

FACULTAD DE INGENIERÍA



CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“CONDICIONES TÉCNICAS DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA UNA REMOCIÓN EFICIENTE DE CROMO Y DQO EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE CURTIEMBRE”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Autores:

Linda Carolina Cerna Huertas

Albert Stony Gamboa Zavala

Asesor:

MSc. Carlos Alberto Alva Huapaya

Trujillo – Perú

2021

DEDICATORIA

Dedico la tesis a mi familia, en especial
a mi madre quien siempre estuvo
apoyándome en todo lo necesario para
cumplir mis sueños.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis compañeros de tesis, mis docentes y especialmente a mi asesor de tesis quien nos brindó una perspectiva positiva para el desarrollo de esta investigación y permitió su realización.

ÍNDICE

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
ÍNDICE	3
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE ECUACIONES	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	27
CAPÍTULO III. RESULTADOS	31
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	44
REFERENCIAS	51
ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Matriz de condiciones técnicas de Electrocoagulación para la remoción de Cromo y DQO en aguas residuales industriales de curtiembre (Condiciones iniciales).</i>	32
Tabla 2. <i>Matriz de condiciones técnicas de Electrocoagulación para la remoción de Cromo y DQO en aguas residuales industriales de curtiembre (Condiciones de diseño).</i>	34
Tabla 3. <i>Estadística descriptiva de las eficiencias de EC.</i>	36
Tabla 4. <i>Correlación de Rho de Spearman.</i>	37
Tabla 5. <i>Regresión lineal pH inicial vs % de remoción de Cromo</i>	38
Tabla 6. <i>Regresión lineal condiciones de diseño vs % de remoción de Cromo</i>	38
Tabla 7. <i>Regresión lineal cantidad de electrodos vs % de remoción de Cromo</i>	39
Tabla 8. <i>Porcentajes de remoción Cromo de acuerdo al material de electrodo usado.</i> ...	39
Tabla 9. <i>Porcentajes de remoción de Cromo de acuerdo a la naturaleza del contaminante</i>	40
Tabla 10. <i>Uso de agitador magnético vs % remoción de Cr.</i>	40
Tabla 11. <i>Regresión lineal pH inicial vs % de remoción de DQO</i>	41
Tabla 12. <i>Regresión lineal conductividad inicial vs % de remoción de DQO</i>	41
Tabla 13. <i>Porcentajes de remoción de DQO de acuerdo al material de electrodo usado.</i>	42
Tabla 14. <i>Porcentajes de remoción de DQO de acuerdo a la naturaleza del contaminante.</i>	42
Tabla 15. <i>Uso de agitador magnético vs % de remoción de DQO.</i>	42
Tabla 16. <i>Tabla resumen de condiciones óptimas de operación.</i>	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Gráfica de correlación de Spearman.</i>	37
---	----

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. <i>Comportamiento del Aluminio como ánodo.</i>	23
Ecuación 2. <i>Comportamiento del Aluminio como cátodo.</i>	23
Ecuación 3. <i>Comportamiento del Aluminio como cátodo atacado por OH.</i>	24
Ecuación 4. <i>Comportamiento del Hierro como ánodo.</i>	25
Ecuación 5. <i>Comportamiento del Hierro como cátodo.</i>	25
Ecuación 6. <i>Intercambio de Hierro como gas.</i>	25

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación fue estudiar Condiciones técnicas del proceso de electrocoagulación para una remoción eficiente de Cromo y DQO en aguas residuales industriales de curtiembre. Para ello se llevó a cabo una búsqueda literaria de diferentes trabajos e investigaciones y se registraron los datos de condiciones técnicas del proceso de EC y se describieron sus eficiencias en una matriz de normalización donde se estandarizaron los datos obtenidos de los diferentes autores a unidades del SI, para comparar estadísticamente las condiciones técnicas de operación que lograron mayores eficiencias en la remoción de Cromo (Cr Total y Cr^{3+}) y DQO. El análisis de datos se llevo a cabo por medio de los softwares megastat y minitab 19, utilizando los datos de las técnicas y tecnologías de EC aplicadas a aguas residuales de curtiembre. Finalmente, la prueba de correlación de Rho de Spearman para el porcentaje de remoción de Cromo y DQO muestran que estas variables están relacionadas, pero con baja intensidad ($r=0.2$), además las regresiones lineales y pruebas estadísticas descriptivas muestran que las variables pH inicial, amperaje, densidad de corriente, así como el material de electrodo, tipo de reactor y uso de agitador magnético influyen en la eficiencia de la remoción de estos contaminantes. Concluyendo que la tecnología de electrocoagulación pura fue la más usada por los investigadores.

Palabras clave: Electrocoagulación, tratamiento, remoción, cromo, DQO.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para el desarrollo de la vida en la tierra, la Organización Mundial de la Salud [OMS] (s.f.) explica que la cantidad de agua dulce es bastante limitada y que su calidad se ve comprometida por la presencia de productos químicos, radiaciones, metales pesados, agentes infecciosos entre otros elementos. Por ello preservar la calidad del agua dulce es tarea prioritaria para los seres humanos. Por su parte, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (por sus siglas OEFA) define las aguas residuales como aquellas cuyas características originales han sido modificadas por el desarrollo de actividades humanas y que requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo receptor o descargadas al sistema de alcantarillado. Asimismo, estas pueden ser clasificadas por su origen en: Aguas residuales industriales, domésticas y municipales (2014). Sin embargo, se estima que aproximadamente el 70% de ellas no reciben tratamiento alguno en Latinoamérica, dificultado su reincorporación en el ciclo del agua, en primer lugar por los niveles de contaminación a los que pueden llegar estas aguas. Mientras que en Perú, solo el 30% de la inversión pública se ejecuta en tratamiento de agua, esto representa un grave riesgo para la conservación de su calidad (Larios, Gonzáles y Morales, 2015). Según datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2019) en el año 2014, se generaban diariamente 1'202,286 m³ de aguas residuales en Lima Metropolitana, de las cuales únicamente eran tratadas el 21.2%. Esto debido a que la infraestructura de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es insuficiente para los volúmenes generados. Lo que contamina los cuerpos de agua natural, ya sean superficiales o subterráneos, además de generar focos infecciosos y malos olores

(Collaci, 2018). La falta de infraestructuras y deficientes procesos en el tratamiento de aguas residuales son los principales problemas para el aseguramiento de la calidad de los cuerpos de agua. En La Libertad, la afección por aguas residuales no tratadas proviene por efluentes de las actividades extractivas y productivas de la región, principalmente de minería y curtiembre. Neyra y Llenque, señalan que estas aguas contaminadas alteran la calidad del agua de los cuerpos receptores, siendo la cuenca del río Moche una de las más afectadas, donde predominan metales pesados como cromo, cobre, cadmio, plomo y concentraciones elevadas de DQO, DBO5, coliformes, entre otros agentes contaminantes (2011). Todos estos factores han abierto camino para la revisión de los tratamientos convencionales y la propuesta de nuevas tecnologías para un tratamiento más exigente. Si una PTAR no cuenta con tecnología competente para neutralizar la carga de contaminantes presentes en el agua, esta terminará sumándose al porcentaje sin tratar. Una de estas nuevas tecnologías es la electrocoagulación, proceso que consiste en la desestabilización de las partículas contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, por la inducción de corriente eléctrica en el agua a través de placas paralelas de diversos materiales (Arango, 2005). La electrocoagulación, como tratamiento de aguas residuales, podría considerarse nuevo a comparación de otras tecnologías de tratamiento. No obstante, son diversos los autores quienes plantean sus propios diseños y materiales en la construcción y operación, estos responden a las características específicas del agua a tratar. La deficiencia en las investigaciones sobre las condiciones técnicas de este proceso, en el tratamiento de aguas residuales, se considera un problema para la investigación y el desarrollo de mejores propuestas.

Para el soporte de esta investigación se utilizaron las siguientes investigaciones:

A nivel internacional, Hernández (2011), en su investigación desarrollada en Madrid, España; realizó el diseño y montaje de una planta piloto a nivel laboratorio aplicando la tecnología de Electrocoagulación para evaluar su eficiencia. El investigador tomó como muestra agua del río Manzanares para su realizar sus pruebas. Asimismo, estableció tres fases de investigación. En la primera trabajó en sistema Batch, en la segunda con una planta de laboratorio en discontinuo, y en la tercera evaluó la eficacia del proceso, en relación con la reducción de parámetros físico-químicos de las aguas y analizando el consumo energético. Los resultados garantizaron las posibilidades del proceso en la eliminación de: turbidez, SST, DQO, fosfatos en fósforo total y microorganismos. Tras el análisis, se concluyó que la electrocoagulación es eficiente debido a la facilidad de montaje y bajo consumo energético.

Arboleda y Herrera (2015), llevaron a cabo una investigación en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Autónoma de Colombia. Los autores evaluaron el proceso de electrocoagulación en un reactor tipo Batch para la remoción de Cromo hexavalente con electrodos de Aluminio y Hierro. Trabajaron con una muestra proveniente de un efluente de curtiembre. Los datos cuantitativos fueron obtenidos tras diferentes ensayos variando el material de los electrodos, las distancias entre ellos y el pH. Los resultados dictaron una distancia entre electrodos de 5mm y pH inicial de 8, con tiempo de contacto de 40 min para un 99% de remoción de Cr^{6+} . Tras el análisis, la electrocoagulación se convierte en un proceso electroquímico que puede tener resultados exitosos en su aplicación, con un tratamiento de aguas contaminadas con Cr^{6+} efectivo.

En ese sentido, Romero (2015), en su investigación desarrollada en Quito, Ecuador; aplicó dos procesos, entre ellos el proceso de electrocoagulación, para tratar efluentes residuales de la industria de curtido de pieles con el objetivo de recuperar sulfato de cromo y Cr^{3+} . La investigación fue experimental bifactorial con grupos de control. El investigador consideró dos muestras de 25 L tomadas de dos de los fulones del área de curtido de La ternería San José, apenas terminado el proceso, a las cuales se les realizó una caracterización físico-química, resultados que mostraron la necesidad urgente de tratar dichos efluentes antes de ser descargados. En los resultados obtenidos mediante el proceso de electrocoagulación, se recuperó el cromo en un 21,9%, utilizando electrodos de hierro y una celda electroquímica de 8L. Tras el análisis concluyó que por la baja recuperación de Cr^{3+} con electrocoagulación, se seleccionará el otro proceso como alternativa tecnológica.

Además, Arroyo (2011) desarrolló su investigación en la Universidad Politécnica de España; estudiando los parámetros que influyen en la eliminación de cromo hexavalente ($\text{Cr}(\text{VI})$) mediante la técnica de electrocoagulación con ánodos de hierro. La investigación fue experimental pura de corte cuantitativo y realizaron experimentos para determinar las relaciones entre variables en el proceso. Los resultados demostraron que tanto el pH como la concentración de NaCl son factores influyentes en el proceso de electrocoagulación del Cr^{6+} efectivo. Asimismo, el aumento del pH deriva a una mayor velocidad de reducción del Cr^{6+} a Cr^{3+} . Finalmente concluyeron que existen parámetros puntuales que influyen en la eliminación de cromo hexavalente mediante la técnica de electrocoagulación y otros que podrían descartarse.

Cristancho, Pinto y Tique (2019), en su investigación desarrollada en Cundinamarca, Colombia; evaluaron la eficiencia de un sistema de electrocoagulación para los vertimientos de curtiembres. Los investigadores tomaron como muestra 7L de agua recolectada del río Bogotá (tramo Villapinzón-Chocontá), lugar donde descargan los vertimientos de curtiembre en Villapinzón. La investigación fue experimental pura, con un diseño factorial de un sistema de electrocoagulación, se midieron los porcentajes de remoción de Cromo, DQO, nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos. Los resultados obtenidos muestran porcentajes de remoción de Cr (52,8 %), DQO (36 %), nitritos (99,6 %), nitratos (99,4 %), sulfatos (92,9 %) y fosfatos (99,1 %). Tras el análisis, se plantea como conclusión que el proceso de electrocoagulación es eficiente para el tratamiento de aguas residuales industriales de curtiembre.

A nivel nacional, Osorio y Juárez (2019), en su investigación realizada en Arequipa, Perú; determinaron los parámetros óptimos para la remoción de Cromo (III) Y DQO en aguas de curtido a través del proceso de electrocoagulación en un reactor de recirculación conteniendo 7 ánodos de Fierro y 7 cátodos de Aluminio. Los investigadores tomaron como muestra 40 litros de agua de curtido de la “Curtiembre Austral”. La investigación fue experimental pura con un grupo de control. Los resultados alcanzaron el valor de 0.3 mg/L de Cromo (III); 0.05 mg/L de Cromo (VI); 0.3 mg/L de Cromo Total y 38 mg/L de DQO. Tras el análisis se establecieron los parámetros óptimos para la remoción de Cromo (III) y DQO.

Por su parte, Aguilar y Palomino (2018), en su investigación desarrollada en Lima, Perú; evaluaron la eficiencia de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de cromo (VI) Y DQO. Consideraron como muestra, 180

litros de efluente de la etapa de cromado de la empresa Industria Peletera Artesanal S.A.C. La investigación presentó un enfoque cuantitativo y de alcance explicativo, con diseño experimental factorial, realizando en total 16 experimentos con 3 repeticiones. Los resultados obtenidos mostraron que los mayores porcentajes de remoción para Cromo y DQO fueron de 84.96% y 80.53%, respectivamente, dichos porcentajes se obtuvieron con una intensidad corriente de 9A y tiempo de 20 min.

Guerrero (2017), en su investigación desarrollada en Trujillo, Perú; evaluaron la influencia de la Electrocoagulación en la disminución de la carga orgánica del agua residual tomada como muestra de la curtiembre Cuenca S.A.C para establecer condiciones óptimas a dicho proceso. El diseño de investigación fue experimental de enfoque cuantitativo y finalidad aplicada. El diseño experimental constó de un total de 9 tratamientos con tres repeticiones con un arreglo factorial de A x B. Para ello utilizaron un reactor tipo Batch de 2.5 litros de capacidad y llevaron a cabo los tratamientos respectivos. Los resultados indicaron una remoción de 71.2% para DBO y un 46.9% para DQO con un tiempo de remoción de 45 min y a 16 Voltios de corriente suministrada. Tras el análisis se determinaron las condiciones óptimas en el proceso de electrocoagulación.

De la Cruz, Silva e Inca (2017) en su investigación realizada en la Universidad Nacional del Callao, Lima; aplicaron el proceso de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria curtiembre. El tipo de investigación fue experimental, con datos cuantitativos y un diseño experimental factorial de 8 variables. Los resultados indicaron una reducción de DQO y remoción del cromo de 90.1% y 99.99% respectivamente. Asimismo, determinaron los parámetros óptimos para el

proceso: intensidad de corriente 20 amperios, caída de tensión 30 voltios y tiempo de trabajo 35 minutos. Estos valores cumplen con los estándares de calidad D.S N°021-2009-VIVIENDA.

Serrano (2017), desarrolló su investigación en la Universidad Nacional de Trujillo, Con el objetivo de evaluar la influencia de la densidad de corriente y distancia entre electrodos en la remoción del color y la DQO de la curtiembre Ecológica del Norte, mediante el proceso de electrocoagulación-ozonificación. La investigación fue experimental factorial, utilizaron un reactor tipo Batch de 2 litros con electrodos de hierro y aluminio. Concluyeron con una remoción máxima de color y DQO de 96.2% y 85.8% respectivamente con una densidad de corriente de 210 A/m² y distancia entre electrodos de 2 cm, a pH 10 y 90 min de tratamiento.

En ese sentido, la presente investigación se justificó por el criterio de oportunidad, ya que sirvió para resaltar el hecho de que, aunque la electrocoagulación ha demostrado ser eficiente, aún se necesitan explorar los factores que influyen en su efectividad a la hora de remover metales pesados como el Cromo (Cr total y Cr³⁺). Desde el criterio teórico, porque hay déficit de información y permitirá la revisión del tema desde un punto de vista técnico y empírico. Desde el criterio metodológico se justificó, porque permite el desarrollo de herramientas para cuantificar la realidad de las variables y su relación entre ellas. Asimismo, la presente investigación tiene importantes implicaciones prácticas, ya que permite mostrar las variables que más influyen en la Electrocoagulación y crear sobre ellas diseños y propuestas de mejores tecnologías eficientes y rentables.

Para poder describir los procesos involucrados en la electrocoagulación, es necesario conocer los siguientes conceptos y términos más importantes sobre este tema.

Aguas Residuales

Las aguas residuales son originadas en hogares, instituciones, oficinas e industrias y pueden ser diluidas por las precipitaciones pluviales, las aguas subterráneas y aguas superficiales (López, Buitrón García y Cervantes, 2017, pág. 9). Contienen diversos nutrientes orgánicos e inorgánicos como proteínas, fosfato, nitrato y compuestos orgánicos biorefractarios que presentan resistencia ante los tratamientos convencionales.

Las aguas residuales, tanto las de origen doméstico como las de origen industrial, producen una serie de alteraciones en los cursos y planos de agua debido a los diversos productos que contienen y que los ríos son cada vez menos capaces de asimilar. Los efluentes industriales contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan por medio de tratamientos convencionales, bien por estar en concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química, emulsionada o de suspensiones coloidales extremadamente estables (García, et al. 2012, pág. 54).

Entre los procesos convencionales para el tratamiento de aguas residuales se encuentran algunos procesos físicos, químicos, biológicos, biotecnológicos, etc. Dentro de ellos la coagulación química, por ejemplo, consiste en la formación de lodos debido a la unión de coloides formando masas de tamaño considerable, para luego

separarlas del agua mediante la adición de más químicos como el sulfato de aluminio, cloruro férrico, entre otros.

La presencia de materia en suspensión suele ser indeseable en muchos procesos de tratamiento. La eliminación de estos sólidos suele hacerse mediante operaciones mecánicas. Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables. Es una operación que se utiliza a menudo, tanto en el tratamiento de aguas residuales urbanas y potables como en industriales (García, et al. 2012, pág. 57).

Parámetros de aguas residuales de curtiembre

El análisis de aguas residuales industriales permite generar un juicio a cerca del grado de contaminación del efluente. Al cuantificar los parámetros y compararlos con la normativa ambiental vigente se pueden concluir que existe una descarga peligrosa para el medio ambiente y salud humana (Romero, 2015). Los parámetros más utilizados en la caracterización de aguas residuales industriales de curtiembre son:

Demanda Química de Oxígeno

Es la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación química (destrucción) de la materia orgánica. Esta prueba proporciona un medio indirecto de la concentración de materia orgánica en el agua residual. La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales tóxicas a la vida biológica, como el caso de las aguas residuales industriales de curtiembre. (Rojas, 2002)

Es un análisis no específico pero muy útil para estimar los requerimientos de oxígeno de los vertidos industriales, en los cuales la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) no es demasiado eficaz debido a la presencia de tóxicos u otras sustancias inhibidoras. Las aguas residuales presentan altas concentraciones de DQO, provocando la desoxigenación de las aguas con las que tiene contacto más adelante, proceso que podría afectar el requerimiento de O_2 de los organismos acuáticos (Mayta, Mayta, 2017, pag.2).

Conductividad Eléctrica

Depende de la actividad de los tipos de iones disueltos y de la temperatura a la que se realiza la medida. La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como la temperatura de la medición. El agua pura tiene muy poca conductividad, por lo que la medida de la conductividad de un agua nos da una idea de los sólidos disueltos en la misma. De la conductividad eléctrica, que indica la presencia de sales en el agua, lo que hace aumentar su capacidad de transmitir una corriente eléctrica, propiedad que se utiliza en mediciones de campo o de laboratorio, expresadas en micro Siemens/l ($\mu S/l$). A partir de la conductividad se puede obtener los sólidos disueltos multiplicando por un factor entre 0.55 y 0.75. Los sólidos disueltos totales, expresados en mg/L, pueden ser obtenidos por multiplicación de la conductividad por un factor comprendido entre 0,55 y 0,75. Este factor puede ser determinado para cada cuerpo de agua, pero permanece aproximadamente constante,

según las proporciones iónicas en el cuerpo de agua y si éstas permanecen estables (DIGESA)

pH

El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando el número de iones hidrogeno presentes en el agua. Se mide en una escala a partir de 0 a 14, en la escala 7, la sustancia es neutra. Los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indican que es básica. Cuando una sustancia es neutra el número de los átomos de hidrógeno y de oxhidrilos son iguales. Cuando el número de átomos de hidrógeno (H^+) excede el número de átomos del oxhidrilo (OH^-), la sustancia es ácida. Este es uno de los parámetros más utilizados en la caracterización de aguas, en el proceso de curtido tienen un carácter ácido de 3.5 a 3.9 (Romero y Navarro, 2001)

Sólidos Suspendidos

De acuerdo a lo señalado por Argandoña y García (2013):

Constituyen uno de los límites que se fijan a los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Los SS se determinan como la cantidad de material retenido después de filtrar un determinado volumen de muestra, a través de crisoles "GOOCH" o filtros de fibra de vidrio que utilizan como medio filtrante. En la actualidad se prefiere utilizar filtros de membrana con un tamaño de poro de aproximadamente 1.2 micrómetros (1.2×10^{-6} metros). Los sólidos suspendidos son principalmente de naturaleza orgánica; están formados por algunos de los materiales más objetables contenidos en el agua residual. La mayor parte de los sólidos

suspendidos son desechos humanos, desperdicios de alimentos, papel, trapos y células biológicas que forman una masa de sólidos suspendidos en el agua. Incluso las partículas de materiales inertes adsorben sustancias orgánicas en su superficie.

Turbidez

La turbidez es la expresión de la propiedad óptica de la muestra que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra. La eliminación de la turbiedad, se lleva a cabo mediante procesos de coagulación, asentamiento y filtración.

La medición de la turbiedad, en una manera rápida que nos sirve para saber cuándo, cómo y hasta qué punto debemos tratar el agua para que cumpla con la especificación requerida (Miranda, 2009).

Cromo

El cromo (Cr) es un elemento natural presente en la corteza terrestre, con estados de oxidación (o estados de valencia) que van desde el Cr^{2+} al Cr^{6+} . Las industrias con la mayor contribución a la liberación de cromo incluyen procesamiento de metales, instalaciones de curtiduría, producción de cromato, soldadura de acero inoxidable y producción de pigmentos de cromo y ferrocromo. El cromo liberado al medio ambiente por la actividad antropogénica ocurre principalmente en la forma hexavalente Cr^{6+} . (Hassaine y Sadoun, 2005).

El cromo hexavalente Cr^{6+} es un contaminante industrial tóxico que varias agencias reguladoras y no reguladoras clasifica como carcinógeno humano. El peligro para la salud asociado con la exposición al cromo depende de su estado de oxidación,

que va desde la baja toxicidad de la forma metálica hasta la alta toxicidad de la forma hexavalente. El límite de la Organización Mundial de la Salud para el agua potable de 50 μg de Cr^{6+} por litro (OMS).

En ese sentido, el cromo posee características tales como: difícil biodegradación, persistencia en el medio y acumulación en el tiempo (GREENPEACE, 2012). Sin embargo, este metal es muy utilizado dado que previene la descomposición de las pieles y le brinda cualidades al cuero como flexibilidad, durabilidad y resistencia a la humedad (Mancco y Cartolin, 2018, pag.18).

De todos los contaminantes que son emitidos por una curtiembre, uno de los más problemáticos es el cromo. Debido a que usualmente a partir de sales de cromo (VI) se obtienen las sales de curtido de cromo (III). Esto ocasiona que los efluentes puedan contener concentraciones pequeñas de cromo (VI) en adición a las concentraciones considerables del componente primario de cromo (III) (Rey de Castro, 2013, pag. 12).

De ambas formas de cromo, la que presenta mayor toxicidad es el cromo (VI), ya que es capaz de ocasionar consecuencias fatales a concentraciones hasta 100 veces menores a las del cromo (III). El Cr^{3+} puede causar dermatitis y daño hepático ante una exposición crónica siendo las principales rutas de exposición por inhalación, ingestión y por contacto con la piel o mucosa (National Institute for Occupational Safety and Health, 2013, pag. 13). La baja toxicidad de este en relación a la del cromo (VI) se da porque la primera especie tiene muy baja movilidad en el cuerpo.

Por otro lado, con el paso de los años se han realizado múltiples estudios sobre métodos de remoción del cromo de las aguas residuales, entre los que encontramos

métodos de adsorción y bioadsorción, de intercambio iónico y de precipitación. Sin embargo, es posible acondicionar el cromo para insertarse en los baños de curtido y/o recurtido (Rey de Castro, 2013, pág. 14). Esto va a depender de diferentes factores tales como la temperatura, el pH y la concentración de cromo.

Electrocoagulación

Para De la Cruz, Silva e Inca (2017) la coagulación asistida electroquímicamente, o electrocoagulación (EC), es un proceso electroquímico en el que, a partir de compuestos procedentes de la disolución de un ánodo, se agrupa la materia coloidal existente en un agua residual, lo que posibilita su conversión en sólidos suspendidos y su separación del agua mediante técnicas convencionales de separación sólido/líquido, tales como la decantación, la flotación y la filtración. Como consecuencia de su disolución, los ánodos van desapareciendo a medida que transcurre el tratamiento, llegando un momento en el que es necesaria su reposición (ánodos de sacrificio)

Considerando que el sistema de electrocoagulación requiere una fuente de poder, se consultó que la disposición de los electrodos tiene mayor efectividad con una conexión monopolar en paralelo, donde la corriente eléctrica se reparte entre todos los electrodos (Aguilar-Ascón, 2015).

La electrocoagulación ha sido probada también en la potabilización de aguas, es importante resaltar que el paso de corriente eléctrica a través del agua a tratar presenta un efecto desinfectante en cuanto que destruye, en porcentajes por encima del 99%, los microorganismos presentes en el agua (Powell Water Systems Inc, 2005). En esta

misma aplicación, se ha estudiado el proceso de electrocoagulación con muy buenos resultados en el tratamiento de aguas para consumo humano contaminadas con arsénico (Kumar et al, 2004).

Por otro lado, la baja demanda de corriente eléctrica en el proceso de Electrocoagulación, permite la posibilidad de que este sea abastecido por sistemas “verdes”, que incluyen los basados en energías renovables, tales como la eólica, solar, etc. (Mancco, Cartolin, 2018, pag. 40). Los costos de operación son menores en comparación con los de procesos convencionales usando polímeros (Powell Water Systems Inc, 2001). El agua tratada por electrocoagulación contiene menor cantidad de sólidos disueltos que aquellas tratadas con productos químicos, situación que disminuye, de igual manera, los costos de tratamiento de estos efluentes en el caso de ser reutilizados (Molla et al, 2001).

Es igualmente importante resaltar que esta tecnología genera lodos más compactos y en menor cantidad, que involucran menor problemática de disolución de estos lodos. Sin embargo, estos lodos contienen altas concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material de electrodo utilizado. Además, es posible que llegase a formarse una película de óxido en el cátodo lo que ocasionaría la pérdida de eficiencia del proceso.

Como se menciona, las deficiencias o desventajas de la tecnología dependen netamente del tipo de diseño en el cual se trabaje, debido a que cada uno de los factores que influyen o afectan el sistema de electrocoagulación determina su eficiencia. Asimismo, es válido mencionar que la técnica presenta mayores ventajas que la

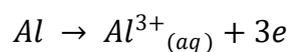
convierten en una opción viable al momento de tomar una decisión novedosa en los sistemas de tratamiento de agua.

Comportamiento de los electrodos de aluminio y hierro en EC

El proceso de electrocoagulación implica la generación de coagulantes in situ mediante la disolución eléctrica del aluminio o iones de hierro de electrodos de aluminio o hierro, respectivamente. En este proceso tiene lugar la generación de iones metálicos. en el ánodo y se libera gas hidrógeno del cátodo. Las burbujas de gas hidrógeno transportan el contaminante al parte superior de la solución donde se puede concentrar, recoger y eliminar más fácilmente. Bazrafshan, Mohammadi, Ansari y Hossein (2015) explican la descomposición del electrodo de Aluminio tanto como ánodo y cátodo, así se producen diversas reacciones en el proceso de electrocoagulación, donde se utiliza aluminio.

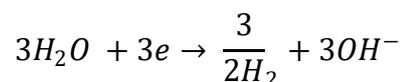
Ecuación 1.

Comportamiento del Aluminio como ánodo.



Ecuación 2.

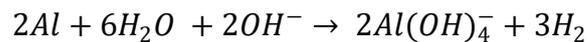
Comportamiento del Aluminio como cátodo.



El cátodo también puede ser atacado químicamente por OH^- iones generados durante la evolución de H_2 a pH alto.

Ecuación 3.

Comportamiento del Aluminio como cátodo atacado por OH^- .

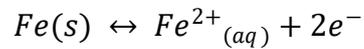


Esta reacción transforman finalmente en $\text{Al}(\text{OH})_3$ según una cinética de precipitación compleja. Los "flóculos de barrido" de $\text{Al}(\text{OH})_3$ amorfo recién formados tienen grandes áreas superficiales que son beneficiosas para una rápida adsorción de compuestos orgánicos solubles y atrapamiento de partículas coloidales.

Por otro lado, Ingelsson, Yasri, y Roberts (2020) explican que las tasas observadas de disolución del metal Hierro indican que los iones de Fe (II) se disuelven inicialmente del ánodo de Fe (0), lo cual es termodinámicamente favorable sobre la oxidación de Fe (0) \rightarrow Fe (III). Posteriormente, el Fe (II) se oxida a iones Fe (III) por el oxígeno disuelto en la solución, lo que se ve favorecido a un pH más alto. Además, dado un entorno suficientemente ácido, el Fe(0) puede disolverse químicamente del ánodo.

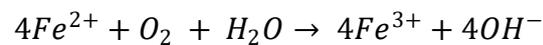
Ecuación 4.

Comportamiento del Hierro como ánodo.



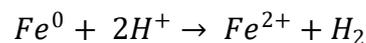
Ecuación 5.

Comportamiento del Hierro como cátodo.



Ecuación 6.

Intercambio de Hierro como gas.



1.1. Formulación del problema

¿Cuáles son las condiciones técnicas del proceso de electrocoagulación para la remoción eficiente de Cromo (Total y Cr(III)) y DQO?

1.2. Objetivos

Como *objetivo general* la investigación busca determinar las condiciones técnicas del proceso de electrocoagulación para lograr una remoción eficiente de Cromo (Cr Total y Cr³⁺) y DQO en aguas residuales industriales de curtiembre. Además, como *objetivos específicos* se plantea identificar las eficiencias de las diferentes técnicas y tecnologías de electrocoagulación en la remoción de Cromo y

DQO de curtiembres., así como identificar la relación que tiene la remoción de Cromo y DQO a través de la aplicación de tecnologías de electrocoagulación.

1.3.Hipótesis

Como *hipótesis general* se plantea que las condiciones técnicas influyen en una remoción eficiente de Cromo y DQO en aguas residuales industriales de curtiembre mediante electrocoagulación. Asimismo, como *hipótesis específicas*, se plantea que las diferentes técnicas y tecnologías sobre el proceso de electrocoagulación influyen en las eficiencias de remoción de Cromo y DQO. Además, la remoción de Cromo y DQO están relacionadas directamente con la aplicación de tecnologías de electrocoagulación.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

La presente investigación fue de tipo no experimental, debido a que se realizó sin manipular las variables, es decir, las variables se muestran tal y como se encuentran en su estado natural para realizar análisis frente a ellas. El diseño de investigación fue descriptivo porque describe las condiciones técnicas de la Electrocoagulación para una remoción eficiente de Cromo y DQO, además es explicativo pues no solo muestra un problema, sino que intenta encontrar las causas del mismo, explicando el comportamiento de las condiciones técnicas en la eficiencia de remoción de contaminantes (Monjarás, et al, 2019). Es de corte longitudinal pues la investigación toma datos de las eficiencias de remoción a partir de investigaciones publicadas en los últimos 20 años, además tiene un enfoque cuantitativo, ya que se realizó una recolección de datos para probar las hipótesis propuestas previamente respecto a la remoción eficiente de Cromo (Cr total y Cr^{3+}) y DQO (Sampieri, 2020).

La población del presente trabajo de investigación corresponde a todas las tecnologías de electrocoagulación, mientras que la muestra corresponde a las condiciones técnicas de las tecnologías de electrocoagulación aplicadas a la remoción de Cromo (Cr total y Cr^{3+}) y DQO en aguas residuales industriales de curtiembre. El tipo de muestreo es no probabilístico y es la muestra es del tipo intencional o por juicio, tomando una muestra por juicio donde se incluyen únicamente las condiciones técnicas de electrocoagulación aplicadas a la remoción de contaminantes (Cr total, Cr^{3+} y DQO) en aguas residuales de industrias de curtiembre, es un muestreo intencional porque las muestras cumplen con una descripción o propósito específico que es necesario para realizar la investigación.

La técnica de recolección de datos utilizada en la presente investigación fue la de investigación documental, la metodología para la búsqueda de información fue la misma que la de una revisión sistemática (anexo N°05), mismo que consiste en cuatro etapas esenciales: identificación; tamizaje; elegibilidad de textos; y la inclusión de artículos en la revisión sistemática (Bolaños y Calderón, 2014). Además, como instrumentos se utilizaron matrices de búsqueda de información, selección de artículos, y la matriz de normalización de condiciones técnicas de Electrocoagulación para la remoción de Cromo y DQO en aguas residuales industriales de curtiembre.

El procesamiento de datos será aplicado de acuerdo al diseño de investigación en los softwares MegaStat y Minitab; para la descripción de las variables se utilizará la estadística descriptiva, en distribución de frecuencias y presentación de gráficos. Asimismo, se aplicará la técnica no paramétrica de la correlación de Spearman, utilizada para medir el grado de asociación entre dos cantidades sin tomar en cuenta el nivel de acuerdo y concordancia (Martínez et al, 2009). Este coeficiente es muy útil para muestras de estudio menor a 50, cuando el número de pares de sujetos (n) que se debe asociar es pequeño. (Mondragón Barrera, 2014). El coeficiente no se ve afectado por los cambios en las unidades de medida; utiliza los rangos, números de orden, de cada grupo de sujetos y compara dichos rangos (Santander et al, 2004). El gráfico por excelencia es el conocido diagrama de dispersión, puesto que la posición de puntos muestra si la relación es lineal a través precisamente de una línea de fácil observación por el investigador. En el mismo, la variable independiente se coloca en el eje de las abscisas y la dependiente en el eje de las ordenadas. El valor de r se debe mostrar con dos decimales junto con el valor de p , si el test de hipótesis se realizó para demostrar que r es estadísticamente diferente de cero. El número de observaciones debe a su vez estar indicado. Ahora bien, para corroborar el

resultado matemático obtenido se presentará un diagrama de dispersión. Diversos autores expresan diferentes escalas de interpretación, la utilizada en la presente investigación fue la propuesta por Hernández Sampieri y Fernández Collado. La explicación de un coeficiente de correlación como medida de la intensidad de la relación lineal entre dos variables es puramente matemática y libre de cualquier implicación de causa-efecto. El hecho de que las dos variables tiendan a crecer o decrecer juntas no implica que una tenga algún efecto directo o indirecto sobre la otra. Ambas pueden ser influidas por otras variables de modo que se origine una fuerte relación matemática. La interpretación de rho depende principalmente de los detalles de la investigación y la experiencia propia en el tema de estudio. Tal y como se lo mencionan en su investigación, la experiencia previa sirve generalmente como base de comparación para determinar si un coeficiente de correlación es digno de ser mencionado (Ortega et al, 2009).

El procedimiento de la investigación comenzó con la recopilación de información de las técnicas y tecnologías de electrocoagulación mediante la técnica de investigación documental que se ciñó a la de una revisión sistemática, aplicando criterios de búsqueda de información, así de inclusión y exclusión para la selección de información. Las técnicas y tecnologías de electrocoagulación fueron procesadas analíticamente y se extrajeron los datos referentes a las condiciones técnicas óptimas en cada uno de los procesos, así como valores iniciales y finales de Cromo y DQO, todos los datos fueron normalizados y estandarizados a unidades internacionales para realizar un análisis más uniforme esto se pudo organizar mediante la matriz de normalización de condiciones técnicas de EC para remoción de Cromo y DQO en aguas residuales de curtiembres.

Luego, se identificaron las eficiencias de las tecnologías de electrocoagulación calculando los porcentajes de remoción de Cromo y DQO en aguas residuales de curtiembre. Posteriormente se procesaron los datos de las condiciones técnicas óptimas con los porcentajes de remoción llevando a cabo pruebas estadísticas descriptivas e inferenciales. Se realizaron regresiones lineales entre las variables de las técnicas y tecnologías de EC frente a los valores de remoción de Cromo y DQO determinando las relaciones existentes y su influencia en la efectividad de las tecnologías de electrocoagulación. Por otra parte, se procesaron los porcentajes de remoción del proceso de mediante la prueba estadística del coeficiente de correlación de Spearman para determinar la relación existente entre las variables de remoción de Cromo y remoción de DQO. Se estableció un nivel de significancia de 0.05, valor que funciona adecuadamente e indica un riesgo de 5% en dicho coeficiente de correlación es estadísticamente significativo se estableció (es decir, un nivel de confianza del 95%) según lo indicado por Mondragón Barrera, anteriormente citado.

Por último, se presentó un resumen de las condiciones técnicas de electrocoagulación que mostraron una mayor efecto en la eficiencia de la remoción de Cromo y DQO en aguas residuales de curtiembres.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Se procesaron catorce distintos trabajos de técnicas y tecnologías de electrocoagulación, estas investigaciones proporcionaron datos sobre los parámetros iniciales y condiciones administradas de EC, por la cantidad de condiciones técnicas de operación se dividieron la presentación de datos en dos matrices de condiciones técnicas de Electrocoagulación para la remoción de Cromo y DQO en aguas residuales industriales de curtiembre, la Tabla N 01 contiene información de : pH inicial, conductividad inicial, concentración inicial de DQO y Cr; así como condiciones de diseño y energía administrada: voltaje, amperaje, densidad de corriente, tiempo de contacto y naturaleza de cromo. La segunda tabla (tabla N° 02) muestra las condiciones de diseño del proceso de electrocoagulación y describe variables cualitativas y cuantitativas, tales como: tipo de reactor, diseño de electrocoagulación, material de electrodos, capacidad del reactor, cantidad de electrodos, distancia de separación entre electrodos y área de reacción. En ambas tablas se muestran las eficiencias de electrocoagulación basadas en la remoción de los porcentajes de concentración de contaminantes como Cromo y DQO.

Tabla 1.

Matriz de condiciones técnicas de Electrocoagulación para la remoción de Cromo y DQO en aguas residuales industriales de curtiembre (Condiciones iniciales).

Contaminante	Parámetros iniciales								Eficiencias	Tecnología de EC	Autor	
	Condiciones iniciales de la solución				Condiciones óptimas de operación							
Naturaleza del Cromo	pH ₀	Conductividad (k ₀) mS/cm	DQO (COD ₀) - mg/L	Cromo (Cr ₀) mg/L	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Densidad de corriente (mA/cm ²)	Tiempo de contacto ideal (min)	Remoción de DQO (%)	Remoción de Cromo (%)	Tipo de tecnología	Autor(es) de la investigación
Cr ³⁺	4.22	36.05	1132	1470	10	9	183.67	45	47.78%	97.72%	EC Pura	Mayta, R. Mayta, J.
Cr Total	7.06	46	26040	50	20	20	400	15	83.33%	84.00%	EC Mixta	Apaza, H., Carrillo, E., Castilla, D. y Huaraya, F.
Cr Total	7.42	21.63	3700	22	10	1.5	33.3	30	49.00%	97.00%	EC Pura	Apaydin, O, Kurt, U. y Gonullu, M.
Cr Total	7.00	11.71	2800	570	30	1.85	50	25	64.40%	99.00%	EC Pura	Deghles, A. y Kurt, U.
Cr ³⁺	4.52	12.05	23350	3596	30	5	57.87	60	64.00%	99.76%	EC Pura	Gilpavas, E., Dobrosz- Gomez, I. y Gómez-Garc A.
Cr ³⁺	3.42	32.5	1050	2700	0.5	3	97.59	90	65.70%	99.40%	EC Pura	Amar, S., Animes, G. y Subhabrata, R.
Cr Total	8.85	-	24900	267.8	12	5	50	90	36.00%	52.80%	EC Pura	Cristancho, D., Pinto, L. y Tique, J.
Cr Total	8.00	21.1	12225	50	30	5.5	68	30	53.50%	99.00%	EC Pura	Espinoza, F.; Fornari, M.; Módenes, A.; Palacio, S.; Da Silva, F.;

Cr ³⁺	3.8	54.2	5800	7000	3	4.2	400	360	95.00%	99.70%	EC Pura	Szymanski, N.; Kroumov, A. y Trigueros, D. Elabbas, S.; Ouazzani, N.; Mandi, L.; Berrekhis, F.; Perdicakis, M.; Pontvianne, S.; Pons, M.; Lopicque, F. y Leclerc, J.
Cr Total	7.10	2.36	7680	18.4	-	1	75	45	95.31%	93.15%	EC Pura	Benhadji, A., Ahmed, M. Y Maachi, R.
Cr Total	6.00	23	2800	570	24	0.63	14	45	73.00%	99.98%	EC Pura	Abdalhadi, U.
Cr Total	4.07	71.91	387.2	2000	3	3	57.7	110	82.00%	97.76%	EC Pura	Mella, B., Glanert, A. y Gutterres, M.
Cr Total	7.40	8.45	1600	15	30	5	15	60	90.70%	67.00%	EC Mixta	Keerthi, V y Balasubramanian, N.
Cr Total	7	2480	6758	12.59	-	3.6	22.4	20	95.00%	100.00%	EC Pura	Kongjao, S., Damronglerd, S. y Hunsom, M.

Nota. Los valores de los parámetros iniciales de operación y condiciones óptimas de operación se encuentran estandarizados a las unidades métricas internacionales, el cálculo de las eficiencias de Cromo y DQO se realizaron mediante la diferencia de las concentraciones iniciales y finales del contaminante sobre la concentración inicial. La nomenclatura de EC Pura corresponde al uso de técnicas y tecnologías propias de la Electrocoagulación, mientras EC Mixta corresponde al uso de técnicas y tecnologías no propias de EC en su operación, tales como filtración, disolución química, biofiltración, entre otros. (-) Significa dato no proporcionada por los investigadores.

Tabla 2.

Matriz de condiciones técnicas de Electrocoagulación para la remoción de Cromo y DQO en aguas residuales industriales de curtiembre (Condiciones de diseño).

Tipo de Reactor	Diseño						Eficiencias		Tecnología de EC	Autor
	Uso de técnicas adicionales	Material de electrodos	Capacidad del reactor (L)	Cantidad de electrodos	Distancia de separación entre electrodos (mm)	Área de reacción (cm ²)	Remoción de DQO (%)	Remoción de Cromo (%)	Tipo de tecnología	Autor(es) de la investigación
Batch de plexiglás	No	Al - Al	1.30	6	10	49	47.78%	97.72%	EC Pura	Mayta, R. Mayta, J.
Batch de acrílico	(4 etapas)	Al - Al	2.50	6	25	48	83.33%	84.00%	EC Mixta	Apaza, H., Carrillo, E., Castilla, D. y Huaraya, F.
Batch de vidrio	No	Fe - Fe	0.50	2	60	45	49.00%	97.00%	EC Pura	Apaydin, O, Kurt, U. y Gonullu, M.
Batch de plexiglás	Agitador magnético	Al - Al	0.60	2	50	37	64.40%	99.00%	EC Pura	Deghles, A. y Kurt, U.
Batch de plexiglás	No	Al - Al	0.30	2	50	27	64.00%	99.76%	EC Pura	Gilpavas, E., Dobrosz-Gomez, I. y Gómez-García A.
Batch de plexiglás	Agitador magnético	Al - Al	0.80	2	22	30.74	65.70%	99.40%	EC Pura	Amar, S., Animes, G. y Subhabrata, R.
Batch de plexiglás	Agitador magnético	Al - Fe	5.00	10	20	100	36.00%	52.80%	EC Pura	Cristancho, D., Pinto, L. y Tique, J.
Batch de polietileno	No	Fe - Fe	5.00	2	40	80.5	53.50%	99.00%	EC Pura	Espinoza, F.; Fornari, M.; Módenes, A.; Palacio, S.; Da Silva, F.; Szymanski, N.;

Batch de plexiglás	Agitador magnético	A-U4G	2.50	2	20	105	95.00%	99.70%	EC Pura	Kroumov, A. y Trigueros, D. Elabbas, S.; Ouazzani, N.; Mandi, L.; Berrekhis, F.; Perdicakis, M.; Pontvianne, S.; Pons, M.; Lapicque, F. y Leclerc, J.
Batch de plexiglás	Agitador magnético	Al - Al	1.00	2	30	28	95.31%	93.15%	EC Pura	Benhadji, A., Ahmed, M. Y Maachi, R.
Batch de plexiglás	No	Al - Al	2.50	10	7	45	73.00%	99.98%	EC Pura	Abdalhadi, U.
Batch de vidrio	Agitador magnético	Al - Al	0.50	2	20	52	82.00%	97.76%	EC Pura	Mella, B., Glanert, A. y Gutterres, M.
Bioreactor con membrana	Bioreactor de membrana	AISI - Al	65.80	2	50	487.5	90.70%	67.00%	EC Mixta	Keerthi, V y Balasubramanian, N.
Batch de plexiglás	Recirculación	Fe - Fe	0.30	6	50	161	95.00%	100.00%	EC Pura	Kongjao, S., Damronglerd, S. y Hunsom, M.

Nota. Los valores de las condiciones de diseño se encuentran estandarizados a las unidades métricas internacionales. La nomenclatura de EC Pura corresponde al uso de técnicas y tecnologías propias de la Electrocoagulación, mientras EC Mixta corresponde al uso de técnicas y tecnologías no propias de EC en su operación, tales como filtración, disolución química, biofiltración, entre otros.

A partir de la presentación de información en las matrices de normalización se aplicó estadística descriptiva. Identificando el Promedio, desviación estándar, valor mínimo, máximo y mediana de las eficiencias del proceso de EC de los contaminantes expresadas en porcentajes de remoción.

Tabla 3.

Estadística descriptiva de las eficiencias de EC.

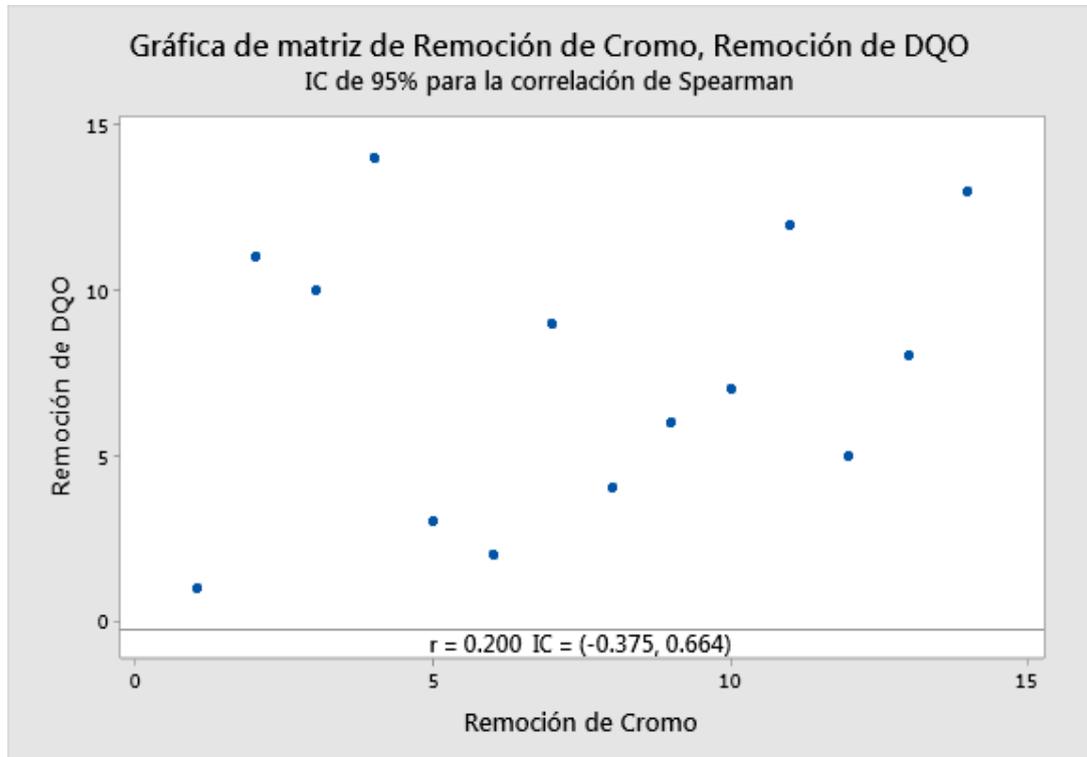
Estadística Descriptiva	Remoción de DQO (%)	Remoción de Cromo (%)
Promedio	71.05	91.88
Desviación Estándar	19.77	14.46
Valor Mínimo	36.00	52.80
Valor Máximo	95.31	100.00
Mediana	69.35	98.38

Nota. La estadística descriptiva fue realizada a través del uso de Minitab 19. Estadística descriptiva. Los resultados muestran mayores eficiencias del proceso de EC en la remoción de Cromo, incluso en los valores mínimos de remoción.

Seguidamente, para hallar la relación existente entre la remoción de cromo y DQO mediante las tecnologías de electrocoagulación exploradas se sometieron a una prueba de correlación de Rho de Spearman que permite hallar el grado e intensidad de relación entre dos variables, en este caso dos variables dependientes. Se asignaron valores jerárquicos a los resultados de los porcentajes de remoción y se realizó la prueba estadística mediante el software de minitab. Para calcular la correlación de Spearman, Minitab jerarquiza los datos sin procesar. Luego, el programa calcula el coeficiente de correlación con los datos jerarquizados.

Figura 1.

Gráfica de correlación de Spearman.



Nota. Se clasificó por jerarquías los 28 valores de remoción de ambas variables, bajo la clasificación de X y Y. Se calcula “di” para cada pareja de datos obtenidos, restando la jerarquía de Y de la de X. Se eleva al cuadrado cada “di” y se calcula la suma de los valores al cuadrado. El grado de confiabilidad establecido de 95%.

Tabla 4.

Correlación de Rho de Spearman.

	Remoción de Cromo
Remoción de DQO	0.200

Nota. Minitab 19. Correlación de Spearman. El valor calculado de r es menor que el valor crítico (0.50) para Rho de Spearman, en un nivel de significancia de 0,05.

Posteriormente, se realizaron pruebas estadísticas de correlación de cada una de las variables independientes y los porcentajes de remoción de Cr y DQO, obteniendo las siguientes tablas de regresión lineal y estadística descriptiva de promedios. A continuación, se presentan los resultados de las condiciones técnicas (variable independiente) y su grado de relación con la variable dependiente % de remoción de Cromo.

Tabla 5.

Regresión lineal pH inicial vs % de remoción de Cromo

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.0852	1	0.0852	5.48	.0372
Residual	0.1865	12	0.0155		
Total	0.2718	13			

Variables	Coefficients	Std. Error	T (Df=12)	P-Value	95% Lower	95% Upper
Intercept	1.1992	0.1243	9.648	5.27E-07	0.9284	1.4700
pH 0	-0.0457	0.0195	-2.342	.0372	-0.0883	-0.0032

Nota. Análisis de varianza un solo valor ANOVA, regresión lineal. Fuente Megastat.

Tabla 6.

Regresión lineal condiciones de diseño vs % de remoción de Cromo.

Source	SS	Df	MS	F	P-Value
Regression	0.1398	4	0.0350	1.97	.2043
Residual	0.1244	7	0.0178		
Total	0.2643	11			

Regression Output					Confidence Interval	
Variables	Coefficients	Std. Error	T (Df=7)	P-Value	95% Lower	95% Upper
Intercept	1.1043	0.1266	8.726	.0001	0.8051	1.4036
Voltaje (V)	0.00045455	0.0041	0.112	.9138	-0.00912602	0.01003512
Amperaje (A)	-0.0574	0.0208	-2.762	.0280	-0.1065	-0.0083
Densidad De Corriente	0.0023	0.0009	2.647	.0331	0.0003	0.0044

Tiempo De Contacto	-0.0022	0.0010	-2.239	.0602	-0.0045	0.0001
--------------------	---------	--------	--------	-------	---------	--------

Nota. Análisis de varianza diferencias valores, regresión lineal del Voltaje, Amperaje, Densidad de Corriente y Tiempo de contacto en simultáneo y su incidencia en la Remoción de Cromo.

Tabla 7.

Regresión lineal cantidad de electrodos vs % de remoción de Cromo.

Source	SS	Df	MS	F	P-Value
Regression	0.0608	1	0.0608	3.46	.0876
Residual	0.2109	12	0.0176		
Total	0.2718	13			

Regression Output				Confidence Interval		
Variables	Coefficients	Std. Error	T (Df=12)	P-Value	95% Lower	95% Upper
Intercept	1.0088	0.0600	16.815	1.05E-09	0.8781	1.1395
Cantidad De Electrodo	-0.0225	0.0121	-1.860	.0876	-0.0489	0.0039

Nota. Análisis de varianza un solo valor ANOVA, regresión lineal. Fuente Megastat.

Tabla 8.

Porcentajes de remoción Cromo de acuerdo al material de electrodo usado.

	Al-Al	Fe-Fe
Conteo	8	3
Promedio (%)	91.33	88.25

Nota. Estadística descriptiva. Fuente Megastat.

Tabla 9.

Porcentajes de remoción de Cromo de acuerdo a la naturaleza del contaminante

	Cromo Total	Cromo (III)
Conteo	10	4
Promedio (%)	88.96	99.14

Nota. Estadística descriptiva. Fuente Megastat. Se observa una mayor eficiencia en la remoción de Cr³⁺

Tabla 10.

Uso de agitador magnético vs % remoción de Cr.

Source	SS	Df	MS	F	P-Value
Regression	0.0775	1	0.0775	3.38	.1086
Residual	0.1606	7	0.0229		
Total	0.2381	8			

Regression Output					Confidence Interval	
Variables	Coefficients	Std. Error	T (Df=7)	P-Value	95% Lower	95% Upper
Intercept	1.1747	0.1659	7.080	.0002	0.7824	1.5670
Diseño Adicional	-0.1868	0.1016	-1.838	.1086	-0.4270	0.0535

Nota. Análisis de varianza un solo valor ANOVA, regresión lineal. Fuente Megastat.

En cuanto a los resultados de la relación entre las variables independientes y la variable dependiente % de remoción en la Demanda Química de Oxígeno, esta se muestran a continuación.

Tabla 11.

Regresión lineal pH inicial vs % de remoción de DQO

<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>Df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Value</i>
Regression	0.0199	1	0.0199	0.49	.4983
Residual	0.4885	12	0.0407		
Total	0.5083	13			

Regression Output					Confidence Interval	
<i>Variables</i>	<i>Coefficients</i>	<i>Std. Error</i>	<i>T (Df=12)</i>	<i>P-Value</i>	<i>95% Lower</i>	<i>95% Upper</i>
Intercept	0.8459	0.2012	4.205	.0012	0.4076	1.2841
Ph 0	-0.0221	0.0316	-0.698	.4983	-0.0909	0.0468

Nota. Análisis de varianza un solo valor ANOVA, regresión lineal. Fuente Megastat.

Tabla 12.

Regresión lineal conductividad inicial vs % de remoción de DQO

<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>Df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Value</i>
Regression	0.04998257	1	0.04998257	1.69	.2206
Residual	0.32601902	11	0.02963809		
Total	0.37600158	12			

Regression Output					Confidence Interval	
<i>Variables</i>	<i>Coefficients</i>	<i>Std. Error</i>	<i>T (Df=11)</i>	<i>P-Value</i>	<i>95% Lower</i>	<i>95% Upper</i>
Intercept	0.7169	0.0503	14.249	1.95E-08	0.6062	0.8276
Conductividad (K 0) Ms/Cm	0.00009488	0.00007306	1.299	.2206	0.00006593	0.00025568

Nota. Análisis de varianza un solo valor ANOVA, regresión lineal. Fuente Megastat.

Tabla 13.

Porcentajes de remoción de DQO de acuerdo al material de electrodo usado.

	<i>Al-Al</i>	<i>Fe-Fe</i>
Conteo	8	3
Promedios (%)	71.94	65.83

Nota. Estadística descriptiva. Fuente Megastat.

Tabla 14.

Porcentajes de remoción de DQO de acuerdo a la naturaleza del contaminante.

	Cromo total	Cromo (III)
Conteo	10	4
Promedios (%)	65.96	83.76

Nota. Estadística descriptiva. Fuente Megastat.

Tabla 15.

Uso de agitador magnético vs % de remoción de DQO.

Source	SS	Df	MS	F	P-Value
Regression	0.0836	1	0.0836	5.26	.0555
Residual	0.1112	7	0.0159		
Total	0.1948	8			

Regression Output				Confidence Interval		
Variables	Coefficients	Std. Error	T (Df=7)	P-Value	95% Lower	95% Upper
Intercept	0.9625	0.1381	6.972	.0002	0.6360	1.2889
Diseño Adicional	-0.1940	0.0845	-2.294	.0555	-0.3939	0.0059

Nota. Análisis de varianza un solo valor ANOVA, regresión lineal. Fuente Megastat.

Finalmente, se presentó una tabla resumen las condiciones óptimas de operación observadas en las pruebas estadísticas, se tomaron en cuenta aquellas que mostraron alguna significancia en la remoción de los contaminantes.

Tabla 16.

Tabla resumen de condiciones óptimas de operación.

Parámetros óptimos	Remoción de Cromo	Remoción de DQO
pH inicial	4.35	-
Amperaje	1.81	-
Densidad de Corriente	45.3	-
Electrodo Usado	Al - Al	Al - Al
Contaminante Principal	Cr III	Cr III
Material de Reactor	Plexiglás	Plexiglás
Uso de Agitador Magnético	No	No
Tipo de Tecnología	Electrocoagulación Pura	Electrocoagulación Pura

Nota. Los valores estimados de pH inicial, Amperaje y Densidad de corriente se obtuvieron a partir de las regresiones lineales de las condiciones técnicas y los porcentajes de remoción, siendo los estimados aquellos para un porcentaje de remoción de 100%. Por otro lado, los valores cualitativos de electrodo usado, contaminante principal, material de reactor, uso de agitador magnético y tipo de tecnología fueron tomados de la estadística descriptiva de promedio y moda.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

4.1.1. Identificar las eficiencias de las diferentes técnicas y tecnologías de electrocoagulación en la remoción de Cromo y DQO de curtiembres.

Los resultados muestran eficiencias en remoción de DQO que varían desde un 36% hasta un 95.31%, mientras que las eficiencias de la remoción de Cromo mediante tecnologías de electrocoagulación muestran resultados entre 52.80% y 100% de remoción. Esto concuerda con la investigación de Kongjao, Damronglerd y Hunsom (2008) quien obtiene la máxima remoción de Cromo Total de todas las técnicas y tecnologías de EC aplicadas a curtiembre analizadas. Las tecnologías identificadas en la investigación son dos: Tecnologías Puras de EC y Tecnologías Mixtas de EC. En promedio la remoción de DQO con cualquiera de las tecnologías de electrocoagulación es de 71.05%, mientras que la remoción de Cromo es de 91.88% mostrando mayores porcentajes de remoción siempre con el Cromo tal y como Aguilar y Palomino (2018) plantearon en su investigación, donde sin importar las variaciones en el diseño de remoción, al trabajar en conjunto una misma técnica o tecnología de EC, los resultados de porcentaje de remoción siempre son mayores para los aniones de Cromo. Por la cantidad de datos agrupados en la tecnología de EC pura y mixta no se recomienda análisis de regresión o correlación separados por grupos (Amat, 2016).

4.1.2. Identificar la relación entre la remoción de Cromo y DQO a través de la aplicación de tecnologías de electrocoagulación.

Para hallar la relación existente entre la remoción de DQO y Cromo y comprobar si estas variables se comportan de una manera igualitaria o diferente frente a los procesos de electrocoagulación se utilizó la prueba de correlación de Rho de Spearman. Esta prueba estadística se utiliza para valores muestrales bajos o menores a 50 y que no intentan medir el mismo efecto (Martínez, et al, 2009). Los resultados obtenidos muestran un valor de correlación igual a $R = 0.2$ a un 95% de confianza y un intervalo de confianza de $(-0.375, 0.664)$ esto significa que la relación existente es una correlación positiva media baja, donde el valor de R varia entre $+ 0.11$ a $+ 0.50$, según Mondragón (2014) esta relación existente no representa suficiente evidencia para inferir un efecto directo y en la misma magnitud al trabajar valores para la eficiencia de remoción de DQO y Cromo.

4.1.3. Determinar las condiciones técnicas del proceso de electrocoagulación para lograr una remoción eficiente de Cromo y DQO en aguas residuales industriales de curtiembre.

Para determinar las condiciones técnicas del proceso de electrocoagulación se realizaron pruebas estadísticas para las variables cuantitativas y cualitativas, utilizando pruebas estadísticas como la regresión lineal, promedio, moda y otras. A partir del resultado del apartado 4.1.2. que señala una relación positiva insuficiente entre las eficiencias de remoción de DQO y Cromo en las muestras analizadas, se trabajaron las pruebas estadísticas por grupos separados. Las regresiones lineales para los resultados del porcentaje de remoción de cromo fueron significativas para la regresión lineal de la tabla n° 05 y la regresión lineal múltiple de la tabla n° 06. En la primera se encontró un valor $p = 0.037$, esto significa que se rechaza la hipótesis nula específica para cada prueba ($p < 0.05$), y se acepta que la relación entre el pH inicial y el porcentaje de remoción de cromo guardan una relación significativa,

mientras que el signo del coeficiente se muestra en negativo (-), por tanto esta relación es inversamente proporcional, es decir mientras los valores de pH inicial aumentaron los valores de % de remoción de cromo fueron menos eficientes. Arroyo, et al (2009) explican que la formación de iones formados durante la disolución del ánodo se precipita con más rapidez y frecuencia cuando se trabaja con pH bajos, mientras que a pH altos la disociación de iones del ánodo se dificulta y disminuye la eficiencia del proceso de electrocoagulación. En cuanto a la regresión lineal múltiple de los parámetros iniciales y el porcentaje de remoción de cromo se obtuvo un valor p de 0.2, con lo cual no se puede rechazar la hipótesis nula. Estos datos así como el valor de R^2 de 0.23 pueden concluir que la regresión lineal múltiple tiene una muy mala correlación (Manuel Rojo, 2007) y no se puede explicar que las 4 variables asociadas (voltaje, amperaje, densidad de corriente y tiempo) se ajusten a demostrar una variable dependiente como el porcentaje de remoción de cromo. Sin embargo, Irene Moral (2006) señala que los valores asignados a explicar la variable dependiente que obtengan un p-valor menor a 0.05 pueden explicar de manera independiente la significancia o relación existente entre ellas y la variable dependiente. En ese sentido, el amperaje y la densidad de corriente obtuvieron valores de p iguales a 0.028 y 0.033 respectivamente, con relaciones inversa y directamente proporcional al porcentaje de remoción de cromo. Esto quiere decir que la energía administrada en forma de densidad de corriente elevado puede influir en la mejora de la remoción de cromo mediante electrocoagulación. Osorio y Juárez (2019) coinciden con estos resultados añadiendo que a mayor densidad de corriente administrada será mayor la producción de burbujas en los electrodos que atraparan las contaminantes y mejorará la eficiencia de remoción.

Por otro lado, en los resultados de las regresiones lineales donde la variable dependiente era la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) no se lograron

hallar regresiones y valores aceptables siendo la relación entre la conductividad y el porcentaje de remoción de DQO el que obtuvo mayor grado de relación con un p-valor de 0.22 y una R^2 igual a 0.133. No obstante en las pruebas de regresión con las variables cualitativas se halló un alto grado de relación en el uso de agitador magnético. Esta relación es inversamente proporcional al uso de agitador magnético siendo un valor p de 0.055 y un coeficiente de regresión cuadrada de 0.42 se puede inferir que el uso de agitador magnético en las pruebas de electrocoagulación no influyen positivamente en el porcentaje de remoción de DQO. Aun así, no se puede concluir la relación existente entre estas variables dado que el valor de p es mayor a 0.05 y con ello se acepta la hipótesis nula, la que nos señala que no existe una relación entre esas condiciones técnicas y la eficiencia de remoción de DQO.

Además, se utilizó la estadística descriptiva para describir la influencia de las condiciones de operación con respecto al material de electrodo, tal como se muestran en las tablas 8 y 13 los promedios de porcentaje remoción de cromo y DQO alcanzaron mayores resultados con el uso de electrodos de aluminio con un 91.3% de remoción de Cromo y 71.9% de remoción de DQO, mientras que usando electrodos de hierro los resultados fueron de 88.2% y 65.8% respectivamente. Estos resultados discrepan con los obtenidos por Bazrafshan, Mahvi, Naseri y Mesdaghinia, (2008), quienes señalan que los electrodos de hierro fueron los más efectivos para remover cromo. No obstante, esto se puede explicar dado a que las muestras utilizadas en la investigación de Bazrafshan fueron soluciones artificiales obtenidas de una muestra madre, además solo se analiza el efecto de remoción de cromo y no incluye remoción en la DQO.

De este modo, la explicación del comportamiento de los electrodos de hierro y aluminio y el porcentaje de remoción de cromo y DQO se debe a la pasificación de los electrodos durante la electrocoagulación. Ingelsson, Yasri, y Roberts (2020) describen la

actividad del electrodo de Hierro cuando se usa como ánodo y como cátodo generando radicales hidroxilios que pueden estar compuestos por Fe (II), Fe (III) o una combinación de ambos, estos alcanzan los radicales de Cr (III) y son coagulados luego de la descomposición de Cr (VI). Además los radicales Fe (0) son expulsados químicamente en forma de gases al medio ambiente. Los electrodos de Fe son eficaces para remociones de Cromo especialmente de Cromo trivalente ya que es la primera reacción química luego de descomposición del ánodo.

Por otro lado, Bazrafshan, Mohammadi, Ansari y Hossein (2015) explican la descomposición del electrodo de Aluminio tanto como ánodo y cátodo generando radicales libres de hidroxilio (OH^\cdot) en la descomposición del radical de Al^{3+} como tal formando $\text{Al}(\text{OH})_3$ que reacciona formando burbujas que encapsulan contaminante orgánicos reduciendo sus cantidades. Esto explica porque la remoción de DQO es elevada cuando se trabaja con electrodos de aluminio.

Finalmente algunas condiciones técnicas de operación como el contaminante Principal tratado, material de Reactor, uso de Agitador Magnético y tipo de Tecnología fueron encontradas mediante la aplicación de estadística descriptiva de moda, siendo el Cromo Trivalente el principal material tratado, en un reactor tipo batch de plexiglás, usando agitador magnético para la remoción de Cromo y sin su uso para la remoción de DQO, además el tipo de tecnología más usada fue la de electrocoagulación Pura con un 85.71 % de incidencia.

4.2. Conclusiones

Se identificaron las eficiencias de las técnicas y tecnologías de electrocoagulación en la remoción de Cromo y DQO aplicadas en curtiembres, describiendo las condiciones técnicas de operación, así como las concentraciones iniciales y finales del contaminante analizado en las matrices de normalización, luego se calcularon los porcentajes de remoción. Las eficiencias transcurrieron desde el 52% de remoción al 100% de remoción de Cromo en las investigaciones de Cristancho, Pinto y Tique (2019) y la de Kongjao, Damronglerd y Hunsom (2008), respectivamente. Del mismo modo, las eficiencias de remoción de DQO variaron desde un 36% hasta un 95.31%, correspondientes a las investigaciones de Cristancho, Pinto y Tique (2019) y de Amel, Mourad y Rachida (2011), respectivamente.

Se identificó la relación entre la remoción de Cromo y DQO a través de la aplicación de tecnologías de electrocoagulación a través del estadístico de correlación de la prueba de Rho de Spearman quien demuestra una correlación positiva entre las variables, pero poco significativa con un valor de R cuadrado de 0.20. Por tanto, las condiciones técnicas de operación deben ser analizadas para describir la eficiencia de remoción de Cromo y DQO por separado.

Se determinaron cuales son las condiciones técnicas del proceso de electrocoagulación para lograr una remoción eficiente de Cromo y DQO en aguas residuales industriales de curtiembre a través de las pruebas estadística de regresión lineal y estadística descriptiva aplicadas a todas las variables de diseño del proceso de electrocoagulación demostrando que el pH inicial de la solución tratada influirá inversamente en la remoción de cromo, teniendo un valor óptimo de 4.35, por su parte, el amperaje y densidad de corriente influyen directamente en la remoción de cromo, con valores estimados de 1.81 A y 45.3 mA/cm², respectivamente. Por otro lado, el material de electrodo usado será crucial en las

condiciones técnicas del proceso de electrocoagulación, ya que dependiendo a los contaminantes que se deseen tratar se podrá elegir entre una relación de Al – Al o Fe – Fe, para mayores eficiencias de remoción de DQO y Cromo, respectivamente. Sin embargo, la opción más adecuada para aguas residuales industriales de curtiembre sin importar cual fuese el contaminante principal a tratar es el electrodo de Aluminio. De igual manera el uso de agitadores magnéticos no es tan efectivo para la remoción de DQO, y las mejoras en la eficiencia de remoción de Cromo no son tan notables, por lo que se recomienda dejar en reposo el agua tratada. Finalmente las tecnologías de electrocoagulación pura tuvieron mayor incidencia de uso por parte de los investigadores.

REFERENCIAS

- Aguilar, E. (2015). *Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- Aguilar, F. y Palomino, A. (2018). *Evaluación de un Sistema de Electrocoagulación de Flujo Continuo para la Remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre-Huachipa-2018*. [Tesis titulación, Universidad César Vallejo: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/27948>]
- Amar, S., Animes, G. y Subhabrata, R. (2011). Removal of Chromium and Organic Pollutants from Industrial Chrome Tanning Effluents by Electrocoagulation. *Chemical Engineering Technology*, 34 (5), 775 – 783. <https://doi.org/10.1002/ceat.201000236>
- Amat, J. (2016). *Introducción a la regresión lineal múltiple*. Ciencia Datos. https://www.cienciadedatos.net/documentos/25_regresion_lineal_multiple#:~:text=En%20el%20libro%20Hanbook%20of,n%C3%BAmero%20de%20predictores%20del%20modelo.
- Amel, B., Mourad, T. y Rachida, M. (2011). Electrocoagulation and effect of cathode materials on the removal of pollutants from tannery wastewater of Rouïba. *Desalination*, 277 (3) 128 – 134. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.04.014>
- American Psychological Association. (2020). *Publication manual of the American Psychological Association (7th ed.)*. <https://doi.org/10.1037/0000165-000>

- Apaydin, O, Kurt, U. y Gonullu, M. (2009). An investigation on the treatment of tannery wastewater by electrocoagulation. *Global NEST Journal*, 11 (4) 546 – 555
- Apaza, H., Carrillo, E., Castilla, D. y Huaraya, F. (2020). Modelo de un sistema de tratamiento para efluentes de la industria de curtiembre. *Revista de investigaciones de la escuela de posgrado*, 9 (3), 1647 - 1658.
<http://dx.doi.org/10.26788/riepg.2020.3.180>
- Arango, Á. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 2 (1), 49 - 56
<https://www.redalyc.org/pdf/695/69520109.pdf>
- Arboleda, J. y Herrera, P. (2015). *Evaluación de un proceso de electrocoagulación en un reactor tipo Batch para la remoción de cromo hexavalente (Cr^{6+}) con electrodos de aluminio – aluminio y de hierro – aluminio en condiciones de laboratorio*. [Tesis titulación, Universidad Santo Tomás]. <https://hdl.handle.net/11634/613>
- Argandoña, E. y García, G. (2013). *Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles, en el efluente de las lagunas de oxidación*. [Tesis titulación, Universidad Técnica de Manabí].
- Arroyo, M. (2011). *Tratamiento de disoluciones que contienen cromo hexavalente mediante electrocoagulación con ánodos de hierro* [Tesis doctoral no publicada, Universitat Politècnica de València]. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/11931>
- Arroyo, M., Pérez, V., Montañés, M., García, J. y Guiñón, J. (2009). Effect of pH and chloride concentration on the removal of hexavalent chromium in a batch electrocoagulation reactor. *Journal of Hazardous Materials*, 169 (3), 1127 - 1133,
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.04.089>.

- Bazrafshan E., Mohammadi, L., Ansari, A. y Hossein, A. (2015). Heavy metals removal from aqueous environments by electrocoagulation process– a systematic review. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 13 (74), 1 – 16. DOI: 10.1186/s40201-015-0233-8
- Bazrafshan, E., Mahvi, A., Naseri, S. y Mesdaghinia, A. (2008). Performance evaluation of electrocoagulation process for removal of chromium (VI) from synthetic chromium solutions using iron and aluminum electrodes. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 32 (1), 59-66.
- Bolaños, R. y Calderón, 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_arttext&pid=S1022-51292014000100007&lng=es&tlng=es.
- Collacci, A. (08 de mayo de 2018). *La situación de las aguas residuales en Lima*. Pontífice Universidad Católica del Perú. <https://puntoedu.pucp.edu.pe/opinion/la-situacion-de-las-aguas-residuales-en-lima/>
- 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). *MUTIS Journal*. 9 (2) 34 – 48. <https://doi.org/10.21789/22561498.1590>
- De La Cruz, P. , 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 titulación, Universidad Nacional del Callao]. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/3594>

- Deghles, A. y Kurt, U. (2015) Treatment of raw tannery wastewater by electrocoagulation technique: optimization of effective parameters using Taguchi method. *Desalination and Water Treatment*, 1(1), 1 – 12. <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2015.1074622>
- Deghles, A. y Kurt, U. (2016) Treatment of tannery wastewater by a hybrid electrocoagulation/electrodialysis process, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 104 (1), 43 – 50. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2016.02.009>
- Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA] (s/f). *Parámetros organolépticos*. Recuperado el 15 de abril de 2021, de http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf
- Dobrosz, I., Gómez, M. e Ibarra, H. (2020). Tratamiento de aguas residuales de la industria del café soluble vía Electrocoagulación - Oxidación Anódica. Selección de los electrodos. *Revista EIA*, 17 (34), 1–17. <https://doi.org/10.24050/reia.v17i34.1328>
- Elabbas, S., Ouazzani, N., Mandi, L., Berrekhis, F. Perdicakis, M., Pontvianne, S., Pons, M., Lapique, F. y Leclerc, J. (2015) Treatment of highly concentrated tannery wastewater using electrocoagulation: Influence of the quality of aluminium used for the electrode, *Journal of Hazardous Materials*, 15 (1), 1 – 37. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.01.043>
- Espinoza, F., Fornari, M., Módenes, A., Palácio, S., da Silva, F., Szymanski, N., Kroumov, A. y Trigueros, D. (2009). Pollutant removal from tannery effluent by electrocoagulation. *Chemical Engineering Journal*, 151 (1), 59 – 65. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.01.043>

- García, F., Callejas, L., Reyes, V. y Santillán, M. (Ed.). (2012). Electrocoagulación: una alternativa para depuración de lactosuero residual. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*. 5 (3), 51–77.
<http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/download/34727/31654>
- GilPavas, E. Dobrosz, I. y Gómez, M. (2011). The removal of the trivalent chromium from the leather tannery wastewater: the optimisation of the electro-coagulation process parameters. *Water Science y technology*. 63 (3) 386 – 394.
<https://doi.org/10.2166/wst.2011.232>
- GreenPeace. (2013). *Curtiembres: Actualización de evidencias de contaminación en la Cuenca Matanza Riachuelo*. Greenpeace Argentina. <https://bit.ly/3rnSn9q>
- 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 titulación, Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/26426>
- Hassaine, F. y Sadoun, L. (2005) Treatment of industrial wastes containing toxic metals (chromium), purification by liquid membranas. *Desalination*, 185(1), 335-340.
- Hernández, L. (2011) *Investigación sobre procesos avanzados de tratamiento y depuración de las aguas mediante electrocoagulación*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid].
https://oa.upm.es/7755/1/PABLO_SANTIAGO_HERNANDEZ_LEHMANN.pdf
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2019). *Perú anuario de estadísticas ambientales* 2019. Autoedición.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1704/libro.pdf

Keerthi, V. y Balasubramanian, N. (2013). Electrocoagulation-integrated hybrid membrane processes for the treatment of tannery wastewater. *Environ Sci Pollut Res*, 20 (1), 7441 – 7449. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1766-y>

Kongjao, S., Damronglerd, S. y Hunsom, M. (2008). Simultaneous removal of organic and inorganic pollutants in tannery wastewater using electrocoagulation technique. *Korean J. Chem. Eng.* 25 (4), 703 – 709. <https://doi.org/10.1007/s11814-008-0115-1>

Larios, J., González, C. y Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, 2 (2), 9 – 25. <https://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf>

López, C., Buitrón, G y Cervantes, J. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño*. IWA Publishing

Manco, F. y Cartolin, A. (2018). *Evaluación de un Sistema de Electrocoagulación de Flujo Continuo para la Remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre – Huachipa*. [Tesis Titulación, Universidad Cesar Vallejo] <https://hdl.handle.net/20.500.12692/27948>

Martínez, R., Tuya, L., Martínez, M., Pérez, A., y Cánovas, A. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8 (2), 1-14

- Mayta, R. y Mayta, J. (2017) Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación. *Revista sociedad Química Perú*, 83(3), 331 – 340
- Mella, B., Glanert, A. y Gutterres, M. (2015). Removal of chromium from tanning wastewater and its reuse. *Process Safety and Environmental Protection*, 95 (1), 195 – 201. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.03.007>
- Mendoza, T., Christian, P., y Hernández Sampieri, R. (2018). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill México.
- Miranda, M. (2009). Calidad del Agua: Turbiedad de Agua. <https://bit.ly/3fqkkHZ>
- Molla, M.; Yousuf, R.; Schennach, P.; Cocke, D. (2001). Electrocoagulation (EC) science and applications. Science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 84, 29–41. [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894\(01\)00176-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894(01)00176-5)
- Mondragón, M. (2014). Uso de la correlación de Spearman en un estudio de intervención en fisioterapia. *Movimiento científico*, 8 (1), 98-104 <https://doi.org/10.33881/2011-7191.mct.08111>
- Monjarás, A.; Bazán, A.; Pacheco, Z.; Rivera, J.; Zamarripa, J. y Cuevas, C. (2019) Diseño de investigación. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 15, 119-112.
- Moral, I. (2006). Modelos de regresión: lineal simple y regresión logística. En: *Métodos Estadísticos para Enfermería Nefrológica (pp. 195-2014)*. Autoedición.
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2013) *Criteria for a Recommended Standard. Occupational Exposure to hexavalent chromium*. http://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-128/pdfs/2013_128.pdf

- Neyra, E. y LLenque, E. (2011). *Grado de contaminación por relaves mineros en la cuenca del río Moche (La Libertad)*. [Tesis Titulación, Universidad Nacional de Trujillo].
<http://www.dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3334>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014). *Fiscalización ambiental de aguas residuales*. (1ª ed.). Autoedición.
- Organización Mundial de la salud (s.f.) *Temas de salud: Agua*.
<https://www.who.int/topics/water/es/>
- Osorio, G. y Juárez, C. (2019). *Determinación de los parámetros electroquímicos óptimos para la remoción de Cromo (III) y DQO en aguas de curtido a través del proceso de electrocoagulación en un reactor de recirculación*. [Tesis Titulación, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/9254/QUoscagv%26jucaca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Peláez, I. (2016). Modelos de regresión: lineal simple y regresión logística. *Revista Seden*, 14(1), 195-214.
- Powell water systems Inc. (2001). *Powell Electrocoagulation: Sustentable Technology For the Future*. <http://earthmoving.ellers.com.au/documents/PWS%20Technical%20Bulletin.pdf>
- Rey de Castro, A. (2013). *Recuperación de cromo (III) de efluentes de curtido para el control ambiental y optimización del proceso productivo*. [Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5123>

- Rojas, R. (2002). *Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*, <https://bit.ly/3I9xgyo>
- Rojo, J. (2007). *Regresión lineal múltiple*. Laboratorio de estadística
- Romero, R. (2015) *Diseño de una planta de recuperación del Sulfato de Cromo (III) proveniente de las aguas del proceso de curtido de cuero, mediante electrocoagulación y reacción química*. [Tesis titulación, Escuela Politécnica Nacional de Ecuador]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11844>
- Serrano, A. (2017). *Influencia de la densidad de corriente y la distancia entre electrodos en la remoción del color y demanda química de oxígeno de efluentes de recurtido usando la electrocoagulación - ozonificación* [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Trujillo], <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9884>
- Yasri, N. y Roberts, E. (2020) Electrode passivation, faradaic efficiency, and performance enhancement strategies in electrocoagulation—a review. *Water Research*, 187 (1) 1-25 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116433>

ANEXOS

Anexo 1.

Matriz De Búsqueda De Información

Base de datos	Búsqueda	N ^a de artículos	N ^a de artículos excluidos	N ^a de artículos seleccionados
ScieELO	Electrocoagulación / Remoción de Cromo / Chromium	24	23	1
Dinalnet	Tratamiento de aguas residuales con electrocoagulación / Remoción de Cromo / Remoción de DQO	83	83	0
Google Académico	Tannery wastewater / Aguas residuales de curtiembre / Electrocoagulación / Electrocoagulation	7093	7092	1
Redalyc	Electrocoagulación / Tannery effluent	142	139	3
World Wide Science	Electrocoagulación para remoción de cromo y DQO / Chrome removal	95	93	2
ScienceDirect	Remove of Chromium and DQO / Electrocoagulation for tanney effluent / Electrocoagulation	1368	1363	5
Springer Link	Electrocoagulation of tannery effluent	154	153	2
	Total	8959	8946	14

Anexo 2.

Publicaciones revisadas a texto completo.

N°	Título	Año	Autor(es)	Tipo	Idioma	Ubicación	Link
1	Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación	2017	Roddy Mayta, Jhony Mayta	Artículo	Español	Lima / Perú	http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000300008&lang=es
2	Evaluación y regulación de parámetros en un equipo diseñado para la disminución de cromo (VI), provenientes de la industria de recubrimientos galvánicos	2013	Gema Eunice Acosta Niño, Alejandro Bourdón García, Carlos Andrés Coy Barrera	Artículo	Español	Bogota / Colombia	http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702013000100007&lang=es
3	Sistema de electrocoagulación como tratamiento de aguas residuales galvánicas	2010	Nelly Bibiana Morales Posada, Gema Eunice Acosta Niño	Artículo	Español	Bogota / Colombia	http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702010000100003&lang=es
4	Empleo de la Electrocoagulación como Método para Remoción de Cromo en Aguas Residuales de Origen Galváni	2016	Morales Posada, Nelly Bibiana; Acosta Niño, Gema Eunice	Artículo	Español	Bogota / Colombia	https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5621394
5	La electrocoagulación como un tratamiento eficiente para la remoción de metales pesados presentes en aguas residuales	2013	Acosta Niño, Gema Eunice; Coy Barrera, Carlos Andrés; Bourdón García, Alejandro ; Cuervo Lumbaque, Elisabeth	Revisión bibliográfica	Español	Bogota / Colombia	https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6684761
6	Modelo de un sistema de tratamiento para efluentes de la industria de curtiembre	2020	Hugo Apaza Aquino, Edgar Daniel Carrillo Monteagudo, Danery Katherine Castilla Colpaert, Froilan Rodolfo Huaraya Chambi	Artículo	Español	Puno / Perú	http://revistas.unap.edu.pe/epg/index.php/investigaciones/article/view/2278
7	Investigación sobre procesos avanzados de tratamiento y depuración de las aguas mediante electrocoagulación	2011	Pablo Hernández Lehmann	Tesis	Español	Madrid / España	https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=118266
8	Tratamiento de disoluciones que contienen cromo hexavalente mediante electrocoagulación con ánodos de hierro	2011	María Guadalupe Arroyo Núñez	Tesis	Español	Valencia / España	https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=98876

9	electrocoagulación: una alternativa para depuración de lactosuero residual	2012	Francisco Prieto García, Judith Callejas Hernández, Víctor E. Reyes Cruz, Yolanda Marmolejo Santillán	Revisión bibliográfica	Español	México DF / México	http://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/34727
10	Determinación de los parámetros electroquímicos óptimos para la remoción de cromo (iii) y dco en aguas de curtido a través del proceso de electrocoagulación en un reactor de recirculación	2019	Osorio Casquina, Gisella Veronica; Juarez Calderon, Cesar Alejandro	Tesis	Español	Arequipa / Perú	http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9254
11	Evaluación de un Sistema de Electrocoagulación de Flujo Continuo para la Remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre-Huachipa-2018	2018	Franklin Rómulo Aguilar Mancco, Allison Palomino Cartolin	Tesis	Español	Lima / Perú	https://hdl.handle.net/20.500.12692/27948
12	Influencia del PH y el tiempo en la remoción de cromo hexavalente presente en soluciones acuosas utilizando la electrocoagulación	2018	José Cruz Monzón, Carlos Mendocilla Murillos	Artículo	Español	Trujillo / Perú	http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/INNOVACION/article/view/1730
13	evaluación de un proceso de electrocoagulación en un reactor tipo batch para la remoción de cromo hexavalente (Cr ⁶⁺) con electrodos de aluminio – aluminio y de hierro – aluminio en condiciones de laboratorio	2015	JUAN MANUEL ARBOLEDA CAMACHO, PAULA JULIETH HERRERA LÓPEZ	Tesis	Español	Bogota / Colombia	https://hdl.handle.net/11634/613
14	Una investigación sobre el tratamiento de aguas residuales de tannery por electrocoagulación	2009	Ö. APAYDIN*, U. KURT, M.T. GÖNÜLLÜ	Artículo	Inglés	Estambul / Turquía	https://www.researchgate.net/profile/Omer_Apaydin/publication/228374767_An_Inv estigation_on_the_treatment_of_tannery_wastewater_by_Electrocoagulation/links/540edf4f0cf2d8daacea2a8/An-Inv estigation-on-the-treatment-of-tannery-wastewater-by-Electrocoagulation.pdf
15	Evaluación del rendimiento del proceso de electrocoagulación para la eliminación de cromo (VI) de soluciones de cromo sintético utilizando electrodos de hierro y aluminio	2006	Edris BAZRAFESHAN, Amir Hossein MAHVI, Simin NASERI, Ali Reza MESDAGHINIA	Artículo	Inglés	Estambul / Turquía	https://www.researchgate.net/publication/288801785_Performance_evaluation_of_el ectrocoagulation_process_for_removal_of_chromium_VI_from_synthetic_chromium_solutions_using_iron_and_aluminum_electrodes

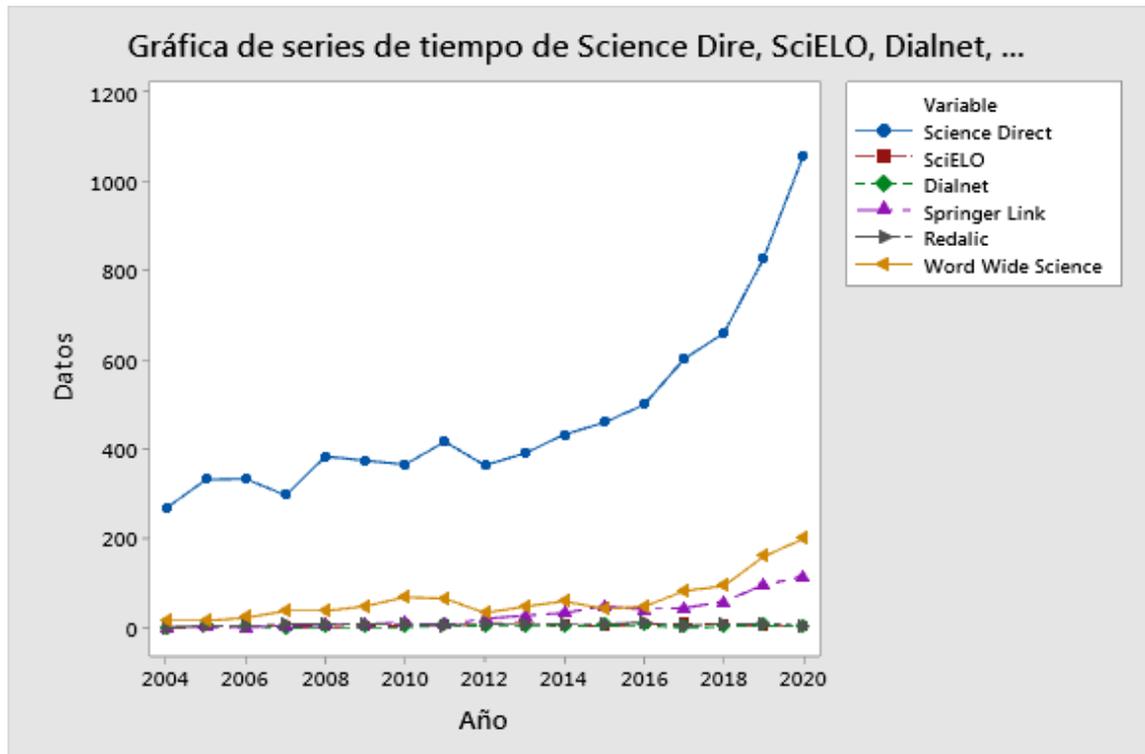
16	Tratamiento de aguas residuales de curtiduría en bruto mediante técnica de electrocoagulación: optimización de parámetros efectivos utilizando el método Taguchi	2015	Abdalahdi Deghlesa & Ugur Kurt	Artículo	Inglés	Estambul / Turquía	https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1074622
17	La eliminación del cromo trivalente de las aguas residuales de la curtiduría de cuero: la optimización de los parámetros del proceso de electrocoagulación	2011	E. GilPavas, I. Dobrosz-Gómez and M. Á. Gómez-García	Artículo	Inglés	Medellín / Colombia	https://doi.org/10.2166/wst.2011.232
18	Eliminación de cromo y contaminantes orgánicos de los efluentes industriales de curtiembre por cromo por electrocoagulación	2011	Animes K. Golder Amar N. Samanta Subhabrata Ray	Artículo	Inglés	Cuwahati / India	https://doi.org/10.1002/ceat.201000236
19	Eliminación de cromo del efluente de la industria de galvanoplastia mediante electrocoagulación	2013	Shiv Kumar Verma ; Vinita Khandegar ; and Anil. K. Saroha	Artículo	Inglés	Nueva Delhi / India	https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29HZ.2153-5515.0000170
20	Evaluación de la eficiencia de un sistema de electrocoagulación en los vertimientos de curtiembres en el sector de Villapinzón (Cundinamarca)	2019	Cristancho MontenegroD. L., Pinto HernándezL. M., & Tique HilariónJ. S.	Artículo	Español	Bogota / Colombia	https://doi.org/10.21789/22561498.1590
21	Eliminación de contaminantes del efluente de la curtiduría por electrocoagulación	2009	Fernando R. Espinoza-Quiñones*, Marilda M.T. Fornari, Aparecido N. Módenes, Soraya M. Palácio, Fernando G. da Silva Jr., Nayara Szymanski, Alexander D. Kroumov, Daniela E.G. Trigueros	Artículo	Inglés	Paraná / Brasil	https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.01.043
22	Tratamiento de aguas residuales de curtiduría altamente concentradas mediante electrocoagulación: influencia de la calidad del aluminio utilizado para el electrodo	2015	S. Elabbas N. Ouazzani L. Mandi F. Berrekhis M. Perdicakis S. Pontvianne M-N. Pons F. Lopicque J-P Leclerc	Artículo	Inglés	Marruecos	https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.01.043
23	Electrocoagulación y efecto de los materiales catódicos en la eliminación de contaminantes de aguas residuales de curtiduría de Rouïba	2011	Amel Benhadji, Mourad Taleb Ahmed, Rachida Maachi	Artículo	Inglés	Rouïba / Argelia	https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.04.014

24	Tratamiento de aguas residuales de la curtiduría mediante un proceso híbrido de electrocoagulación / electrodiálisis	2016	Abdalhadi Deghles, Ugur Kurt	Artículo	Inglés	Estambul / Turquía	https://doi.org/10.1016/j.cep.2016.02.009
25	Eliminación de cromo de las aguas residuales de curtido y su reutilización.	2015	Bianca Mella, Ana Cláudia Glanert, Mariliz Gutterres	Artículo	Inglés	Porto Alegre / Brasil	https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.03.007
26	Tratamiento de aguas residuales del tambor encalado de la curtiduría por electrocoagulación	2009	I. Ayhan Sengil, Sedat Kulac, Mahmut Özacar	Artículo	Inglés	Sakarya / Turquía	https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.01.099
27	Uso de adsorción usando carbón activado granular (GAC) para la mejora de eliminación de cromo de aguas residuales sintéticas por electrocoagulación	2008	N. Vivek Narayanan, Mahesh Ganesan	Artículo	Inglés	Tamil Nadu / India	https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.113
28	Eliminación de cromo (VI) de las aguas residuales mediante electrocoagulación combinada-electroflotación sin filtro	2004	Ping Gao, Xueming Chen, Feng Shen, Guohua Chen	Artículo	Inglés	Kowloon / Hong Kong	https://doi.org/10.1016/j.seppur.2004.10.008
29	Eliminación simultánea de cromo (VI) y fluoruro por electrocoagulación Electroflotation: aplicación de un ánodo híbrido de Fe-Al	2015	S. Aoudj, A. Khelifa, N. Drouiche, R. Belkada, D. Miroud	Artículo	Inglés	Argel / Argelia	https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.12.081
30	Efecto del pH y la concentración de cloruro en la eliminación de cromo hexavalente en un reactor de electrocoagulación por lotes	2009	M.G. Arroyo, V. Pérez-Herranz, M.T. Montañés, J. García-Antón, J.L. Guiñón	Artículo	Inglés	Valencia / España	https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.04.089
31	Modelado y optimización del voltaje y el tiempo de tratamiento por electrocoagulación para la remoción de cromo hexavalente	2011	Manpreet S. Bhatti , Akepati S. Reddy , Rajeev K. Kalia , Ashwani K. Thukral	Artículo	Inglés	Punjab / India	https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.10.055
32	Eliminación de cromo trivalente por electrocoagulación.	2007	A.K. Golder, A.N. Samanta, S. Ray	Artículo	Inglés	Kharagpur / India	https://doi.org/10.1016/j.seppur.2006.06.010
33	Optimización de la eliminación de cromo trivalente por electrocoagulación utilizando diseño experimental	2009	Z. Zaroual, H. Chaair , A.H. Essadki, K. El Ass, M. Azzi	Artículo	Inglés	Casablanca / Marruecos	https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.09.040
34	Caracterización de la eliminación de cromo (VI) del agua subterránea por electrocoagulación.	2013	Shaima S. Hamdan, Muftah H. El-Naas	Artículo	Inglés	Al-Ain / Emiratos Árabes	https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.11.006

35	Procesos de membrana híbrida integrados con electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la curtiduría	2013	Keerthi & V. Vinduja & N. Balasubramanian	Artículo	Inglés	Chennai / India	https://doi.org/10.1007/s11356-013-1766-y
36	Eliminación simultánea de contaminantes orgánicos e inorgánicos en aguas residuales de la curtiduría mediante la técnica de electrocoagulación.	2008	Sangkorn Kongjao, Somsak Damronglerd, and Mali Hunsom	Artículo	Inglés	Bangkok / Tailandia	https://doi.org/10.1007/s11814-008-0115-1
37	Tratamiento de aguas residuales por electrocoagulación: una revisión	2013	Sahu, O., Mazumdar, B. & Chaudhari, PK	Revisión bibliográfica	Inglés	Raipur / India	https://doi.org/10.1007/s11356-013-2208-6
38	Eliminación de cromo (III) de aguas residuales por método de electrocoagulación.	2013	Toktam Shahriari, Gholamreza Nabi Bidhendi, Naser Mehrdadi, and Ali Torabian	Artículo	Inglés	Tehran / Irán	https://doi.org/10.1007/s12205-014-0642-8

Anexo 03.

Resultados De Publicaciones Sobre Electrocoagulación En Las Diferentes Bases De Datos.



Nota. Elaboración Propia

Anexo 04.

Artículos incluidos en el trabajo de investigación.

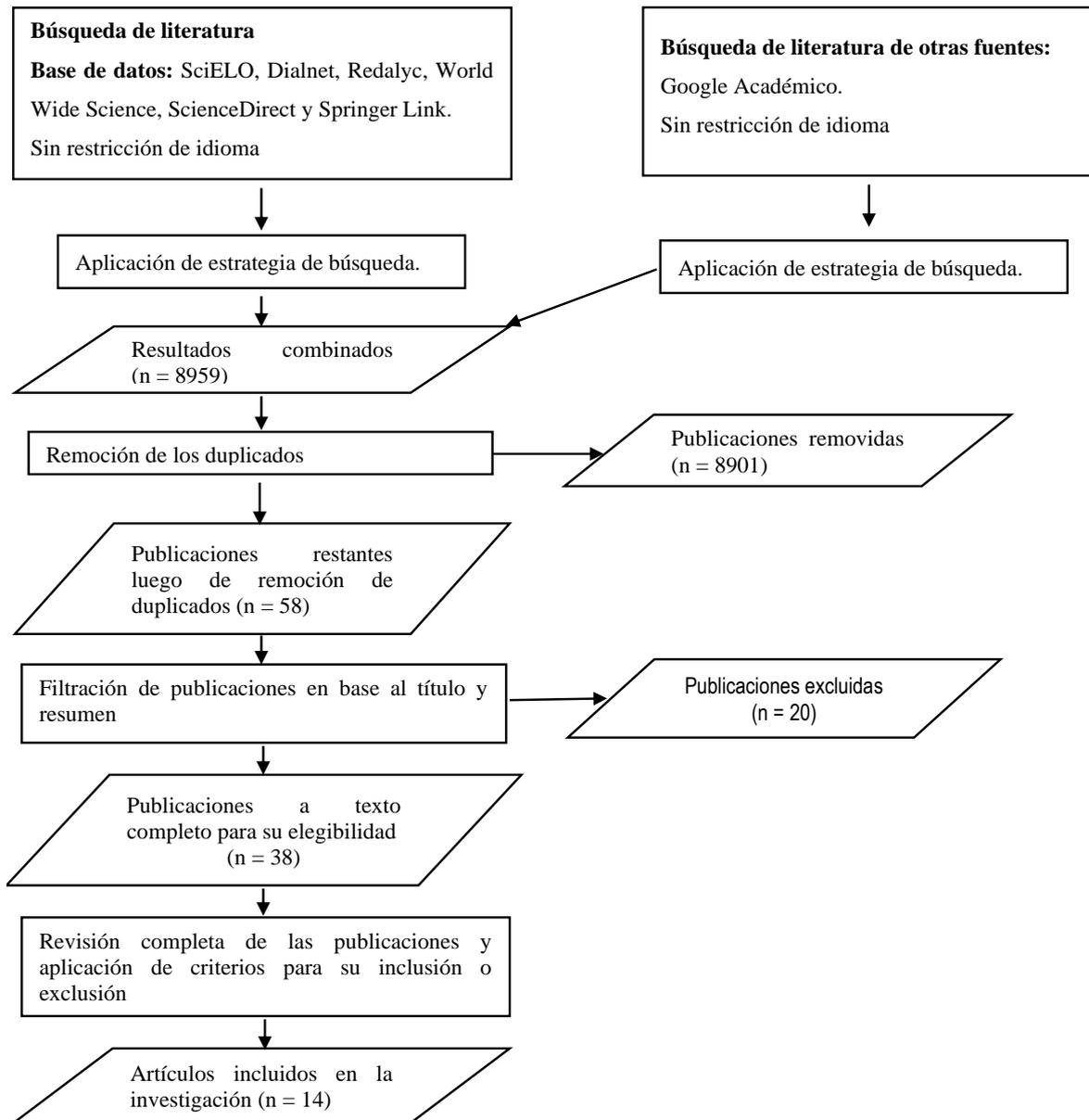
Nº	Título	Año	Autor(es)	Idioma	Ubicación
1	Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación	2017	Roddy Mayta, Jhony Mayta	Español	Lima / Perú
2	Modelo de un sistema de tratamiento para efluentes de la industria de curtiembre	2020	Hugo Apaza Aquino, Edgar Daniel Carrillo Monteagudo, Danery Katherine Castilla Colpaert, Froilan Rodolfo Huaraya Chambi	Español	Puno / Perú
3	Una investigación sobre el tratamiento de aguas residuales de tannery por electrocoagulación	2009	Ö. Apaydin* , U. Kurt, M.T. Gönüllü	Inglés	Estambul / Turquía
4	Tratamiento de aguas residuales de curtiduría en bruto mediante técnica de electrocoagulación: optimización de parámetros efectivos utilizando el método Taguchi	2015	Abdalhadi Deghlesa & Ugur Kurt	Inglés	Estambul / Turquía
5	La eliminación del cromo trivalente de las aguas residuales de la curtiduría de cuero: la optimización de los parámetros del proceso de electrocoagulación	2011	E. GilPavas, I. Dobrosz-Gómez and M. Á . Gómez-García	Inglés	Medellín / Colombia
6	Eliminación de cromo y contaminantes orgánicos de los efluentes industriales de curtiembre por cromo por electrocoagulación	2011	Animes K. Golder Amar N. Samanta Subhabrata Ray	Inglés	Cuwahati / India
7	Evaluación de la eficiencia de un sistema de electrocoagulación en los vertimientos de curtiembres en el sector de Villapinzón (Cundinamarca)	2019	Cristancho MontenegroD. L., Pinto HernándezL. M., & Tique HilariónJ. S.	Español	Bogota / Colombia
8	Eliminación de contaminantes del efluente de la curtiduría por electrocoagulación	2009	Fernando R. Espinoza-Quñiones*, Marilda M.T. Fornari, Aparecido N. Módenes, Soraya M. Palácio, Fernando G. da Silva Jr., Nayara Szymanski, Alexander D.	Inglés	Paraná / Brasil

				Kroumov, Daniela E.G. Trigueros		
9	Tratamiento de aguas residuales de curtiduría altamente concentradas mediante electrocoagulación: influencia de la calidad del aluminio utilizado para el electrodo	2015	S. Elabbas N. Ouazzani L. Mandi F. Berrekhis M. Perdicakis S. Pontvianne M-N. Pons F. Lopicque J-P Leclerc	Inglés	Marruecos	
10	Electrocoagulación y efecto de los materiales catódicos en la eliminación de contaminantes de aguas residuales de curtiduría de Rouïba	2011	Amel Benhadji, Mourad Taleb Ahmed, Rachida Maachi	Inglés	Roubia / Argelia	
11	Tratamiento de aguas residuales de la curtiduría mediante un proceso híbrido de electrocoagulación / electrodiálisis	2016	Abdalhadi Deghles, Ugur Kurt	Inglés	Estambul / Turquía	
12	Eliminación de cromo de las aguas residuales de curtido y su reutilización.	2015	Bianca Mella, Ana Cláudia Glanert, Mariliz Gutterres	Inglés	Porto Alegre / Brasil	
13	Procesos de membrana híbrida integrados con electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la curtiduría	2013	Keerthi & V. Vinduja & N. Balasubramanian	Inglés	Chennai / India	
14	Eliminación simultánea de contaminantes orgánicos e inorgánicos en aguas residuales de la curtiduría mediante la técnica de electrocoagulación.	2008	Sangkorn Kongjao, Somsak Damronglerd, and Mali Hunsom	Inglés	Bangkok / Tailandia	

Nota. Elaboración propia.

Anexo 05.

Flujograma de selección de artículos para el trabajo de investigación.



Nota. Elaboración Propia.

Anexo 07.

Regresiones lineales: Condiciones Técnicas vs Porcentaje Remoción de DQO (Demanda Química de Oxígeno)

A7.1. Relación entre pH y % Remoción

Regression Analysis		Relación entre pH y % Remoción	
	r ² 0.039	n	14
	r -0.198	k	1
	Std. Error 0.202	Dep. Var.	Remoción de DQO (%)

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.0199	1	0.0199	0.49	.4983
Residual	0.4885	12	0.0407		
Total	0.5083	13			

Regression output

variables	coeficien		t (df=12)	p-value	confidence interval	
	ts	std. error			95% lower	95% upper
Intercept	0.8459	0.2012	4.205	.0012	0.4076	1.2841
pH 0	-0.0221	0.0316	-0.698	.4983	-0.0909	0.0468

A7.2. Relación entre Conductividad y % Remoción

Regression Analysis		Relación entre Conductividad y % Remoción	
	r ² 0.133	n	13
	r 0.365	k	1
	Std. Error 0.172	Dep. Var.	Remoción de DQO (%)

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.049982	1	0.049982	1.69	.2206
Residual	0.326019	11	0.029638		
Total	0.376001	12			

Regression output					confidence interval		
variables	coeficien ts	std. error	t (df=11)	p-value	95% lower	95% upper	
Intercept	0.7169	0.0503	14.249	1.95E-08	0.6062	0.8276	
Conductividad (k 0 mS/cm)	0.000094 88	0.000073 06	1.299	.2206	0.0000659 3	0.000255 68	

A7.3. Relación entre concentración inicial de DQO y % Remoción

Regression Analysis		Relación la concentración inicial de DQO y % Remoción	
r ²	0.050	n	14
r	-0.223	k	1
Std. Error	0.201	Remoción de DQO Dep. Var. (%)	

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.025378 18	1	0.025378 18	0.63	.4426
Residual	0.482934 46	12	0.040244 54		
Total	0.508312 64	13			

Regression output					confidence interval		
variables	coeficien ts	std. error	t (df=12)	p-value	95% lower	95% upper	
Intercept	0.7512	0.0741	10.134	3.10E-07	0.5897	0.9126	
DQO (COD 0) - mg/L	0.000004 73	0.000005 96	-0.794	.4426	0.0000177 2	0.000008 25	

A7.4. Relación entre Condiciones Iniciales de EC y % Remoción

Regression Analysis

Relación condiciones iniciales y % Remoción

R² 0.137
Adjusted
R² 0.000 n 13
R 0.371 k 3
Std. Error 0.190 Dep. Var. (%) **Remoción de DQO**

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.0517	3	0.0172	0.48	.7054
Residual	0.3243	9	0.0360		
Total	0.3760	12			

Regression output

confidence interval

variables	coeficien		t (df=9)	p-value	95%	
	ts	std. error			95% lower	upper
Intercept	0.7341	0.2043	3.594	.0058	0.2720	1.1961
pH 0	-0.0046	0.0344	-0.133	.8968	-0.0823	0.0732
Conductividad (k 0) mS/cm	0.000097	0.000082	1.185	.2662	0.0000883	0.000282
		24			3	80
DQO (COD 0) - mg/L	0.000001	0.000006	0.194	.8505	0.0000137	0.000016
		29			7	36

Regression Analysis

Relación entre tiempo y %
Remoción

r² 0.081 n 14
r 0.284 k 1
Std. Error 0.197 Dep. Var. (%) **Remoción de DQO**

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.0411	1	0.0411	1.06	.3243
Residual	0.4672	12	0.0389		
Total	0.5083	13			

Regression output

confidence interval

<i>variables</i>	<i>coeficiente</i> <i>ts</i>	<i>std. error</i>	<i>t</i> <i>(df=12)</i>	<i>p-</i> <i>value</i>	<i>95% lower</i>	<i>95% upper</i>
Intercept	0.6634	0.0699	9.491	6.28E-07	0.5111	0.8157
Tiempo de contacto ideal (min)	0.0006	0.0006	1.028	.3243	-0.0007	0.0020

Regression Analysis	Relación entre Densidad de corriente y % Remoción	
	r ² 0.066	n 14
	r 0.256	k 1
	Std. Error 0.199	Dep. Var. (%) Remoción de DQO

ANOVA table

<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regression	0.033302 51	1	0.033302 51	0.84	.3771
Residual	0.475010 13	12	0.039584 18		
Total	0.508312 64	13			

Regression output

<i>variables</i>	<i>coeficiente</i> <i>ts</i>	<i>std. error</i>	<i>t</i> <i>(df=12)</i>	<i>p-</i> <i>value</i>	<i>confidence interval</i> <i>95% lower</i> <i>95% upper</i>	
Intercept	0.6683	0.0704	9.499	6.22E-07	0.5150	0.8215
Densidad de corriente (mA/cm ²)	0.000388 01	0.000423 02	0.917	.3771	0.0005336 8	0.0013097 0

Regression Analysis	Relación entre Amperaje y % Remoción	
	r ² 0.000	n 14
	r 0.009	k 1

Remoción de DQO

Std. Error 0.206

Dep. Var. (%)

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.0000	1	0.0000	0.00	.9762
Residual	0.5083	12	0.0424		
Total	0.5083	13			

Regression output

confidence interval

variables	coefficient ts	std. error	t (df=12)	p- value	95% lower	95% upper
Intercept	0.7088	0.0793	8.939	1.19E-06	0.5360	0.8815
Amperaje (A)	0.000356 69	0.0117	0.030	.9762	0.0251564 2	0.0258698 0

Regression Analysis

Relación entre Voltaje y %
Remoción

r² 0.000
r -0.006

n 12
k 1

Remoción de DQO

Std. Error 0.193

Dep. Var. (%)

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.0000	1	0.0000	0.00	.9854
Residual	0.3727	10	0.0373		
Total	0.3727	11			

Regression output

confidence interval

variables	coefficient ts	std. error	t (df=10)	p- value	95% lower	95% upper
Intercept	0.6719	0.1004	6.691	.0001	0.4482	0.8957
Voltaje (V)	0.000093 15	0.0050	-0.019	.9854	0.0111229 4	0.0109366 4

Regression Analysis		Relación entre las condiciones óptimas y % Remoción	
R ²	0.350		
Adjusted R ²	0.000	n	12
R	0.591	k	4
Std. Error	0.186	Remoción de DQO	
		Dep. Var. (%)	

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.1303	4	0.0326	0.94	.4933
Residual	0.2424	7	0.0346		
Total	0.3727	11			

Regression output

variables	coefficient		t (df=7)	p-value	confidence interval	
	ts	std. error			95% lower	95% upper
Intercept	0.4393	0.1767	2.487	.0418	0.0215	0.8570
Voltaje (V)	0.0053	0.0057	0.934	.3813	-0.0081	0.0187
Amperaje (A)	0.0050	0.0290	0.174	.8671	-0.0635	0.0736
Densidad de corriente (mA/cm ²)	0.000177	0.0012	0.144	.8898	0.0027458	0.0031010
Tiempo de contacto ideal (min)	0.0012	0.0014	0.860	.4182	-0.0021	0.0044

Regression Analysis		Relación entre Área de reacción y % Remoción	
r ²	0.110	n	14
r	0.332	k	1
Std. Error	0.194	Remoción de DQO	
		Dep. Var. (%)	

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.05605400	1	0.0560540	1.49	.2461
Residual	0.45225864	12	0.0376882		

0.508312
Total 64 13

Regression output		confidence interval					
variables	coeficien ts	std. error	t (df=12)	p-value	95% lower	95% upper	
Intercept	0.6598	0.0665	9.920	3.91E-07	0.5149	0.8047	
Área de reacción (cm2)	0.0005	0.000449 60	1.220	.2461	-0.0004	0.0015	

Regression Analysis	Relación entre la distancia de electrodos y % Remoción	
	r ² 0.001	n 14
	r 0.037	k 1
	Std. Error 0.206	Dep. Var. (%) Remoción de DQO

ANOVA table						
Source	SS	df	MS	F	p-value	
Regression	0.0007	1	0.0007	0.02	.8994	
Residual	0.5076	12	0.0423			
Total	0.5083	13				

Regression output		confidence interval					
variables	coeficien ts	std. error	t (df=12)	p-value	95% lower	95% upper	
Intercept	0.6966	0.1209	5.761	.0001	0.4332	0.9601	
Distancia de separación entre electrodos (mm)	0.000428 64	0.0033	0.129	.8994	- 0.0068071 6	0.007664 44	

Regression Analysis	Relación entre la cantidad de electrodos y % Remoción	
---------------------	--	--

r^2 0.074
 r -0.273

n 14
 k 1

Remoción de DQO

Std. Error 0.198

Dep. Var. (%)

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.0378	1	0.0378	0.96	.3455
Residual	0.4705	12	0.0392		
Total	0.5083	13			

Regression output

confidence interval

variables	coefficient	std. error	t (df=12)	p-value	95% lower	95% upper
Intercept	0.7815	0.0896	8.722	1.54E-06	0.5863	0.9767
Cantidad de electrodos	-0.0178	0.0181	-0.982	.3455	-0.0571	0.0216

Regression Analysis

Relación entre capacidad del reactor y % Remoción

r^2 0.063
 r 0.251

n 14
 k 1

Remoción de DQO

Std. Error 0.199

Dep. Var. (%)

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.0321	1	0.0321	0.81	.3861
Residual	0.4762	12	0.0397		
Total	0.5083	13			

Regression output

confidence interval

variables	coefficient	std. error	t (df=12)	p-value	95% lower	95% upper
Intercept	0.6922	0.0570	12.146	4.23E-08	0.5680	0.8164

Capacidad del reactor (Litros)	0.0029	0.0032	0.899	.3861	-0.0041	0.0099
-----------------------------------	--------	--------	-------	-------	---------	--------

Regression Analysis Relación entre factores de diseño y % Remoción

R² 0.347
Adjusted R² 0.057
R 0.589
n 14
k 4
Remoción de DQO
Std. Error 0.192 Dep. Var. (%)

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.1764	4	0.0441	1.20	.3764
Residual	0.3319	9	0.0369		
Total	0.5083	13			

Regression output

confidence interval

variables	coeficien		t (df=9)	p-value	95%	
	ts	std. error			95% lower	upper
Intercept	0.8445	0.1825	4.627	.0012	0.4316	1.2574
Capacidad del reactor (Litros)	-0.0143	0.0109	-1.308	.2233	-0.0390	0.0104
Cantidad de electrodos	-0.0345	0.0218	-1.582	.1481	-0.0838	0.0148
Distancia de separación entre electrodos (mm)	-0.0046	0.0040	-1.165	.2742	-0.0135	0.0043
Área de reacción (cm ²)	0.0026	0.0016	1.649	.1336	-0.0010	0.0062

Anexo 08:

Regresiones Lineales De Porcentaje De Remoción De Cromo

Regression Analysis		Relación entre pH y % Remoción	
	r^2 0.314		n 14
	r -0.560		k 1
	Std. Error 0.125		Dep. Var. (%)

Remoción de Cromo

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.0852	1	0.0852	5.48	.0372
Residual	0.1865	12	0.0155		
Total	0.2718	13			

Regression output		confidence interval				
variables	coefficient	std. error	t (df=12)	p-value	95% lower	95% upper
Intercept	1.1992	0.1243	9.648	5.27E-07	0.9284	1.4700
pH 0	-0.0457	0.0195	-2.342	.0372	-0.0883	-0.0032

Regression Analysis		Relación entre Conductividad y % Remoción	
	r^2 0.028		n 13
	r 0.169		k 1
	Std. Error 0.097		Dep. Var. (%)

Remoción de Cromo

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.003055 64	1	0.003055 64	0.32	.5816
Residual	0.104261 00	11	0.009478 27		
Total	0.107316 64	12			

Regression output					confidence interval	
variables	coeficien ts	std. error	t (df=11)	p-value	95% lower	95% upper
Intercept	0.9437	0.0285	33.170	2.23E-12	0.8811	1.0064
Conductividad (k 0) mS/cm	0.000023 46	0.000041 32	0.568	.5816	0.0000674 8	0.000114 39

Regression Analysis	Relación la concentración inicial de DQO y % Remoción	
	r ² 0.105	n 14
	r 0.324	k 1
	Std. Error 0.142	Dep. Var. (%)
		Remoción de Cromo

ANOVA table					
Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.028498 53	1	0.028498 53	1.41	.2587
Residual	0.243260 74	12	0.020271 73		
Total	0.271759 27	13			

Regression output					confidence interval	
variables	coeficien ts	std. error	t (df=12)	p-value	95% lower	95% upper
Intercept	0.8881	0.0460	19.306	2.11E-10	0.7879	0.9883
Cromo (Cr 0) mg/L	0.000023 39	0.000019 73	1.186	.2587	0.0000195 9	0.000066 38

Regression Analysis	Relación condiciones iniciales y % Remoción
	R ² 0.211

Adjusted

R² 0.000

R 0.459

n 13

k 3

Remoción de Cromo

Std. Error 0.097

Dep. Var. (%)

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.0226	3	0.0075	0.80	.5233
Residual	0.0847	9	0.0094		
Total	0.1073	12			

Regression output

confidence interval

variables	coeficien		t (df=9)	p-value	95%	
	ts	std. error			95% lower	upper
Intercept	1.0484	0.1877	5.584	.0003	0.6237	1.4731
pH 0	-0.0193	0.0272	-0.710	.4954	-0.0809	0.0422
Conductividad (k 0) mS/cm	0.000034 92	0.000041 97	0.832	.4269	0.0000600 2	0.000129 85
Cromo (Cr 0) mg/L	0.000005 33	0.000021 90	0.243	.8131	0.0000442 0	0.000054 86

Regression Analysis

Relación entre tiempo y % Remoción

r² 0.003

r 0.054

n 14

k 1

Remoción de Cromo

Std. Error 0.150

Dep. Var. (%)

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.000779 22	1	0.0007792 2	0.03	.8557
Residual	0.270980 05	12	0.0225816 7		
Total	0.271759 27	13			

Regression output				<i>confidence interval</i>			
<i>variables</i>	<i>coeficien</i> <i>ts</i>	<i>std. error</i>	<i>t (df=12)</i>	<i>p-value</i>	<i>95% lower</i>	<i>95% upper</i>	
Intercept	0.9123	0.0532	17.138	8.39E-10	0.7963	1.0283	
Tiempo de contacto ideal (min)	0.000088	0.0004771	0.186	.8557	0.0009510	0.0011282	

Regression Analysis	Relación entre Densidad de corriente y % Remoción	
	r ² 0.005	n 14
	r 0.068	k 1
	Std. Error 0.150	Dep. Var. (%)

ANOVA table						
<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>	
Regression	0.001241	1	0.0012415	0.06	.8184	
Residual	0.270517	12	0.0225431			
Total	0.271759	13				

Regression output				<i>confidence interval</i>			
<i>variables</i>	<i>coeficien</i> <i>ts</i>	<i>std. error</i>	<i>t (df=12)</i>	<i>p-value</i>	<i>95% lower</i>	<i>95% upper</i>	
Intercept	0.9106	0.0531	17.152	8.32E-10	0.7949	1.0263	
Densidad de corriente (mA/cm ²)	0.000074	0.0003192	0.235	.8184	0.0006206	0.0007704	

Regression Analysis	Relación entre Amperaje y % Remoción	
	r ² 0.056	n 14
	r -0.236	k 1

Remoción de Cromo

Std. Error 0.146

Dep. Var. (%)

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.0152	1	0.0152	0.71	.4160
Residual	0.2566	12	0.0214		
Total	0.2718	13			

Regression output

confidence interval

variables	coeficien		t (df=12)	p-value	95% lower	95% upper
	ts	std. error				
Intercept	0.9530	0.0563	16.916	9.76E-10	0.8302	1.0757
Amperaje (A)	-0.0070	0.0083	-0.843	.4160	-0.0251	0.0111

Regression Analysis

Relación entre Voltaje y % Remoción

r² 0.010

n 12

r -0.100

k 1

Remoción de Cromo

Std. Error 0.162

Dep. Var. (%)

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.0027	1	0.0027	0.10	.7563
Residual	0.2616	10	0.0262		
Total	0.2643	11			

Regression output

confidence interval

variables	coeficien		t (df=10)	p-value	95% lower	95% upper
	ts	std. error				
Intercept	0.9333	0.0841	11.093	6.09E-07	0.7458	1.1207
Voltaje (V)	-0.0013	0.0041	-0.319	.7563	-0.0106	0.0079

Regression Analysis

Relación entre las condiciones óptimas y % Remoción

R² 0.529

Adjusted

R² 0.260

R 0.727

n 12

k 4

Remoción de Cromo

Std. Error 0.133

Dep. Var. (%)

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.1398	4	0.0350	1.97	.2043
Residual	0.1244	7	0.0178		
Total	0.2643	11			

Regression output

confidence interval

variables	coeficien ts	std. error	t (df=7)	p-value	95% lower	95% upper
Intercept	1.1043	0.1266	8.726	.0001	0.8051	1.4036
	0.000454				-	
Voltaje (V)	55	0.0041	0.112	.9138	0.0091260	0.0100351
Amperaje (A)	-0.0574	0.0208	-2.762	.0280	2	2
Densidad de corriente (mA/cm ²)	0.0023	0.0009	2.647	.0331	-0.1065	-0.0083
Tiempo de contacto ideal (min)	-0.0022	0.0010	-2.239	.0602	0.0003	0.0044
					-0.0045	0.0001

Regression Analysis

Relación entre Área de rección y % Remoción

r² 0.016

r 0.126

n 14

k 1

Remoción de

Std. Error 0.149

Dep. Var. **Cromo (%)**

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.004306	1	0.0043064	0.19	.6681
Residual	0.267452	12	0.0222877		
Total	0.271759	13			

Regression output					confidence interval	
variables	coeficien ts	std. error	t (df=12)	p-value	95% lower	95% upper
Intercept	0.9047	0.0511	17.688	5.82E-10	0.7933	1.0161
Área de reacción (cm2)	0.000151 98	0.00034575	0.440	.6681	0.0006013 4	0.000905 30

Regression Analysis	Relación entre la distancia de electrodos y % Remoción	
	r ² 0.148	n 14
	r 0.384	k 1
	Std. Error 0.139	Dep. Var. Remoción de Cromo (%)

ANOVA table						
Source	SS	df	MS	F	p-value	
Regression	0.0402	1	0.0402	2.08	.1747	
Residual	0.2316	12	0.0193			
Total	0.2718	13				

Regression output					confidence interval	
variables	coeficien ts	std. error	t (df=12)	p-value	95% lower	95% upper
Intercept	0.8138	0.0817	9.965	3.72E-07	0.6359	0.9918
Distancia de separación entre electrodos (mm)	0.0032	0.0022	1.443	.1747	-0.0017	0.0081

Regression Analysis	Relación entre la cantidad de electrodos y % Remoción	
	r ² 0.224	n 14
	r -0.473	k 1

Std. Error 0.133 Dep. Var. **Remoción de Cromo (%)**

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.0608	1	0.0608	3.46	.0876
Residual	0.2109	12	0.0176		
Total	0.2718	13			

Regression output

confidence interval

variables	coeficien ts	std. error	t (df=12)	p-value	95% lower	95% upper
Intercept	1.0088	0.0600	16.815	1.05E-09	0.8781	1.1395
Cantidad de electrodos	-0.0225	0.0121	-1.860	.0876	-0.0489	0.0039

Regression Analysis

Relación entre capacidad del reactor y % Remoción

r² 0.005 n 14
r 0.070 k 1

Std. Error 0.150 Dep. Var. **Remoción de Cromo (%)**

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.0013	1	0.0013	0.06	.8119
Residual	0.2704	12	0.0225		
Total	0.2718	13			

Regression output

confidence interval

variables	coeficien ts	std. error	t (df=12)	p-value	95% lower	95% upper
Intercept	0.9150	0.0429	21.305	6.66E-11	0.8215	1.0086
Capacidad del reactor (Litros)	0.0006	0.0024	0.243	.8119	-0.0047	0.0059

Regression Analysis

Relación entre factores de diseño y % Remoción

R² 0.314
Adjusted R² 0.008
R 0.560
Std. Error 0.144

n 14
k 4

Dep. Var. **Remoción de Cromo (%)**

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression	0.0852	4	0.0213	1.03	.4435
Residual	0.1865	9	0.0207		
Total	0.2718	13			

Regression output

confidence interval

variables	coeficien ts	std. error	t (df=9)	p-value	95% lower	95% upper
Intercept	0.9319	0.1368	6.811	.0001	0.6224	1.2414
Capacidad del reactor (Litros)	-0.0074	0.0082	-0.901	.3911	-0.0259	0.0112
Cantidad de electrodos	-0.0229	0.0163	-1.398	.1956	-0.0598	0.0141
Distancia de separación entre electrodos (mm)	0.0008	0.0030	0.261	.8000	-0.0059	0.0075
Área de reacción (cm ²)	0.0011	0.0012	0.902	.3907	-0.0016	0.0038

“Condiciones técnicas del proceso de electrocoagulación para una remoción eficiente de Cromo y DQO en aguas residuales industriales de curtiembre”

Anexo 09.

Publicaciones Sobre El Tema Electrocoagulación 2004-2020

Publicaciones bajo la búsqueda "Electrocoagulación"							
AÑO	Base de datos científicas						Bases de datos
	Science Direct	SciELO	Dialnet	Springer Link	Redalib	Word Wide Science	
2004	268	1	0	0	0	16	285
2005	332	1	5	1	3	16	358
2006	334	3	4	0	3	23	367
2007	297	3	0	4	6	38	348
2008	384	1	2	6	8	38	439
2009	375	4	1	6	7	49	442
2010	366	5	2	11	6	69	459
2011	417	6	6	5	4	66	504
2012	364	9	4	19	7	34	437
2013	391	12	3	26	9	48	489
2014	433	7	4	32	6	60	542
2015	460	4	5	47	6	43	565
2016	500	8	6	40	11	48	613
2017	602	10	1	43	3	83	742
2018	660	9	3	57	7	94	830
2019	828	4	6	94	8	160	1100
2020	1058	3	3	114	4	200	1382

Anexo 10.

Ajuste De Línea De Tendencia (Logaritmática)

Ajuste de línea de tendencia (General)

r^2 0.878 n 17
 r 0.937 k 1
 Std. Error 0.150 Dep. Var. **ln(Bases de datos)**

ANOVA table

Source	SS	df	MS	F	p-value
Regression					
n	2.4389	1	2.4389	107.91	3.02E-08
Residual	0.3390	15	0.0226		
Total	2.7779	16			

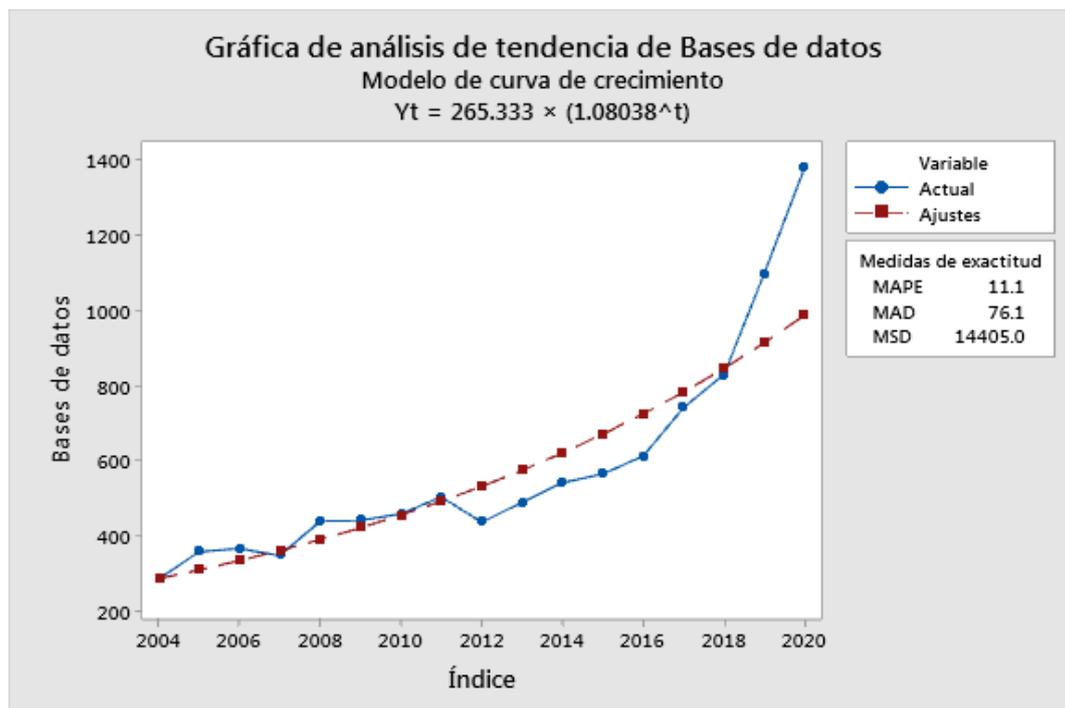
Regression output

variables	coefficients	std. error	t (df=15)	p-value	confidence interval	
					95% lower	95% upper
Intercept	5.6583					
t	0.0773	0.0074	10.388	3.02E-08	0.0615	0.0932

coefficients in terms of the model:

ab^x

= a, beginning
 286.661 value
 1.080 = b, growth factor
 average rate of
 8.04% change



Anexo 11.

Correlación Remoción De Cromo Y Remoción De Dqo

Remoción de Cromo		
Porcentaje	Valor jerárquico	Código
52.80%	1	AR12
67.00%	2	AR18
84.00%	3	AR2
93.15%	4	AR15
97.00%	5	AR7
97.72%	6	AR1
97.76%	7	AR17
99.00%	8	AR13
99.00%	9	AR9
99.40%	10	AR11
99.70%	11	AR14
99.76%	12	AR10
99.98%	13	AR16
100.00%	14	AR19

Remoción de DQO		
Porcentaje	Valor jerárquico	Código
36.00%	1	AR12
47.78%	2	AR1
49.00%	3	AR7
53.50%	4	AR13
64.00%	5	AR10
64.40%	6	AR9
65.70%	7	AR11
73.00%	8	AR16
82.00%	9	AR17
83.33%	10	AR2
90.70%	11	AR18
95.00%	12	AR14
95.00%	13	AR19
95.31%	14	AR15

