Oxígeno y Cromo*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Callao] <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/3594>

Ferro, D., Castiblanco, J., Agudelo, R. y Ruiz, L. (2021). Evaluación de un sistema de centrifugación para el secado de lodos generados en el tratamiento de aguas residuales en la curtiembre El Escorpión del municipio de Villapinzón, Cundinamarca. *Revista vínculos*, 16(2), 242–251.  
<https://doi.org/10.14483/2322939X.15188>

Frecia, G. (2017). *Gestión del medio ambiente, el futuro de las curtiembres de la cuenca matanza riachuelo: Estudio comparado Argentina – Japón*. [Tesis de Doctorado, Universidad De Buenos Aires]. [http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/econ/collection/tesis/document/1501-1262\\_FreciaGD](http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/econ/collection/tesis/document/1501-1262_FreciaGD)

Guerrero, A. (2017). *Influencia del tiempo y voltaje en la disminución de la carga orgánica por electrocoagulación del agua residual de la curtiembre Cuenca S.A.C.* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada Cesar Vallejo].  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/26426>

Hernández M., Ruiz L. y Wilches M. (2007). *Bioingeniería VI. Fundamentos de instrumentación para la química clínica y las radiaciones ionizantes*. Editorial Universidad de Antioquia. [http://www.sancristoballibros.com/libro/bioingenieria-vi-fundamentos-de-instrumentacion-para-la-quimica-clinica-y-las-radiaciones-ionizantes\\_5081](http://www.sancristoballibros.com/libro/bioingenieria-vi-fundamentos-de-instrumentacion-para-la-quimica-clinica-y-las-radiaciones-ionizantes_5081)

Hernández, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación. Las rutas cuantitativas, cualitativas y mixtas*. McGraw-Hill.  
<https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>

Lazo, E. (2017). *Evaluación de la contaminación ambiental generado por efluentes Industriales en el proceso productivo de una curtiembre de mediana capacidad del*

- parque industrial de Rio Seco, Arequipa*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2413>
- Lorezon, E. (2020). *Sistemas y organizaciones*. (primera edición). Editorial de la Universidad de La Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/99629>
- Martínez, S. y Romero, J. (2018). Revisión del estado actual de la industria de las curtiembres en sus procesos y productos: un análisis de su competitividad. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 26(1), 113-124. <https://doi.org/10.18359/rfce.2357>
- Mayta, R. y Mayta, J. (2017). Remoción de Cromo y Demanda Química de Oxígeno de aguas residuales de Curtiembre por Electrocoagulación. *Revista Sociedad Química del Perú*, 48(3), 333-340. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2017000300008&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2017000300008&script=sci_abstract)
- Mendocilla, C. (2018). *Influencia del PH y el tiempo en la remoción de cromo hexavalente presente en soluciones acuosas utilizando la electrocoagulación*. [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25059>
- Mendoza, J. (2019). *Influencia de la intensidad de luz y pH en la remoción de materia orgánica (DBO<sub>5</sub>), de efluentes de remojo de curtiembre, utilizando microalga chlorella vulgaris, a nivel laboratorio*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/2985>
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (2021). *Informe Anual de la ONUDI 2020*. Sección de Servicios en inglés, Publicaciones y Biblioteca, Oficina

de las Naciones Unidas en Viena.

[https://www.unido.org/sites/default/files/files/2021-04/UNIDO\\_AR2020\\_SP\\_Rev1.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/files/2021-04/UNIDO_AR2020_SP_Rev1.pdf)

Organización Panamericana de la Salud (2000). *La salud y el ambiente en el desarrollo sostenible* (Publicación Científica No. 572). Oficina Sanitaria Panamericana.  
<https://www1.paho.org/hq/dmdocuments/salud-ambiente-desarrollo-sostenible2000.pdf>

Orozco L. (2004). *Planificación de manejo diversificado de bosque Latifoliados Húmedos Tropicales*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE),  
[https://books.google.com.pe/books/about/Planificaci%C3%B3n\\_del\\_manejo\\_diversificado.html?hl=es&id=OAGzkp6wJS4C&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Planificaci%C3%B3n_del_manejo_diversificado.html?hl=es&id=OAGzkp6wJS4C&redir_esc=y)

Palomino, G. y Ramos, C. (2021). *Revisión sistemática sobre la aplicación de electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea*. [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/70597>

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*. [Tesis de Pregrado, Universidad Continental].  
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/7711>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2006). *Estado de la producción sostenible en el Mediterráneo* (Informe N° 165). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente / Plan de Acción para el Mediterráneo (PNUMA/PAM).  
<https://digitallibrary.un.org/record/597212/files/mts165spa.pdf>

- Ramírez, J. Martínez, O. y Fernández, L. (2013). Remoción de contaminantes en aguas residuales industriales empleando carbón activado de pino pátula. *Revista Avances investigación en ingeniería*. 10(1), 42-49.  
<https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/2725/2145>
- Rey de Castro, A. (2013). *Recuperación de cromo (III) de efluentes de curtido para control ambiental y optimización del proceso productivo*. [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica Del Perú].  
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5123>
- Rizo J. (2015). *Técnicas de investigación documental*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. <https://repositorio.unan.edu.ni/12168/1/100795.pdf>
- Rosas, Y. (2019). *Caracterización y remoción de Cromo (III) de aguas residuales de curtiembres del parque industrial de río seco utilizando hueso de olivo (Olea europea) procesado como biosorbente*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín De Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9250>