



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

**TRATAMIENTO COMBINADO DE ELECTROCOAGULACIÓN Y
H₂O₂ PARA LA REDUCCIÓN DE Cr⁺⁶ PRESENTE EN AGUAS
RESIDUALES EN EMPRESA DE CROMADO, 2018**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA AMBIENTAL**

AUTORA:

ALIAGA LEON, SHARON DANIELA

ASESORA:

M. SC CERMEÑO CASTROMONTE, CECILIA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CALIDAD Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

LIMA - PERÚ

2018

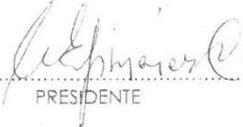
JURADO CALIFICADOR

 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	Código : 007-PP-PP-02002 Versión : 09 Fecha : 23-03-2018 Página : 1 de 1
--	---------------------------------------	---

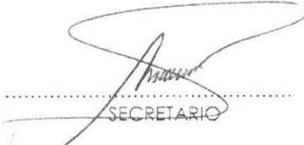
El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don
 (a) Altago Leon Jherson Durate
 cuyo título es: Eficacia del tratamiento combinado de H₂O₂ y electrocoagulación
 para reducir el "pH" presente en aguas residuales de una empresa etc.
 nomado San Martín de Porres 2018.

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por
 el estudiante, otorgándole el calificativo de: 1.7.....(número)
B.....(letras).

Los Olivosde..... del 20....



 PRESIDENTE
 Dr. César Eduardo Jiménez Calderón



 SECRETARIO
 Dr. Jorge Leonardo Jave Nakayo



 VOCAL
 M.Sc. Cecilia Libia Cermeño Castromonte

 REGION DE INVESTIGACION	 Dirección de Investigación	Revisó	 Responsable de JGC	 VICERRECTORADO DE INVESTIGACION TACUILLO	 Vicerrector de Investigación
Elaboro	Aprobo			Aprobo	Vicerrector de Investigación

DEDICATORIA

A mis padres queridos: Edinson y Vicky, por todo el apoyo y el amor que me brindan, ya que con sus consejos y sabiduría saben guiar siempre mi camino.

A mi pequeña hija Valeria, el gran amor de mi corazón, por ser mi inspiración y fuerza día a día para cumplir con cada uno de mis objetivos.

Y a mi hermano Elian, a quien admiro y está siempre a mi lado incondicionalmente.

AGRADECIMIENTO

A mis padres queridos: Edinson y Vicky, por haberme apoyado siempre, por querer lo mejor para mí y por sus sabios consejos que me permitieron llegar hasta esta etapa de mi vida.

Al amor de mi corazón y de mi vida, mi pequeña hija Valeria, que con su cariño y alegría me dio el soporte y fuerza para seguir adelante en esta etapa universitaria.

A mi hermano Elian, por su comprensión, paciencia y apoyo incondicional.

A mis familiares y amigos que siempre creyeron en mí, me apoyaron y motivaron para culminar esta etapa universitaria con éxito.

Y a mi asesora de tesis, la Ing. Cecilia Cermeño Castromonte, quien me orientó y apoyó con sus conocimientos durante el proyecto y desarrollo de la presente investigación.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo Sharon Daniela Aliaga Leon con DNI: 47941324 a efecto de cumplir con la disposición vigentes consideradas en el reglamento de grados y títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela profesional de Ingeniería Ambiental, declaro que toda documentación es auténtica y veraz.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento y omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la universidad cesar vallejo

Lima, julio del 2018

Sharon Daniela Aliaga Leon

DNI: 47941324

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento del reglamento de Grados Y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada “TRATAMIENTO COMBINADO DE ELECTROCOAGULACIÓN Y H_2O_2 PARA LA REDUCCIÓN DE Cr^{+6} PRESENTE EN AGUAS RESIDUALES EN EMPRESA DE CROMADO, 2018”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de Ingeniera Ambiental

Sharon Daniela Aliaga Leon

ÍNDICE

	Pág.
JURADO CALIFICADOR.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	v
PRESENTACIÓN.....	vi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Realidad problemática.....	2
1.2 Trabajos previos.....	3
1.3 Teorías relacionadas al tema.....	8
1.3.1. Agua.....	8
1.3.2. Propiedades físicas y químicas.....	9
1.3.3. Peróxido de Hidrógeno.....	9
1.3.4. Agua contaminada con cromo hexavalente.....	10
1.3.5. Normatividad Ambiental Nacional.....	10
1.3.6. Electrocoagulación.....	10
1.3.7. Factores que influyen en la electrocoagulación.....	11
1.3.8. Ventajas y desventajas.....	13
1.4 Formulación del problema.....	14
1.4.1. Problema general.....	14
1.4.2. Problemas específicos.....	14
1.5 Justificación del estudio.....	14
1.6 Hipótesis.....	15

1.6.1. Hipótesis general.....	14
1.6.2. Hipótesis Específica E1.....	14
1.6.3. Hipótesis Específica E2.....	15
1.7 Objetivos.....	16
1.7.1. Hipótesis general.....	16
1.7.2. Hipótesis general.....	18
II. MÉTODO.....	19
2.1 Diseño de la investigación.....	17
2.2 Variables, operalización.....	13
2.2.1 Variables.....	13
2.2.2 Cuadro de Operalización de variables.....	15
2.3 Unidad de análisis, población, muestra y técnica de muestreo.....	19
2.3.1 Unidad de análisis.....	19
2.3.2 Población.....	19
2.3.2 Muestra.....	19
2.3.4 Muestreo.....	19
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	10
2.4.1 Técnica.....	20
2.4.2 Descripción del procedimiento.....	20
2.4.3 Instrumento de recolección de datos.....	38
2.5 Validez.....	38
2.6 Confiabilidad.....	39
2.7 Métodos de análisis de datos.....	39
2.8 Aspectos Éticos.....	40
III. RESULTADOS.....	41

3.1. Resultados de análisis del agua residual con Cr ⁺⁶	41
3.1.1. Resultados iniciales.....	41
3.2. Resultados después del tratamiento.....	42
3.2.1. Variación de las propiedades químicas.....	42
IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	59
V. CONCLUSIONES.....	61
VI. RECOMENDACIONES.....	62
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	63
VIII. ANEXOS	
Anexo 01. Ficha de observación y registro de datos de la muestra inicial.....	62
Anexo 02. Ficha de observación y registro de las propiedades físicas-químicas de la muestra inicial.....	63
Anexo 03. Ficha de observación y registro de las propiedades físicas-químicas de la muestra después del tratamiento.....	64
Anexo 04. Matriz de consistencia.....	66
Anexo 05. Reporte de Análisis Físico – Químicos de Laboratorio de la Universidad César Vallejo.....	67
Anexo 06. Acta de Originalidad de Turnitin.....	77
Anexo 07. Pantallazo del Turnitin.....	78
Anexo 08. Autorización de la Versión Final del Trabajo de Investigación.....	79
Anexo 09. Formulario de Autorización para la publicación electrónica de la Tesis.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Composición molecular del agua.....	8
Figura 2. Proceso de electrocoagulación.....	11
Figura 3. Diagrama de proceso de la toma de muestra de aguas residuales de una empresa de cromado.....	19
Figura 4. Diagrama del proceso de investigación	20
Figura 5. Toma de muestra del agua residual.....	21
Figura 6. Peso de la difenilcarbazida.....	23
Figura 7. Peso del dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$).....	23
Figura 8. Curva de calibración.....	24
Figura 9. Cambio de color con difenilcarbazida.....	25
Figura 10. Color de la muestra inicial con difenilcarbazida.....	26
Figura 11. Diagrama de proceso para ensamblado del equipo.....	28
Figura 12. Ensamblado del equipo.....	28
Figura 13. Proceso combinado de electrocoagulación y H_2O_2	29
Figura 14. Diferencia de presencia de Lodo para T_1 y T_8	37

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resultados iniciales de los parámetros físicos – químicos del agua residual.....	3
Tabla 2. Valores Máximos Admisibles para descargas residuales no domésticas, D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.....	10
Tabla 3. Operalización de Variable.....	18
Tabla 4. Datos de la muestra para la caracterización del agua residual.	21
Tabla 5. Análisis de la muestra inicial.....	22
Tabla 6. Concentración y absorvancia.....	26
Tabla 7. Técnicas e instrumentos.....	38
Tabla 8. Método de análisis de datos.....	39
Tabla 9. Evaluación de las propiedades físicas y químicas del agua residual de una empresa de cromado, San Martín de Porres – Lima.....	41
Tabla 10. Evaluación de la concentración inicial de Cr ⁺⁶ del agua residual de una empresa de cromado, San Martín de Porres – Lima.....	42
Tabla 11. Prueba de normalidad para la Concentración Final de Cr ⁺⁶ después de aplicar el tratamiento combinado de electrocoagulación y H ₂ O ₂	48
Tabla 12. Análisis descriptivo del Cr ⁺⁶ reducido después del tratamiento combinado de electrocoagulación y H ₂ O ₂	49
Tabla 13. Prueba paramétrica de ANOVA para la remoción de Cr ⁺⁶ aplicando el tratamiento combinado de electrocoagulación y H ₂ O ₂	50
Tabla 14. Prueba de homogeneidad de Variazas de Levene para la concentración final de Cr ⁺⁶	51
Tabla 15. Prueba post Hoc – Tukey para varianzas de poblaciones iguales.....	51

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Gráfico de la curva patrón de Cr^{+6}	25
Gráfico 2. Resultados para la variación del pH.....	43
Gráfico 3. Resultados para la variación de la Turbidez.....	44
Gráfico 4. Resultados para la variación de la Conductividad Eléctrica...	45
Gráfico 5. Resultados para la variación de la Concentración de Cr^{+6}	46
Gráfico 6. Resultados para la eficacia del Tratamiento combinado de Electrocoagulación y H_2O_2	47

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo utilizar el tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 para reducir Cr^{+6} en agua residual en una empresa de cromado del distrito de San Martín de Porres. La investigación fue de tipo experimental de Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con un solo factor, con 8 tratamientos de 3 réplicas cada uno, obteniendo un total de 24 pruebas utilizando 1.5 L de muestra en una hora. En el primer capítulo se empezó recopilando las bases teóricas para llevar a cabo el tratamiento. En el segundo capítulo se llevó a cabo la aplicación del tratamiento en dosis de 7 y 10 V, 5 y 10 ml y 4 y 8 electrodos, con 2 reactores Batch de 2 L de capacidad para 8 (4 de acero y 4 de aluminio) y 4 electrodos (2 de acero y 2 de aluminio) en forma de "T" de 3 mm de grosor y 13 cm de diámetro. En el tercer capítulo se empleó el programa estadístico IBM SPSS STATICS 23 para las pruebas de hipótesis y MICROSOFT EXCEL 2013 para la representación de los resultados en tablas y gráficos. Finalmente se concluyó que T8 (dosis: 8 electrodos, 10 V y 10 ml) tuvo una reducción significativa en la variación de la concentración de Cr^{+6} en 269.78 mg/l a 28.33 mg/l aplicando el tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 .

Palabras claves: Reducción, tratamiento, cromo hexavalente, electrocoagulación, peróxido de hidrógeno.

ABSTRACT

The objective of the present investigation is to use the combined treatment of electrocoagulation and H_2O_2 to reduce Cr^{+6} in wastewater in a chromium company in the district of San Martín de Porres. The investigation was of experimental type of Completely Random Design (DCA) with a single factor, with 8 treatments of 3 repetitions each, obtaining a total of 24 tests with 1 L of sample in one hour. In the first chapter the theoretical bases were taken to carry out the treatment. In the second chapter the application of the treatment was carried out in doses of 7 and 10 V, 5 and 10 ml and 4 and 8 electrodes, with 2 reactors Lot of 1.5 L capacity for 8 (4 steel and 4 of aluminum) and 4 electrodes (2 steel and 2 aluminum) in a "T" shape, 2.5 mm thick and 10 cm in diameter. In the third chapter we used the statistical program IBM SPSS STATICS 23 for hypothesis testing and MICROSOFT EXCEL 2013 for the representation of the results in tables and graphs. Finally, it was concluded that T8 (dose: 8 electrodes, 10 V and 10 ml) had a significant reduction in the concentration of Cr^{+6} in 269.78 mg / l 28.33 mg / l applying the combined treatment of electrocoagulation and H_2O_2 .

Keywords: Reduction, treatment, hexavalent chromium, electrocoagulation, hydrogen peroxide.

I. INTRODUCCIÓN

Las actividades que realiza el hombre siempre generan impactos en el ambiente y muchos de gran importancia que degradan los ecosistemas y repercuten en la calidad de vida de los mismos. El Perú no es ajeno a este problema, pues es víctima de impactos negativos como consecuencia de la contaminación producida por la falta de compromiso que tienen los seres humanos con el medio ambiente, siendo uno de los grandes problemas la contaminación de los efluentes, muchos de ellos provenientes de grandes, medianas y pequeñas empresas que por centrarse en su crecimiento económico, no tienen en cuenta el peligro al que exponen nuestros recursos.

Uno de los impactos que genera este problema radica en que las empresas vierten directamente sus descargas al alcantarillado sin aplicar tratamientos previos que mejoren la calidad del efluente y superando de esta manera los Estándares de Calidad Ambiental, como consecuencia de los elevados costos que tienen estas tecnologías y el prolongado tiempo que se requiere para su aplicación.

El cromo es uno de los metales más empleados por las empresas de cromado, pues utilizan este metal para el recubrimiento de estructuras metálicas, siendo el Cr^{+6} la forma más tóxica de este metal, causando graves efectos en la salud por exposiciones prolongadas, tales como cáncer y efectos no cancerígenos como irritación en la nariz, garganta y pulmones, alergias y llagas en la piel.

En busca de una solución a este problema, es que se ha optado por encontrar un método ecológico, económico, rápido y efectivo que es el tratamiento combinado de electrocoagulación y peróxido de hidrógeno para reducir cromo hexavalente presente en aguas residuales generado por las empresas de cromado.

1.1. Realidad Problemática

La contaminación de los efluentes provenientes de las empresas en el Perú siempre han sido un tema muy preocupante, esto se debe a la acumulación de diversos tipos de sustancias o elementos tóxicos que son vertidos a las aguas residuales, excediendo los estándares de calidad ambiental, causando graves problemas en la salud y deterioro en la calidad de agua (ANA, s.f., p.1).

Actualmente, el distrito de San Martín de Porres es centro de pequeñas empresas dedicadas al rubro de la mecánica, donde realizan ventas de repuestos de automóviles, servicios de galvanizado, niquelado y cromado para pequeñas y medianas industrias dentro del mercado. Estas empresas de cromado contienen altos residuos como producto de la actividad, tales como: metales base, soluciones vaciadas, metales pesados, aceites usados, etc; y en los procesos de baño de recubrimiento, en las etapas de lavado y enjuagado generan un alto consumo de agua y consecuentes vertimientos. En su volumen de agua residual se puede encontrar materias tóxicas como cianuros, níquel, arsénico, cromo, entre otros; donde toda el agua utilizada en el proceso es vertida al alcantarillado sin ningún tratamiento previo (CHÁVEZ, V; CRISTANCHO, B. Y OSPINA, F; 2009; p.45).

La presencia de cromo hexavalente es utilizado en una amplia variedad de productos, y por su toxicidad representa un gran agente nocivo para la salud del hombre y su entorno, es por ello que dentro de los Valores Máximos Admisibles para descargas de aguas residuales no domésticas en la red de alcantarillado según el Decreto Supremo. N° 021-2009-VIVIENDA, no debe exceder el parámetro en 0.5 mg/L (SEDAPAL; s.f.; p. 1)

Actualmente en la empresa de estudio ubicada en el distrito de San Martín de Porres, análisis realizados en el laboratorio de la Universidad César Vallejo, nos muestran que los parámetros físicos - químicos exceden los Estándares de Calidad Ambiental para la Categoría 1, Subcategoría A del Decreto Supremo N° 004-2017- MINAM. De las muestras de agua analizadas, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N° 1: Resultados iniciales de los parámetros físicos – químicos del agua residual

AGUA RESIDUAL DE UNA EMPRESA DE CROMADO				
PARÁMETROS FÍSICOS - QUÍMICOS				
	Turbidez (NTU)	Conductividad Eléctrica (μS/cm)	pH	Cr⁺⁶ (mg/l)
Resultados	15	1991	6.02	269.78
ECA – Cat. 1	5	1500	6.5 - 8.5	0.05

Fuente: Datos extraídos de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones> revisado en Abril del 2018.

Sus residuos líquidos son una fuente de contaminación, ya que al no ser tratados antes de su vertimiento pueden ocasionar altas concentraciones de compuestos tóxicos en sus efluentes, generando un impacto ambiental alto ya que estas sustancias son solubles en mayor o menor medida y en un solvente polar como el agua, sería dificultoso retirarlo de la misma.

1.2. Trabajos previos

MORALES, N; Y ACOSTA G. (2010), en el artículo publicado “Sistema de electrocoagulación como tratamiento de aguas residuales galvánicas” establecen como objetivo de investigación el valorar y optimizar un prototipo para el proceso de electrocoagulación creado en la universidad para remover metales Cu, Cr, Cr⁺⁶, Ni y Pb. en aguas residuales a más del 47%. Asimismo, se realizaron análisis antes, durante y al final del tratamiento sobre las características del agua residual. En los análisis previos se obtuvo un pH de 1.4, conductividad de 26.4mS/m, temperatura de 18.2 °C y con voltaje de 31.8Vdc. Durante el tratamiento se obtuvieron resultados en pH con un aumento a 3.78, la conductividad disminuyó a 19.4mS/m, la temperatura aumentó a 48.5°C y con un voltaje se mantuvo constante. Finalmente, concluyó que se obtuvo una reducción en Cr en 51.65%, Ni en 18.09%, Pb en 50% y Zn en 47.37%, siendo el Cr el único con resultados óptimos dentro de los ECA. En

tanto al Cu, aumentó en 519.09%, producto del tipo de placa empleada para el tratamiento.

Esta investigación nos permite conocer el comportamiento de las características de las aguas residuales galvánicas aplicando el proceso de electrocoagulación, las reacciones que ocurren entre los metales y la celda electrolítica, el cual permitió que la concentración de Cu aumente, la efectividad de la remoción de Cr y Cr⁺⁶ obteniendo resultados por debajo de la normatividad y la eficacia del tratamiento de electrocoagulación en estos metales para la investigación.

ACOSTA, N; BOURDÓN, G. Y COY, C. (2013), en el artículo “Evaluación y regulación de parámetros en un equipo diseñado para la disminución de cromo (VI), provenientes de la industria de recubrimientos galvánicos” adoptan como objetivo general evaluar los parámetros al disminuir los metales presentes en aguas residuales galvánicas. Se evaluaron los parámetros de voltaje, intensidad de corriente, pH y °T durante una hora de tratamiento con el equipo. Durante el experimento se pudo observar que el pH aumentó a 9 al concluir 1 hora de prueba, la conductividad tuvo un comportamiento irregular a lo largo de una hora oscilando entre 0 mS y 2200 mS, el voltaje se mantuvo constante en 32 V y la intensidad de corriente se mantuvo en 12.5 A. Se concluyó que el prototipo construido, cuya finalidad es remover metales pesados en efluentes, pueden mejorarse a medida que se realizan estudios para controlar las variables implícitas y así conservar el medio ambiente. Esta investigación también permite conocer la cantidad de energía consumida por el sistema en términos de costo ambiental, indicando la eficiencia del proceso.

ARROLLO, M. (2011), en su tesis doctoral “Tratamiento de disoluciones que contienen cromo hexavalente mediante electrocoagulación con ánodos de hierro” establece como objetivo general el estudiar detalladamente los parámetros que permiten reducir cromo hexavalente a través de la técnica de electrocoagulación con ánodos de hierro. Asimismo, la autora empleó una investigación cuantitativa y un diseño de investigación Experimental. Durante la investigación se observó que a medida que el pH aumenta a más de 3, la

velocidad de precipitación es mayor y todo el Cr (VI) que se reduce a Cr (III) terminando precipitando y dependiendo de la concentración inicial de H₂SO₄.

ACOSTA, N; BOURDÓN, G. Y COY, C. (2013), en el artículo “La electrocoagulación como tratamiento eficiente para la remoción de metales pesados presentes en aguas residuales”, tienen como objetivo principal el de evidenciar bibliografías sobre estudios realizados en tratamientos de electrocoagulación con el propósito de dar a conocer los distintos metales que puede remover, tales como: níquel, cobre, cromo hexavalente, hierro, zinc, plomo, mercurio, cadmio, halladas en efluentes y mejorando los parámetros del proceso que generan impactos negativos en el ambiente y la salud. Se pudo observar en la literatura que, los parámetros más eficientes a escala laboratorio son: en la densidad de corriente es 200 A/m², pH 9 y durante 30 minutos, obteniendo una remoción total del sobre metal.

Permiten dar a conocer los autores que el tipo de tratamiento que se realiza sobre las aguas residuales depende de diversos parámetros como la clase de contaminantes, concentración, toxicidad, volumen, etc, obteniéndose resultados óptimos a medida que se realicen más investigaciones en la técnica de electrocoagulación.

MURILLO, A. (2016), en su tesis de grado “Propuesta de tratamiento para el agua residual industrial generada por procesos de cromado mediante electrocoagulación”, presenta como objetivo principal el generar una propuesta para el tratamiento de efluente industrial del proceso del cromado mediante electrocoagulación. Se realizó el experimento en una cuba electrolítica con capacidad de 2.2 L para tratar de agua residual, con 6 electrodos en forma de “T” de material aluminio (4) y hierro (4), se obtuvo una remoción de Cr total en 79.4%. Con los resultados obtenidos en las celdas, se aplicaron 3 tipos de voltaje: 5, 10 y 15 V, con temperatura inicial de 18°C, pH 3 y conductividad de 2mS/cm, en la cual se pudo observar que con un voltaje de 15V y una intensidad de corriente de 2.20 A, se obtiene una remoción total de Cr del 86% durante 45 minutos según las literaturas aplicados para el tratamiento.

La investigación nos da a conocer que el proceso de electrocoagulación es eficiente, pues logra reducir en 35 minutos casi todo el Cr presente en el agua residual a un voltaje de 30 V.

ARBOLEDA, J; Y HERRERA, P. (2015), en su tesis de grado “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, tienen como objetivo principal realizar el proceso de electrocoagulación a nivel de laboratorio en un reactor tipo Batch para remover Cr^{6+} como cromatos, utilizando electrodos de aluminio-aluminio y hierro-aluminio. Se realizó un diseño experimental en un reactor Batch con capacidad de 1936 ml, con diferentes ensayos utilizando distancias entre los electrodos de 5 mm, 10 mm y 15 mm, con una variación de pH de 4,5 y 6; cada uno en un tiempo de 30 minutos, con una agitación de 390 rpm y con 60 minutos para el tiempo de sedimentación. Al término de los ensayos, se observó que el mejor proceso para la remoción era con una distancia entre los electrodos de 5mm y con un pH inicial de 8, y posteriormente se evaluó el tiempo de residencia para observar la remoción bajo condiciones establecidas, obteniendo una eficiencia del 99% en 40 minutos. Por último, se realizó un experimento con aguas residuales de una industria de curtiembre, con 3 ensayos de 10, 20 y 30 minutos, obteniendo una eficiencia en la remoción de 99% al concluir 40 minutos; debido a que, el agua permaneció mayor tiempo en el reactor y pudo tener mayor contacto con los hidróxidos formados, permitiendo la adsorción de cromo (VI), la desestabilización, suspensión de las partículas, rupturas de emulsiones y formación de flóculos.

De esta investigación podemos concluir que, la electrocoagulación es un proceso exitoso y optimizando los parámetros puede protegerse, conservarse y recuperarse el recurso hídrico; cumpliendo la normatividad ambiental, siendo efectivo y económico teniendo en cuenta el volumen que se tratará.

AHMAD, E; Y HAMED, F. (2012), en el artículo “Húmic acid Removal from Aqueous Environments by Electrocoagulation Process Duad with Adding Hydrogen Peroxide”, realizan un estudio sobre los ácidos húmicos presentes en recursos hídricos, debido a que es un subproducto para la desinfección

afectando a muchos procesos. Asimismo, se realizó el proceso de electrocoagulación y peróxido de hidrógeno creando el proceso fenton para eliminar ácidos húmicos en medio acuoso. Para esta investigación se utilizó un reactor de lotes bipolar de 1 L cubierta con lámina de aluminio, con potencial eléctrico de 10 V. Se empezó llenando la solución de 20 mg/L de ácido húmico y se realizaron 4 ensayos de con parámetros de pH inicial de 3,5,7 y 8, conductividad eléctrica producto de la adición de KCl en 1, 1.5, 2 y 3 g/l y el tiempo para lograr reducir el ácido húmico. Luego se añadió PH_2O_2 y se filtró (0.45 u) para remover el lodo formado en la electrocoagulación. Se obtuvieron resultados de remoción en 97.19% en un pH de 5, con 3g/L de KCl en 60 minutos; observándose la proporción del proceso fenton y ácido húmico, aumenta o disminuye con el pH y la conductividad eléctrica.

De la investigación se llega a la conclusión de que el proceso fenton combinado con la electrocoagulación, se utilizan eficientemente para reducir ácidos húmicos de los ambientes acuosos.

CHEBALLAH, K. *et al* (2015), en el artículo "Simultaneous removal of hexavalent chromium and COD from industrial wastewater by bipolar electrocoagulation", se investigó experimentalmente los efectos de los parámetros operacionales sobre el proceso de electrocoagulación utilizando un electrodo de hierro; observándose que el mejor rendimiento es con una intensidad de corriente de 20 mA/cm^2 , pH de 2.4 y 0.06 M de NaCl, con una concentración inicial de cromo hexavalente de 170mg/L y reduciéndose casi al 75% con un costo de energía de $2,68 \text{ kWh/m}^3$.

Se concluyó en la investigación que el lodo residual del proceso de electrocoagulación es una fuente de hierro y cromo que puede ser reutilizado en la producción de pigmentos para cerámicos de colores marrón rojizo y negro.

MAHVI, A; NASARI, S. Y MESDAGHINIA, A. (2016), en el artículo Performance Evaluation of Electrocoagulation Process for Removal of Chromium (VI) from Synthetic Chromium Solutions Using Iron and Aluminum Electrodes, realizaron estudios con el tratamiento de electrocoagulación con electrodos de hierro y aluminio para la eliminación de cromo hexavalente, de las cuales se

manipularon los parámetros de concentración de contaminante, pH, potencial eléctrico, DQO, turbidez y tiempo. Se emplearon concentraciones de cromo en 5, 50 y 500 ppm, y se tomaron muestras de 25 ml cada 20 minutos durante 60 minutos, para luego proceder a filtrar 0.45 μ y eliminar el lodo formado por la electrólisis. La eliminación de metales se obtuvo al mantenerse un pH de 3, con potencial eléctrico de 20 a 40 V para reducir concentraciones de iones metálicos en un intervalo de 20 a 60 minutos.

Según el estudio, se pudo determinar que, de los electrodos empleados de hierro y aluminio, el de hierro es mucho más eficiente para la eliminación de cromo mediante la electrocoagulación.

KUOKKANEN, V. *et al* (2013), en el artículo “Recent Applications of Electrocoagulation in Treatment of Water and Wastewater—A Review”, tuvo como objetivo revisar estudios sobre las aplicaciones de la electrocoagulación para tratar diferentes clases de agua y aguas residuales: textir, aguas coloreadas, aguas residuales oleosas, cianuro, entre otros para realizar un tratamiento eficaz, considerando un pH ligeramente neutro, a 10-50 A/m² durante un tiempo de 30 minutos aproximadamente, siendo importante el tipo de solución a tratar.

1.3. Teorías relacionadas con el tema

1.3.1. Agua

El agua es una sustancia importante para la vida cuya importancia depende de su composición y estructura. Es una molécula formada por dos átomos de hidrógenos y uno de oxígeno, con enlaces polares que permiten establecer puentes de hidrógeno con moléculas adyacentes.

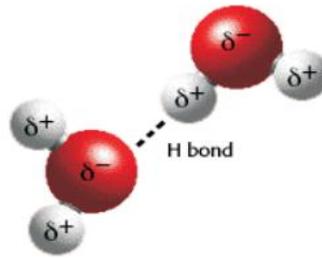


Figura N° 1. Composición molecular del agua

Fuente: Carbajal y Gonzales, 2015.

1.3.2. Propiedades físicas y químicas

- Acción disolvente: El agua es un líquido que tiene una capacidad disolvente debido a su característica polar y por su capacidad de formar puentes de hidrógeno (Carbajal y Gonzales, 2015).
- Conducción eléctrica: Es un mal conductor de electricidad, pero con presencia de sales es un buen conductor debido a la presencia de iones con cargas eléctricas Carbajal y Gonzales, 2015).
- Fuerza de cohesión entre las moléculas: Debido a sus puentes de hidrógeno es que tiene una característica incompresible, es decir que es difícil de comprimir (Carbajal y Gonzales, 2015).
- Elevada fuerza de adhesión: Los puentes de hidrógeno junto a la cohesión es que le dan la característica de capilaridad (Carbajal y Gonzales, 2015).
- Tensión superficial: Debido a la tensión superficial es que forma una película delgada sobre su superficie, evitando que algunos animales puedan andar sobre ella (Carbajal y Gonzales, 2015).

1.3.3. Peróxido de Hidrógeno

Es una sustancia que al descomponerse forma agua y oxígeno. Actúa como agente reductor - oxidante, desestabilizador y liberador de radicales OH[·].

1.3.4. Agua contaminada por Cromo hexavalente

El cromo es un metal que se encuentra en transición y existe en distintos estados de oxidación, desde cromo (0) hasta cromo hexavalente. El Cromo trivalente como hexavalente se consideran altamente tóxicos desde el punto de vista ambiental, siendo el cromo (IV) más tóxico de los dos cuando excede concentraciones de 0.05 mg/L en aguas potables, dado que posee características mutagénicas y cancerígenas (Pájaro y Fredyc, 2012, p. 238).

1.3.5. Normatividad Ambiental Nacional

Según la Normativa Nacional, los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, expresan que es la concentración de los elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos que son descargados en la red de alcantarillado sanitario y que dificultan el tratamiento de las mismas (SEDAPAL, s.f. p.1).

Tabla N°2: *Valores Máximos Admisibles para descargas residuales no domésticas, D.S. N° 021-2009-VIVIENDA*

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	V.M.A
Cromo hexavalente	Mg/L	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	Mg/L	Cr	10
pH	-	Ph	6-9
Sólidos sedimentables	m/L/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

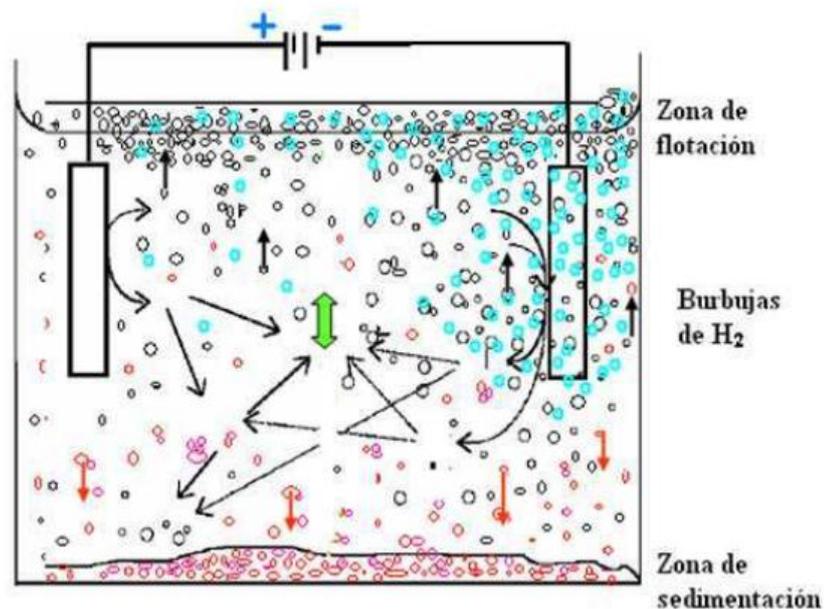
Fuente: Elaboración propia con base en SEDAPAL (2018).

1.3.6. Electrocoagulación

Es un proceso que implica coagulación y floculación en un reactor electrolítico, promovido por una fuente de corriente y electrodos

que aportan cationes para desestabilizar los contaminantes que se encuentran suspendidos, disueltos o emulsificados en el agua residual. (LAVORANTE, R; 2011; p. 40)

La generación de iones metálicos se da en el ánodo y en el cátodo, liberándose burbujas de hidrógeno gaseoso que forman agregados y luego quedan en la superficie del líquido, donde se concentran y son colectados o removidos fácilmente a través de una cámara de flotación y un colector de espuma. (ARANGO, A; 2015; p. 2)



Fuente: Arboleda y Herrera, 2015.

Figura N° 2. Proceso de Electrocoagulación

1.3.7. Factores que influyen en la electrocoagulación

- **Potencial de hidrógeno**

Es relacionada con la eficiencia de corriente empleada y la disolución del hidróxido del metal. Para mejores resultados, se debe tener en cuenta la naturaleza del contaminante, observando que hay una mejor remoción para valores cercanos a pH 7, y cuando este es neutro hay mayor consumo de energía debido a la

variación que ocurre en la conductividad. El pH para electrocoagulación con aguas ácidas puede aumentar, mientras que para aguas alcalinas podría decrecer. (ÁLVARO, A; 2015; p. 51)

En aguas residuales ácidas, el pH puede incrementarse debido a que genera hidrógeno molecular originado en el cátodo, a diferencia de ello, en aguas alcalinas puede disminuir; esto también dependiendo mucho de la naturaleza del contaminante, puede influir en la eficiencia del proceso. Algunas aguas residuales pueden ser más eficientes en aguas residuales básicas y otras ácidas. (ARANGO, M; 2012; p. 2)

Las reacciones que se dan en el proceso de la electrocoagulación, le da capacidad buffer mayormente en aguas alcalina, propiedad que no genera grandes cambios de pH ya que no necesita dosis altas de sustancias químicas para regular pH.

En algunos casos se ha determinado que la mayor remoción de arsénico se da en un rango de pH de 6 y 8, y las mejores para aguas residuales de textiles es de 7 a 9 para reducir turbiedad y DQO. (ARANGO, A; 2012; p. 2)

- **Densidad de corriente**

La corriente suministrada al sistema, determina la cantidad de iones liberados de Al^{+3} o hierro Fe^{+2} . cuando existe mayor consumo de energía eléctrica, esta se transforma en energía calorífica que calienta el agua. Al emplearse una mayor densidad de corriente, podría tener un deceso en la eficacia. Para una densidad optima, debe tenerse en cuenta otros parámetros como pH y temperatura. (ÁLVARO, A; 2015; p. 51)

- **Material del electrodo**

Depende del material del electrodo para las reacciones de óxido-reducción, estos pueden ser de Al y Fe para formar hidróxidos metálicos de los núcleos de las partículas coloidales. (CONDE, F; 2012, p.16)

- **Temperatura**

El incremento de la eficiencia del tratamiento con la temperatura, es relacionada con la destrucción de una película de óxido de aluminio presente en la superficie del electrodo. (ÁLVARO, A; 2015; p. 51)

- **Voltaje**

El potencial que se aplica, permite determinar las reacciones que se llevan en el ánodo. (CONDE F; 2012; p.17)

- **Tiempo de reacción**

Cuando mayor es el tiempo empleado para el tratamiento en el sistema, mayor será la cantidad de hierro disuelto. Esto se puede aplicar en la siguiente reacción. (CONDE F; 2012; p.17)

1.3.8. **Ventajas y desventajas**

Las ventajas y desventajas de la electrocoagulación, para el autor Arango, son las siguientes:

Ventajas:

- ✓ Los costos de operación son menores que otros procesos donde utilizan biopolímeros.
- ✓ Los equipos de operación son fáciles de operar y se puede manejar cualquier problema durante su funcionamiento.
- ✓ No es necesario el uso de productos químicos
- ✓ Genera lodos compactos y de menor volumen para su posterior disposición.
- ✓ Purifica el agua y genera agua potable
- ✓ Remueve partículas coloidales pequeñas, permitiendo su coagulación debido al campo eléctrico que las pone en movimiento.
- ✓ Las burbujas de gas que se producen, llevan a los contaminantes a la superficie, siendo más rápida su remoción.

Desventajas:

- ✓ El uso de electricidad puede ser costoso.
- ✓ El lodo generado depende del tiempo de electrodo que se emplee.
- ✓ Los electros en sacrificio deben reponerse.
- ✓ La remoción de DBO soluble (solventes y anticoagulantes) no son efectivos.

1.4. Formulación del Problema

1.4.1. Problema general

¿Cuál es la eficacia del tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 para la reducción de Cr^{+6} presente en aguas residuales en empresa de cromado?

1.4.2. Problemas específicos

¿Cuál es el tratamiento más eficaz (dosis óptima de: electrodos, voltaje y H_2O_2) para la reducción de Cr^{+6} presente en aguas residuales en empresa de cromado usando el tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 ?

¿En cuánto varía la concentración de Cr^{+6} presente en aguas residuales en empresa de cromado usando el tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 ?

1.5. Justificación del estudio

Las empresas de cromado producen agua residual y tienen impactos negativos en el ambiente por la variedad de sustancias tóxicas que no presentan ningún tipo de tratamiento y son vertidos directamente al alcantarillado.

La tecnología de la electrocoagulación, es una técnica que empezó a tomar urde en las últimas décadas, puesto que, comparada con tratamientos biológicos y químicos, es mucho más efectiva y no requiere la adición de insumos químicos. En la presente investigación, con fines experimentales, se realizará una combinación de electrocoagulación y H_2O_2 para encontrar el tratamiento más eficaz para la reducción de Cr^{+6}

presente en aguas residuales. Este tratamiento permite que los agentes coagulantes sean generados por electro-oxidación del ánodo de sacrificio, para el cual se usarán electrodos de aluminio y acero, es decir reacciones de óxido reducción que se producen entre los electrodos y el medio acuoso.

Este tratamiento genera un ahorro en el consumo de agua y colateralmente mejora la calidad de los desechos que van hacia el efluente principal, el costo de operación de es económico, el tratamiento se efectúa en menos tiempo; además, tiene gran uso para el tratamiento de agua potable, clarificación del agua residual, recuperación de metales que acumula y permite de esta manera reutilizar sus aguas.

Es necesario realizar más investigaciones con métodos combinados que ayuden a tratar aguas con presencia de Cr^{+6} entre otros metales para que puedan tomarse como precedente en posteriores estudios e implicando nuevas variables tales como el tiempo, la concentración de Cr^{+6} , entre otros donde pueda mejorar el desarrollo experimental.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

Ha: El tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 es eficaz para la reducción de Cr^{+6} presente en aguas residuales en empresa de cromado.

Ho: El tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 no es eficaz para la reducción de Cr^{+6} presente en aguas residuales en empresa de cromado.

1.6.2. Hipótesis Específica E1

Ha: El tratamiento de más eficaz (dosis optima de: electrodos, voltaje y H_2O_2) reduce Cr^{+6} presente en aguas residuales en empresa de cromado.

Ho: El tratamiento de más eficaz (dosis optima de: electrodos, voltaje y H_2O_2) no reduce Cr^{+6} presente en aguas residuales en empresa de cromado.

1.6.3. Hipótesis Específica E2

Ha: El uso del tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 varía significativamente la concentración de Cr^{+6} presente en aguas residuales en empresa de cromado.

Ho: El uso del tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 no varía significativamente la concentración de Cr^{+6} presente en aguas residuales en empresa de cromado.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

Determinar la eficacia del tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 para la reducción de Cr^{+6} presente en aguas residuales en empresa de cromado.

1.7.2. Objetivos Específicos

Determinar el tratamiento más eficaz (dosis óptima de: electrodos, voltaje y H_2O_2) para la reducción de Cr^{+6} presente en aguas residuales en empresa de cromado usando el tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 .

Determinar la variación de la concentración de Cr^{+6} presente en aguas residuales en empresa de cromado usando el tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 .

II. MÉTODO

2.1. Diseño de Investigación

- **Tipo de estudio**

La presente investigación es de tipo aplicada porque busca aplicar los conocimientos adquiridos y a la vez los que se adquieren luego de poner en práctica la investigación. (VARGAS, P; 2009; p. 159)

- **Nivel de investigación**

El nivel de la investigación es explicativo, es decir que explica por qué ocurre un fenómeno y las condiciones en las que se manifiesta o por qué se relaciona con dos o más variables. (SAMPIERI; 2014; p. 95)

- **Diseño de investigación**

Es de diseño experimental a fin de obtener los resultados esperados durante la manipulación intencional de las variables (SAMPIERI; 2014; p. 154) independiente (tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2) para observar cambios en la variable dependiente (Cr^{+6} presente en agua residual) durante el proceso de reducción de Cr^{+6} .

2.2. Variables y Operalización

2.2.1. Variables

- **Variable Independiente**

Tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 .

- **Variable Dependiente**

Reducción de Cr^{+6}

2.2.2. Cuadro de operalización de variable

Tabla N° 3: Operalización de Variable

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
Tratamiento combinado de electrocoagulación y H ₂ O ₂	Este tratamiento combinado permite que la electrocoagulación pueda desestabilizar contaminantes suspendidos, disueltos o emulsificados, con una mayor efectividad usando O ₂ H ₂ (LAVORANTE, V; 2011; p. 40).	Para evaluar este tratamiento combinado, se aplicará en distintas dosis de H ₂ O ₂ , voltaje y electrodos, para reducir Cr ⁺⁶ en agua residual.	H ₂ O ₂	H ₂ O ₂ 2 ml 4 ml	Razón (ml)
			Electrocoagulación	Voltaje 7 V 10 V	Razón (V)
				Electrodos 4 8	Razón
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
Reducción de Cr ⁺⁶	El Cr ⁺⁶ considerado desde el punto de vista ambiental, es altamente tóxico cuando excede concentraciones de 0.05 mg/L en agua potable, poseyendo características mutagénicas y cancerígenas (YINA, A; Y FREDY, C; 2012, p. 3).	Para evaluar el Cr ⁺⁶ presente en agua residual de una empresa de cromado, se analizarán las propiedades físicas del agua residual (turbidez, conductividad eléctrica), propiedades químicas (pH) y concentración de Cr ⁺⁶ .	Propiedades Físicas	Turbidez	Razón (NTU)
				Conductividad Eléctrica	Razón (µS/cm)
			Propiedades químicas	pH	Razón
			Cr ⁺⁶	Concentración inicial de Cr ⁺⁶	Razón (mg/L)
Concentración Final de Cr ⁺⁶	Razón (mg/L)				

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Excel 2013 (2018).

2.3. Unidad de análisis, población, muestra y técnica de muestreo

2.3.1. Unidad de análisis

Cr⁺⁶ presente en agua residual en empresa de cromado.

2.3.2. Población

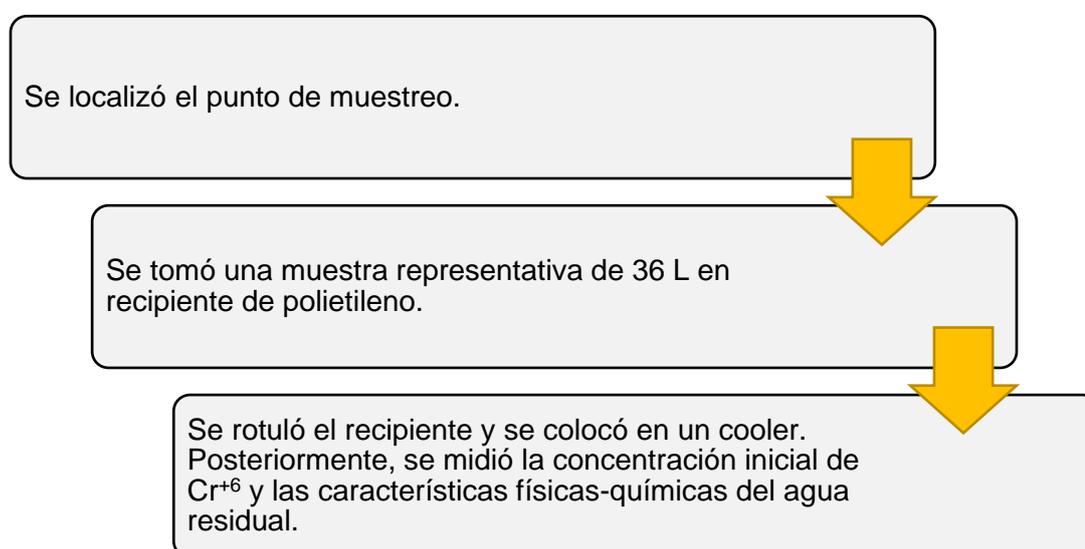
Para el desarrollo de la investigación, se estudió las aguas residuales provenientes de un efluente del proceso de cromado de una empresa dedicada al proceso de cromado en el distrito de San Marín de Porres, departamento de Lima – Perú.

2.3.3. Muestra

Se tomó una muestra representativa de 36 L de las aguas residuales de una empresa dedicada al proceso de cromado ubicado en el distrito de San Martín de Porres, departamento de Lima – Perú.

2.3.4. Muestreo

Se muestreó 36 L de agua residual de la empresa de cromado y se aplicó según el protocolo de DIGESA para muestreo de efluentes y cuerpos receptores.



Fuente: Elaboración propia con base en el DIGESA (2018).

Figura N° 3. Diagrama de proceso de la toma de muestra de aguas residuales de una empresa de cromado.

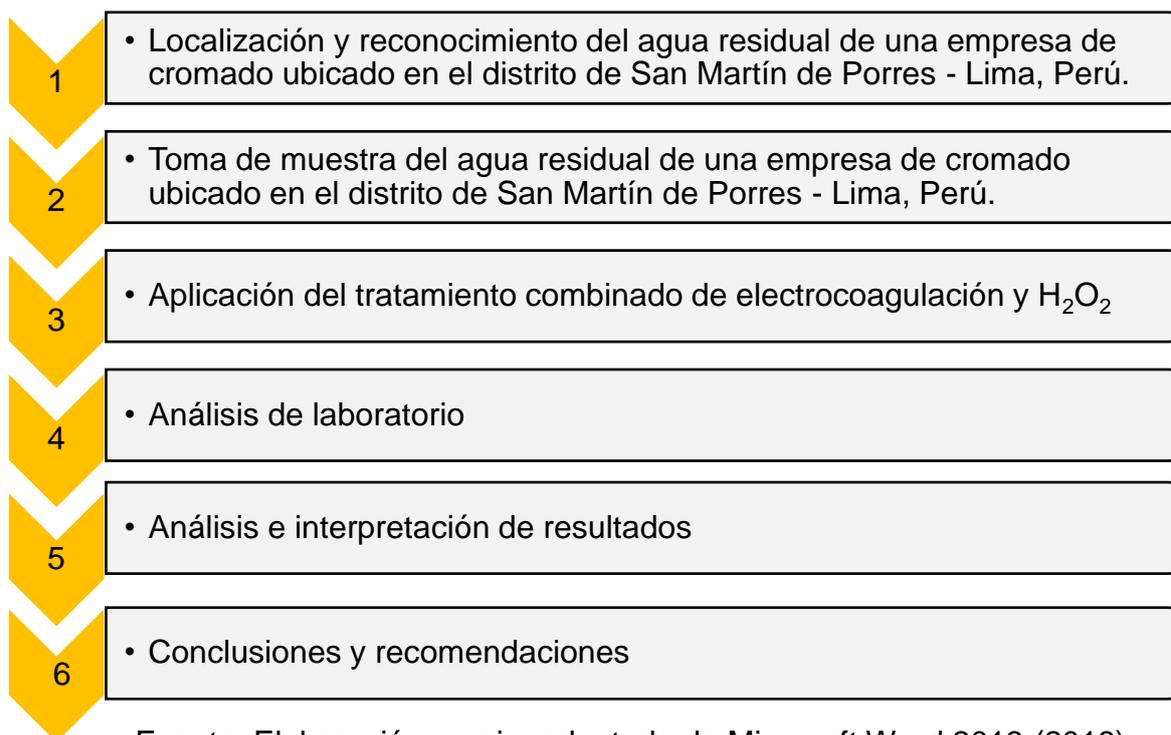
La muestra fue tomada en el Distrito de San Martín de Porres ubicado en el Departamento de Lima. Por seguridad y confidencialidad con la empresa, no se puede mencionar las coordenadas UTM en la presente investigación.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Técnica

La técnica de la presente investigación es la observación, ya que, se pudo identificar los cambios que se generaron durante el proceso combinado de electrocoagulación y H_2O_2 , para posteriormente ser considerados en las interpretaciones.

2.4.2. Descripción del procedimiento



Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Word 2013 (2018).

Figura N° 4. Diagrama del proceso de investigación

Etapa 1. Toma de muestra del agua residual de una empresa de cromado

En esta etapa se hizo la toma de muestra del agua residual proveniente de una empresa de cromado ubicada en el distrito de San Martín de Porres.

1. Se tomó las coordenadas para localizar el punto de muestreo.

2. Se tuvo cuidado personal en la toma de muestra, pues se utilizó: guantes de látex, mascarilla y mandil.
3. Para realizar la muestra se utilizó recipiente de polietileno.
4. Se rotuló el recipiente para su respectiva identificación y se analizaron los parámetros físicos (conductividad eléctrica y turbidez) - químicos (pH) y concentración inicial de Cr^{+6} en el laboratorio.



Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura N° 5. Toma de muestra del agua residual.

Etapa 2. Evaluación y registro de las propiedades físicas - químicas de la muestra y la concentración inicial de Cr^{+6} antes del tratamiento.

Se evaluaron y registraron las propiedades físicas y químicas de la muestra de las aguas residuales, que están basados en el principal contaminante que es Cr^{+6} , el cual proviene de la realización de los baños de cromado en las piezas metálicas. Este procedimiento se llevó a cabo en la Universidad César Vallejo Lima Norte.

Tabla N°4: *Datos de la muestra para la caracterización del agua residual.*

Fecha de muestreo	: 12 de Mayo del 2018
Hora de Muestreo	: 4:15 pm
Código	: M-I

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Word 2013. (2018).

Tabla N°5: Análisis de la muestra inicial

MUESTRA INICIAL						
CÓDIGO	PARÁMETROS FÍSICOS - QUÍMICOS				Fecha	Hora
M-I	Turbidez (NTU)	C.E (μS/cm)	pH	Cr ⁺⁶ (mg/l)		
		15	1994	6.02	269.78	4 Junio

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Word 2013 (2018).

ANÁLISIS INICIAL DE Cr⁺⁶ - Metodo Colorimétrico de la Difenilcarbazida

Para realizar los análisis de Cr⁺⁶, se siguió el Método Colorimétrico de la Difenilcarbazida, que consistió en lo siguiente:

- Equipos y Materiales:
 - Difenilcarbazida
 - Acetona
 - Ácido sulfúrico
 - Dicromato de Potasio
 - Agua destilada
 - Vasos precipitados de 250 ml
 - Fiolas de 100 ml
 - Pipetas de 1ml y 5 ml
 - Bombilla para pipeta
 - Bagueta
 - Probeta de 5 ml y 10 ml
 - Gotero
 - Balanza Analítica OHAUS, Modelo: P(K₂Cr₂O₇)A214.
 - Espectrofotómetro UV-Visible Marca: PG Instruments Ltda, Modelo: T80+

Para el procedimiento se realizaron los siguientes pasos:

1. Se pesó 0.125 g de difenilcarbazida y se pasó a un vaso precipitado de 250 ml.



Fuente: Imagen propia (2018).

Figura N° 6. Peso de la difenilcarbazida

2. Se pipeteó 25 ml de acetona al vaso precipitado que contiene difenilcarbazida
3. Se trituro las partículas de difenilcarbazida con bagueta y se echó a un recipiente de plástico y oscuro para evitar la formación de grumos en presencia de luz.
4. Se pesó 0.1414 g de $K_2Cr_2O_7$ en la balanza analítica. Posteriormente se echó a un vaso precipitado de 250 ml y se agregó 30 ml de agua destilada para luego triturar las partículas con una bagueta. Por último se pasó a una fiola y se enrazó con agua destilada (500 ppm).



Fuente: Elaboración propia. (2018)

Figura N° 7. Peso del dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$)

5. Se pipeteó 1 ml (5 ppm) de la fiola de 500 ppm a una fiola de 100 ml y se enrazó.
6. Se pipeteó 2 ml (0.02 ppm) de la fiola de 5 ppm a una fiola de 100 ml y se enrazó.
7. Se preparó un Blanco en una fiola de 100 ml y se enrazó con agua destilada.
8. En un tubo de ensayo, se preparó 5 ml de ácido sulfúrico con 5 ml de agua destilada (solución 1:1) y se agregó 1ml al Blanco y a la fiola de 0.2 ppm hasta obtener pH entre 1.5 y 2.5.
9. En un vaso precipitado de 50 ml se preparó 5 ml de ácido sulfúrico y 20 ml de agua destilada (solución 1:5)
10. De la fiola de 5 ppm, se preparó la curva de calibración con 4 concentraciones en 4 vasos precipitados de 250 ml con 50 ml de agua destilada.

1 ml/100 → 0.05 ppm

3 ml/100 → 0.15 ppm

10 ml/100 → 0.5 ppm

20 ml/ 100 → 1 ppm



Fuente: Elaboración propia (2018).
Figura N°.8. Curva de calibración

A cada concentración se le pipeteó 0.5 ml de la solución 1:5 hasta obtener un pH entre 1.5 y 2.5. Por último se enrazó cada una a fiolas de 100 ml.

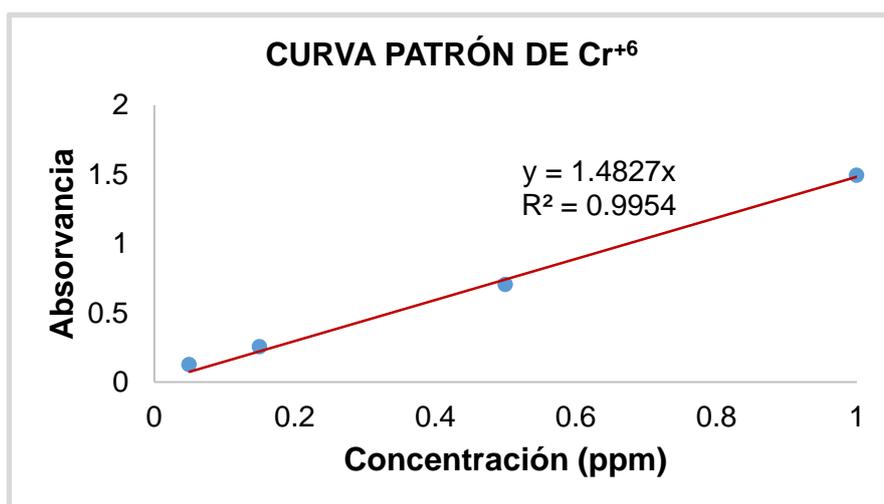
11. Se pipeteó 1 ml de la solución preparada de difenilcarbazida en las fiolas con el Blanco y en la concentración para los patrones de la curva de calibración. Agitar y dejar que agarre color de 5 a 10 minutos.



Fuente: Elaboración propia (2018).
Figura N°9. Cambio de color con difenilcarbazida

12. Se leyó cada patrón en el espectrofotómetro a 540 nm y se pasó los datos obtenidos de la absorbancia al programa Microsoft Excel 2013 para realizar la curva de calibración.
- 13.

Gráfico N° 1. Curva patrón de Cr^{+6}



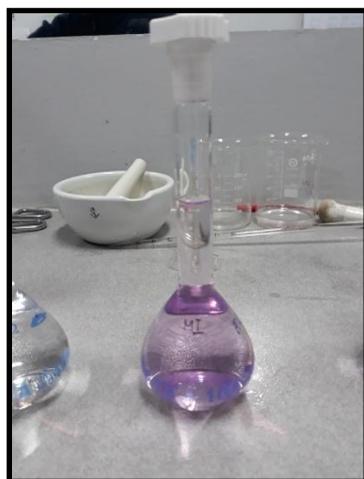
Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Excel 2013 (2018).

Tabla N° 6: *Concentración y absorvancia*

CONCENTRACIÓN (ppm)	ABSORVANCIA (540 nm)
0	0
0.05	0.127
0.15	0.254
0.5	0.704
1	1.494

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Excel 2013 (2018).

14. Luego de obtener la curva de calibración, se pasó a diluir la muestra para poder realizar la lectura en el espectrofotómetro.
- Se pipeteó 1 ml de la muestra a un vaso precipitado de 250 ml y se diluyó con 10 ml de agua destilada.
 - Del vaso precipitado de 250 ml, se pipeteó 0.5 ml a un vaso de 250 ml y se echó 30 ml de agua destilada. Luego se ajustó el pH en un rango de 2- 2.5 utilizando la solución ya preparada de 1:5. Por último se enrazó a una fiola de 100 ml.
 - Se pipeteó 1 ml de difenilcarbazida a la fiola de 100 ml con la muestra diluida. Se agitó y dejó que tome color para leer la absorbancia en el espectrofotómetro.



Fuente: Elaboración propia. (2018).

Figura N° 10. Color de la muestra inicial con difenilcarbazida

- Se leyó primero el Blanco y se leyó una absorbancia de 0.000, eso quiere decir que está apto para leer las muestras. Se obtuvo una absorbancia de 0.221, el cual se ubicó en la ecuación de la recta de la curva de calibración y se halló la concentración inicial de la muestra inicial del agua residual multiplicando por los factores de dilución.

$$\text{Concentración M-I} = (0.221/1.4827) * 100/0.5 * 10$$

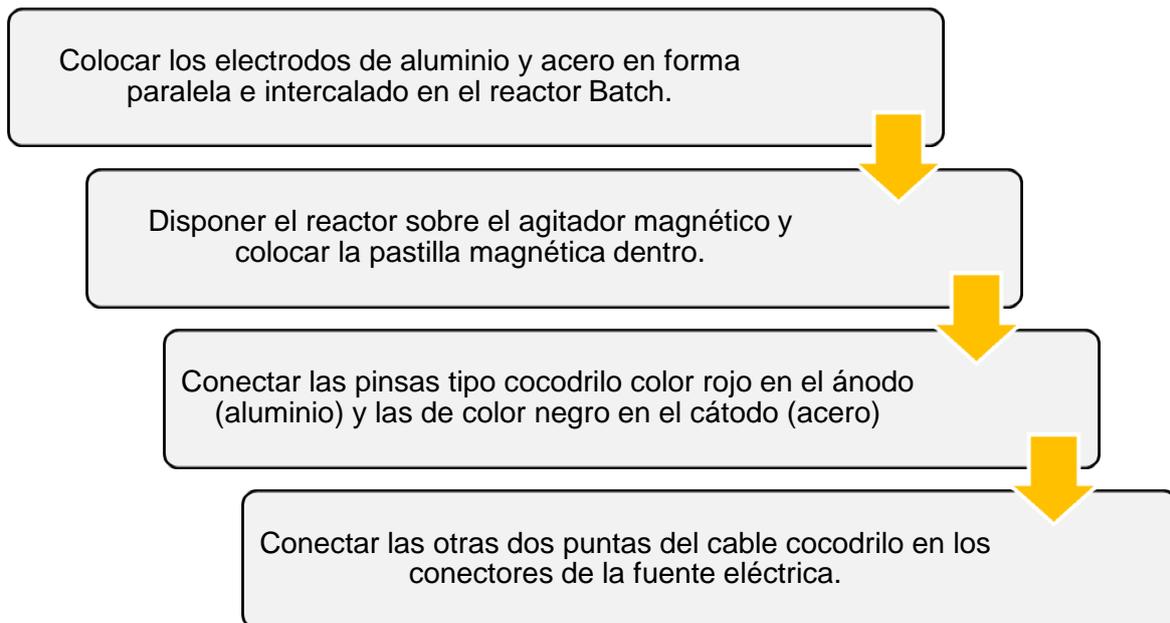
$$\text{Concentración M-I} = 260.54 \text{ ppm}$$

La curva de calibración nos servirá posteriormente para hallar las concentraciones de los tratamientos realizados para reducir Cr^{+6} . Asimismo, se usará la solución preparada de difenilcarbazida el cual se conservará a una temperatura de 3 °C.

Etapas 3. Evaluación y registro de las propiedades físicas y químicas de la muestra y la concentración final de Cr^{+6} después del tratamiento.

Se empezó realizando en el laboratorio el ensamblado del equipo para el tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 .

- Equipos y Materiales
 - Reactor Batch continuo para 4 electrodos de 2 L de capacidad
 - Reactor Batch continuo para 8 electrodos de 2 L de capacidad
 - 6 electrodos de aluminio y 6 electrodos de acero de 3 mm de grosor
 - 2 pares de pinzas cocodrilo positivo y negativo para 4 y 8 electrodos
 - Agua destilada
 - Ácido clorhídrico
 - Agitador Magnético DLAB MS7 – H350 – Pro
 - Fuente Eléctrica 220 VAC 3-6 AMP MODEL FO3



Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Word 2013. (2018).

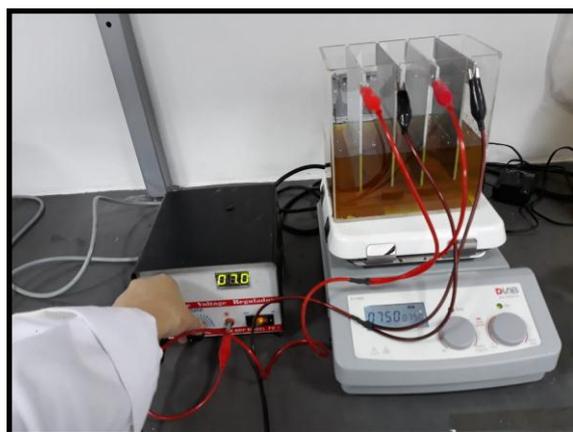
Figura N° 11. Diagrama de proceso para ensamblado del equipo



Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura N°12.. Ensamblado del equipo

- Se realizó 8 tratamientos con el método combinado de electrocoagulación y H_2O_2 para reducir Cr^{+6} presente en aguas residuales de una empresa de cromado. Cada tratamiento de 1.5 L y 1 h de duración, consiste en la aplicación de diferentes dosis de H_2O_2 (5ml y 10 ml), voltaje (7 V y 10 V) y así como electrodos (4 unid y 8 unid) para determinar la eficiencia en el proceso de remoción.



Fuente: Elaboración propia. (2018).

Figura N°13. Proceso combinado de electrocoagulación y H₂O₂

- A cada tratamiento se le realizaron 3 réplicas para obtener resultados confiables y por cada réplica se analizó la concentración de Cr⁺⁶ mediante determinación colorimétrica en espectrofotómetro y se midieron parámetros de turbidez, conductividad eléctrica y pH.

1er Tratamiento (Dosis: 4 electrodos, 7 V y 5 ml)

El primer tratamiento se realizó el día 6 de Junio en el laboratorio de la Universidad César Vallejo – Lima Norte.

Para los análisis de la concentración final de Cr⁺⁶, se obtuvieron las siguientes absorvancias:

Tratamiento	Réplica	Código	Absorvancia
T1	R1	T1-R1	0.06
	R2	T1-R2	0.062
	R3	T1-R3	0.059

Se realizaron los siguientes cálculos para hallar la concentración final de Cr⁺⁶, los cuales fueron multiplicados por los factores de dilución:

- T1-R1: $\frac{0.06-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 68.94$
- T1-R2 : $\frac{0.062-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 67.90$
- T1- R3 : $\frac{0.059-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 69.4$

Para hallar la eficacia se realizó de la siguiente manera

- T1-R1: $\frac{260.54-68.94}{260.54} \times 100\% = 68.94\%$
- T1-R2: $\frac{260.54-67.90}{260.54} \times 100\% = 67.90\%$
- T1-R3: $\frac{260.54-69.45}{260.54} \times 100\% = 69.45\%$

Trat.	Répl.	Cód.	Electr.	Volt (V)	H ₂ O ₂ (ml)	Turb (NTU)	C.E. (μS/cm)	pH	Cr ⁺⁶ final (mg/l)	Eficacia (%)
T1	R1	T1- R1	4	7	5	312	1793	7.49	79.58	68.94
	R2	T1-R2	4	7	5	307	1782	7.51	83.63	67.90
	R3	T1-R3	4	7	5	326	1779	7.48	79.58	69.45
Promedio						315	1785	7.49	80.93	68.94

➤ **2^{do} Tratamiento (Dosis: 4 electrodos, 7 V y 10 ml)**

El segundo tratamiento se realizó el día 7 de Junio en el laboratorio de la Universidad César Vallejo – Lima Norte.

Para los análisis de la concentración final de Cr⁺⁶, se obtuvieron las siguientes absorvancias:

Tratamiento	Réplica	Código	Absorvancia
T2	R1	T2- R1	0.057
	R2	T2- R2	0.056
	R3	T2- R3	0.058

Se realizaron los siguientes cálculos para hallar la concentración final de Cr⁺⁶, los cuales fueron multiplicados por los factores de dilución:

- T2-R1: $\frac{0.057-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 76.89$
- T2-R2: $\frac{0.056-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 75.54$
- T2- R3: $\frac{0.058-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 78.24$

Para hallar la eficacia se realizó de la siguiente manera

- T2-R1: $\frac{260.54-76.89}{260.54} \times 100\% = 70.49\%$
- T2-R2: $\frac{260.54-75.54}{260.54} \times 100\% = 71.01\%$
- T2- R3: $\frac{260.54-78.24}{260.54} \times 100\% = 69.97\%$

Trat.	Répl.	Cód.	Electr.	Volt (V)	H ₂ O ₂ (ml)	Turb (NTU)	C.E. (μS/cm)	pH	Cr ⁺⁶ final (mg/l)	Eficia cia (%)
T2	R1	T2- R1	4	7	10	382	1700	7.55	76.89	70.49
	R2	T2- R2	4	7	10	395	1712	7.58	75.54	71.01
	R3	T2- R3	4	7	10	387	1726	7.59	78.24	69.97
Promedio						388	1713	7.57	75.54	71.01

➤ **3^{er} Tratamiento (Dosis: 4 electrodos, 7 V y 5 ml)**

El tercer tratamiento se realizó el día 8 de Junio en el laboratorio de la Universidad César Vallejo – Lima Norte.

Para los análisis de la concentración final de Cr+6, se obtuvieron las siguientes absorvancias:

Tratamiento	Réplica	Código	Absorvancia
T3	R1	T3- R1	0.049
	R2	T3- R2	0.05
	R3	T3- R3	0.048

Se realizaron los siguientes cálculos para hallar la concentración final de Cr⁺⁶, los cuales fueron multiplicados por los factores de dilución:

- T3-R1: $\frac{0.049-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 76.89$
- T3-R2 : $\frac{0.05-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 75.54$
- T3- R3 : $\frac{0.048-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 78.24$

Para hallar la eficacia se realizó de la siguiente manera

- T3 - R1: $\frac{260.54-74.63}{260.54} \times 100\% = 74.63\%$
- T3 - R2: $\frac{260.54-74.11}{260.54} \times 100\% = 74.11\%$
- T3- R3: $\frac{260.54-75.15}{260.54} \times 100\% = 75.15\%$

Trat.	Répl.	Cód.	Electr.	Volt. (V)	H ₂ O ₂ (ml)	Turb. (NTU)	C.E. (μS/cm)	pH	Cr ⁺⁶ final (mg/l)	Eficacia (%)
T3	R1	T3- R1	4	10	5	382	1700	7.55	66.10	74.63
	R2	T3- R2	4	10	5	395	1712	7.58	67.44	74.11
	R3	T3- R3	4	10	5	387	1726	7.59	64.75	75.15
Promedio						434	1649	7.65	66.10	74.63

➤ **4^{to} Tratamiento (Dosis: 4 electrodos, 10 V y 10 ml)**

El cuarto tratamiento se realizó el día 9 de Junio en el laboratorio de la Universidad César Vallejo – Lima Norte.

Para los análisis de la concentración final de Cr+6, se obtuvieron las siguientes absorvancias:

Tratamiento	Réplica	Código	Absorvancia
T4	R1	T4-R1	0.042
	R2	T4-R2	0.041
	R3	T4-R3	0.044

Se realizaron los siguientes cálculos para hallar la concentración final de Cr⁺⁶, los cuales fueron multiplicados por los factores de dilución:

- T4 - R1: $\frac{0.042-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 56.65$
- T4 - R2: $\frac{0.041-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 55.30$
- T4 - R3: $\frac{0.044-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 59.35$

Para hallar la eficacia se realizó de la siguiente manera

- T4 - R1: $\frac{260.54-56.65}{260.54} \times 100\% = 78.26\%$
- T4 - R2: $\frac{260.54-55.30}{260.54} \times 100\% = 78.77\%$
- T4 - R3: $\frac{260.54-59.35}{260.54} \times 100\% = 77.22\%$

Trat.	Répl.	Cód.	Electr.	Volt (V)	H ₂ O ₂ (ml)	Turb (NTU)	C.E. (μS/cm)	pH	Cr ⁺⁶ final (mg/l)	Eficacia (%)
T4	R1	T2- R1	4	10	10	471	1592	7.69	56.65	78.26
	R2	T2- R2	4	10	10	477	1588	7.72	55.30	78.77
	R3	T2- R3	4	10	10	462	1573	7.70	59.35	77.22
Promedio						470	1584	7.70	56.65	78.26

➤ **5^{to} Tratamiento (Dosis: 8 electrodos, 7 V y 5 ml)**

El quinto tratamiento se realizó el día 12 de Junio en el laboratorio de la Universidad César Vallejo – Lima Norte.

Para los análisis de la concentración final de Cr⁺⁶, se obtuvieron las siguientes absorvancias:

Tratamiento	Réplica	Código	Absorvancia
T5	R1	T5- R1	0.036
	R2	T5- R2	0.034
	R3	T5- R3	0.037

Se realizaron los siguientes cálculos para hallar la concentración final de Cr⁺⁶, los cuales fueron multiplicados por los factores de dilución:

- T5 - R1: $\frac{0.036-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 48.56$
- T5 - R2: $\frac{0.034-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 45.86$
- T5 - R3: $\frac{0.037-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 49.91$

Para hallar la eficacia se realizó de la siguiente manera

- T5 - R1: $\frac{260.54-48.56}{260.54} \times 100\% = 81.36\%$
- T5 - R2: $\frac{260.54-45.86}{260.54} \times 100\% = 82.36\%$
- T5 - R3: $\frac{260.54-49.91}{260.54} \times 100\% = 80.84\%$

Trat.	Répl.	Cód.	Electr.	Volt (V)	H ₂ O ₂ (ml)	Turb (NTU)	C.E. (μS/cm)	pH	Cr ⁺⁶ final (mg/l)	Eficacia (%)
T5	R1	T5- R1	8	7	5	655	1003	9.94	48.56	81.36
	R2	T5- R2	8	7	5	641	991	9.96	45.86	82.40
	R3	T5- R3	8	7	5	633	1111	9.93	49.91	80.84
Promedio						643	1035	9.94	48.56	81.36

➤ **6^{to} Tratamiento (Dosis: 8 electrodos, 7 V y 10 ml)**

El sexto tratamiento se realizó el día 13 de Junio en el laboratorio de la Universidad César Vallejo – Lima Norte.

Para los análisis de la concentración final de Cr+6, se obtuvieron las siguientes absorvancias:

Tratamiento	Réplica	Código	Absorvancia
T6	R1	T6- R1	0.031
	R2	T6- R2	0.032
	R3	T6- R3	0.033

Se realizaron los siguientes cálculos para hallar la concentración final de Cr⁺⁶, los cuales fueron multiplicados por los factores de dilución:

- T6 - R1: $\frac{0.031-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 41.82$
- T6 - R2: $\frac{0.032-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 43.16$
- T6 - R3: $\frac{0.033-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 44.51$

Para hallar la eficacia se realizó de la siguiente manera

- T6 - R1: $\frac{260.54-41.82}{260.54} \times 100\% = 83.95\%$

- T6 - R2: $\frac{260.54-43.16}{260.54} \times 100\% = 83.43\%$
- T6- R3: $\frac{260.54-44.51}{260.54} \times 100\% = 82.91\%$

Trat.	Répl.	Cód.	Electr.	Volt (V)	H ₂ O ₂ (ml)	Turb (NTU)	C.E. (μS/cm)	pH	Cr ⁺⁶ final (mg/l)	Eficacia (%)
T6	R1	T6- R1	8	7	10	655	1003	9.94	41.82	83.95
	R2	T6- R2	8	7	10	641	991	9.96	43.16	83.43
	R3	T6- R3	8	7	10	633	1111	9.93	44.51	82.91
Promedio						643	1035	9.94	43.16	83.43

- **7^{mo} Tratamiento (Dosis: 8 electrodos, 10 V y 5 ml)**

El séptimo tratamiento se realizó el día 14 de Junio en el laboratorio de la Universidad César Vallejo – Lima Norte.

Para los análisis de la concentración final de Cr⁺⁶, se obtuvieron las siguientes absorvancias:

Tratamiento	Réplica	Código	Absorvancia
T7	R1	T7- R1	0.024
	R2	T7- R2	0.026
	R3	T7- R3	0.028

Se realizaron los siguientes cálculos para hallar la concentración final de Cr⁺⁶, los cuales fueron multiplicados por los factores de dilución:

- T7 - R1: $\frac{0.024-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 32.37$
- T7 - R2: $\frac{0.026-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 35.27$
- T7 - R3: $\frac{0.028-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 37.77$

Para hallar la eficacia se realizó de la siguiente manera

- T7 - R1: $\frac{260.54-32.37}{260.54} \times 100\% = 87.57\%$

- T7 - R2: $\frac{260.54-35.27}{260.54} \times 100\% = 86.54\%$
- T7 - R3: $\frac{260.54-37.77}{260.54} \times 100\% = 85.50\%$

Trat.	Répl.	Cód.	Electr.	Volt (V)	H ₂ O ₂ (ml)	Turb (NTU)	C.E. (μS/cm)	pH	Cr ⁺⁶ final (mg/l)	Eficacia (%)
T7	R1	T7- R1	8	10	5	847	882	10.15	32.37	87.57
	R2	T7- R2	8	10	5	854	914	10.17	35.27	86.54
	R3	T7- R3	8	10	5	862	903	10.13	37.77	85.50
Promedio						854	900	10.15	35.07	86.54

- **8^{vo} Tratamiento (Dosis: 8 electrodos,10 V y 5 ml)**

El octavo tratamiento se realizó el día 15 de Junio en el laboratorio de la Universidad César Vallejo – Lima Norte.

Para los análisis de la concentración final de Cr⁺⁶, se obtuvieron las siguientes absorvancias:

Tratamiento	Réplica	Código	Absorvancia
T8	R1	T8- R1	0.019
	R2	T8- R2	0.021
	R3	T8- R3	0.022

Se realizaron los siguientes cálculos para hallar la concentración final de Cr⁺⁶, los cuales fueron multiplicados por los factores de dilución:

- T8 - R1: $\frac{0.019-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 25.63$
- T8 - R2: $\frac{0.021-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 28.33$
- T8 - R3: $\frac{0.022-0.0337}{1.4378} \times \frac{100}{0.5} \times 10 = 29.68$

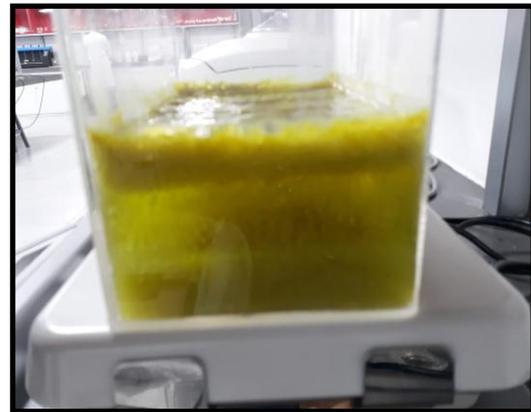
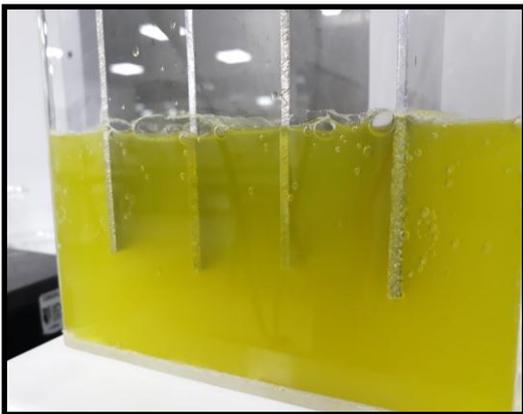
Para hallar la eficacia se realizó de la siguiente manera

- T8 - R1: $\frac{260.54-25.63}{260.54} \times 100\% = 90.16\%$
- T8 - R2: $\frac{260.54-28.33}{260.54} \times 100\% = 89.13\%$

- T8 - R3: $:\frac{260.54-29.68}{260.54} \times 100\% = 88.61\%$

Trat.	Répl.	Cód.	Electr.	Volt (V)	H ₂ O ₂ (ml)	Turb (NTU)	C.E. (μS/cm)	pH	Cr ⁺⁶ final (mg/l)	Eficia cia (%)
T8	R1	T8- R1	8	10	10	983	10.22	862	25.63	90.16
	R2	T8- R2	8	10	10	975	10.20	847	28.33	89.13
	R3	T8- R3	8	10	10	994	10.21	853	29.68	88.61
Promedio						984	10.21	854	28.33	89.13

Luego de haber realizados los tratamientos se pudo observar la presencia de lodos en la parte superior del reactor, que viene a ser los contaminantes que fueron floculados por la presencia de H₂ que convierte el cátodo y O₂ proveniente del ánodo y del H₂O₂. En el tratamiento 8 se observó una buena presencia de estos lodos comparados con el tratamiento 1, ya que a mayor dosis de electrodos, voltaje y H₂O₂ se reduce mayor cantidad de Cr⁺⁶.



Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura N°14. Diferencia de presencia de Lodo para T1 y T8

2.4.3. Instrumentos de recolección de datos

Tabla N°7: Técnicas e instrumentos

	ETAPA	FUENTE	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
1	Toma de muestra de aguas residuales de una empresa de cromado	Investigador	Observación	Ficha de observación y registro de datos de la muestra de aguas residuales de una empresa de cromado (Anexo 1)
2	Evaluación y registro de las propiedades físicas-químicas de la muestra antes del tratamiento	Investigador y Laboratorio	Observación y experimentación	Ficha de observación y registro de las propiedades físicas de la muestra antes del tratamiento (Anexo 2)
3	Evaluación y registro de las propiedades físicas-químicas de la muestra después del tratamiento	Investigador y Laboratorio	Observación y experimentación	Ficha de observación y registro de las propiedades físicas-químicas de la muestra después del tratamiento (Anexo 3)

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Word 2013 (2018).

2.5. Validez

La validez de la investigación se respaldó por 3 Ingenieros expertos en el tema y con C.I.P. habilitado, quienes validaron las 3 Fichas de Instrumento requeridas para el desarrollo de investigación.

La validación de la presente investigación se dio mediante los análisis realizados en el laboratorio de Físicoquímica de la Universidad César Vallejo antes y después de realizar los tratamientos, los cuales fueron

supervisados y aprobados por el Ingeniero Químico Sigfredo Alexander Quintana Paetán - CQP 596.

2.6. Confiabilidad

Para la confiabilidad de la presente investigación, se utilizó el programa Microsoft Excel 2013 e IBM SPSS STATICS 23 para la elaboración de las tablas con los resultados.

2.7. Métodos de análisis de datos

La presente investigación se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con un solo factor, con 8 tratamientos y 3 réplicas aplicadas en las mismas condiciones, en el que se conoció el mejor tratamiento para determinar la eficacia del tratamiento combinado de electrocoagulación y H₂O₂.

Tabla N° 8: Método de Análisis de datos.

Tratamientos	Repeticiones				$\sum Y_i$
	1	2	3	...j	
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{1j}	$Y_{1.}$
2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{2j}	$Y_{2.}$
3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{3j}	$Y_{3.}$
...i	Y_{i1}	Y_{i2}	Y_{i3}	Y_{ij}	$Y_{i.}$
$\sum Y_{.j}$	$Y_{.1}$	$Y_{.2}$	$Y_{.3}$	$Y_{.j}$	$Y_{...}$

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Excel 2013 (2018).

Modelo Estadístico: $y_{ij} = \mu + \tau_i + u_{ij}$, $i = 1, 2 \dots, t$ $j = 1, \dots, n_i$

Donde:

Y_{ij} = es la respuesta (variable de interés o variable medida)

μ = media general del experimento

τ_i = efecto del tratamiento

i = tratamientos

E_{ij} = error aleatorio asociado a la respuesta Y_{ij}

j = repeticiones

Para el análisis estadístico se utilizó el programa IBM SPSS STATISTICS V23, en el que se utilizó la prueba estadística ANOVA y como prueba de contraste se usó la prueba de Tukey.

También se utilizó el programa Microsoft Excel 2013 para la representación de los datos en tablas y gráficos que muestran la eficacia del tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 para reducir Cr^{+6} .

2.8. Aspectos éticos

El investigador se comprometió con los principios de ética en cuanto a respetar la veracidad de los resultados obtenidos en el laboratorio y los datos para el desarrollo de la tesis.

III. RESULTADOS

3.1. Resultados de análisis del agua residual con Cr⁺⁶

La muestra fue analizada para observar las concentraciones que tiene antes de realizar los tratamientos combinados de electrocoagulación y H₂O₂.

3.1.1. Resultados iniciales

Las características físicas y químicas que se indican en el siguiente cuadro se obtuvieron antes de realizar el tratamiento combinado de electrocoagulación y H₂O₂.

Tabla N°9: *Evaluación de las propiedades físicas y químicas del agua residual de una empresa de cromado, San Martín de Porres – Lima.*

AGUA RESIDUAL DE UNA EMPRESA DE CROMADO			
	PARÁMETROS FÍSICOS - QUÍMICOS		
Réplica	Turbidez (NTU)	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	pH
Réplica 1	15	1991	6.01
Réplica 2	15	1989	6.02
Réplica 3	14	1994	6.02
Promedio	15	1991	6.02
ECA - Cat 1	5	1500	6.5 - 8.5

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Word 2013 (2018).

En la **Tabla N° 9**, se observa que las características físicas – químicas del agua residual evaluado en laboratorio exceden el ECA para Agua del Decreto Supremo N° 004–2017-MINAM.

Tabla N°10. Evaluación de la concentración inicial de Cr^{+6} del agua residual de una empresa de cromado, San Martín de Porres – Lima.

AGUA RESIDUAL DE UNA EMPRESA DE CROMADO	
Réplica	Concentración Inicial de Cr^{+6} (mg/L)
Réplica 1	269.78
Réplica 2	256.29
Réplica 3	269.78
Promedio	269.78
ECA - Cat 1	0.05

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Word 2013 (2018).

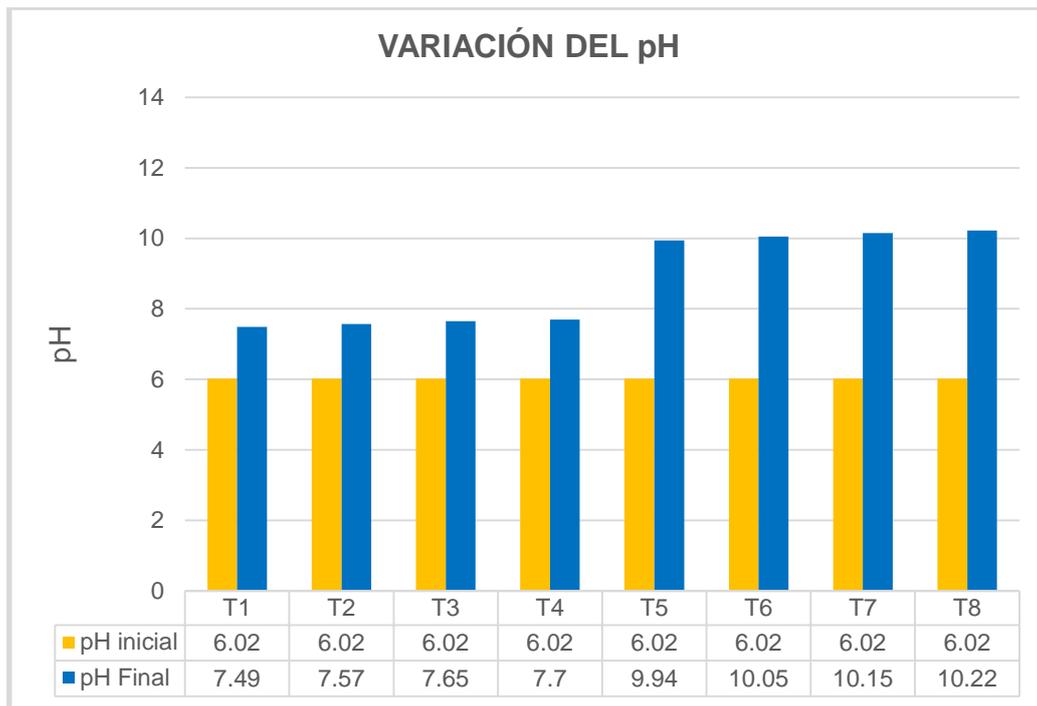
En la **Tabla N° 10**, se observa que la Concentración Inicial de Cr^{+6} del agua residual evaluado en laboratorio excede el ECA para agua del Decreto Supremo N° 004–2017-MINAM.

3.2. Resultados después del tratamiento

3.2.1. Variación de las propiedades químicas

- **Variación del Ph**

Gráfico N°2: Resultados para la variación del pH

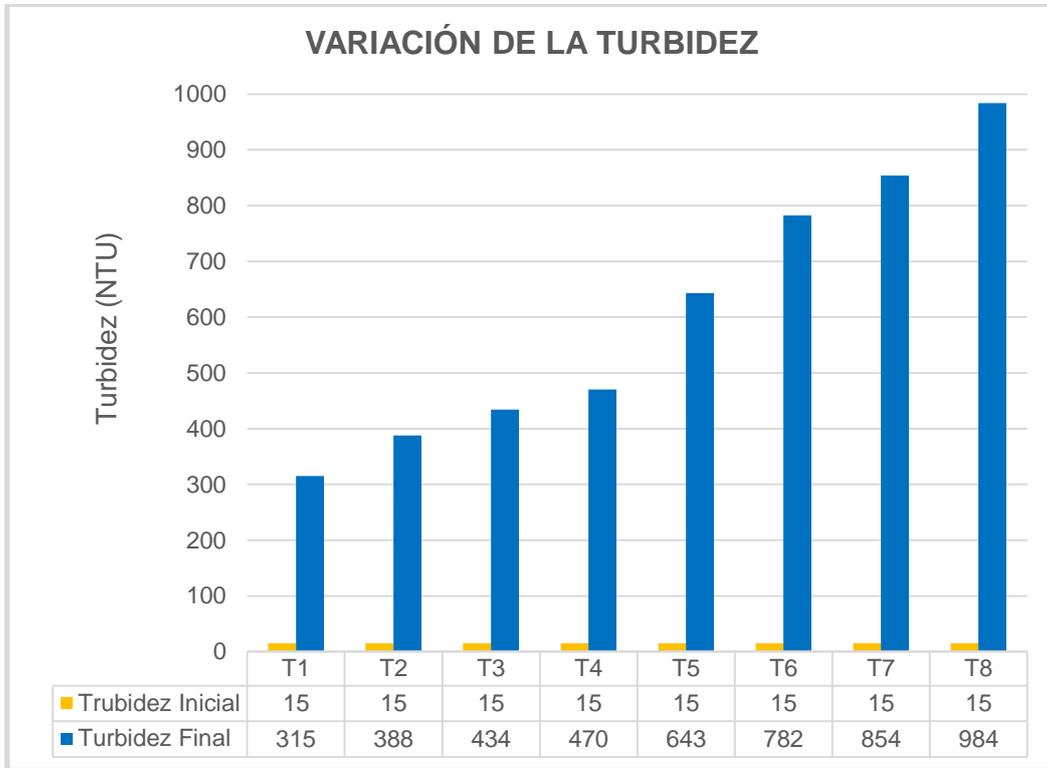


Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Excel 2013 (2018).

En el **Gráfico 2**, se observa que la variación del pH incrementó a medida que aumentaban las dosis suministradas en los tratamientos, a comparación del pH Inicial de 6.02. Esto debe a que el pH del contaminante estuvo en un rango ácido, el cual ayudó a que este se incrementara a medida que la dosis aumentaba, haciendo que los electrodos de aluminio generen hidróxido molecular, de esta manera contribuyendo a la reducción de Cr^{+6} .

- **Variación de la Turbidez**

Gráfico N°3: Resultados para la variación de la Turbidez

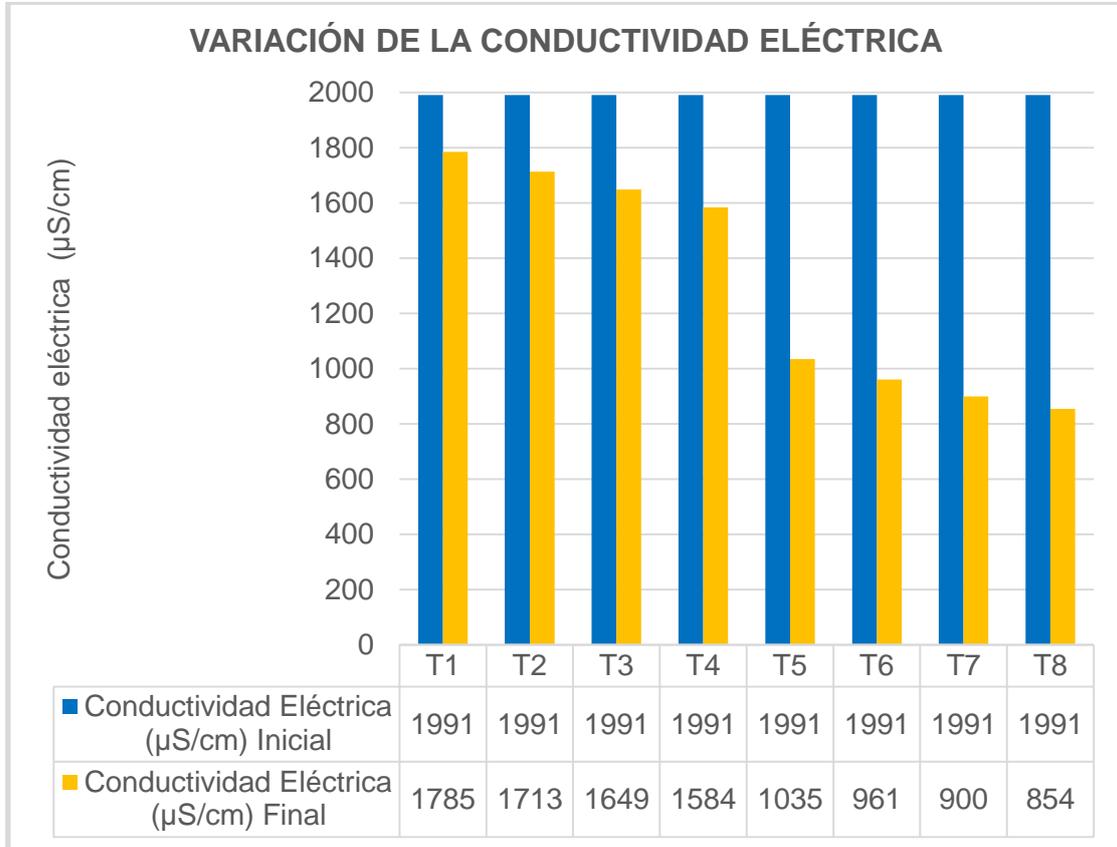


Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Excel 2013. (2018).

En el **Gráfico N° 3**, se observa que la variación de la turbidez incrementó a medida que aumentaban las dosis suministradas en los tratamientos, a comparación de la Turbidez Inicial de 155 NTU. Esto debe a que a medida que la dosis aumentaba, se producía mayor coagulante de hidróxido de aluminio producido por el electrodo de aluminio; además, el agua se electrolizaba con los cátodos de acero formando H_2 , con los electrodos de aluminio y el H_2O_2 generando O_2 , lo que ayudaron a la floculación de contaminantes hacia la superficie.

- **Variación de la Conductividad Eléctrica**

Gráfico N° 4: Resultados para la variación de la Conductividad Eléctrica

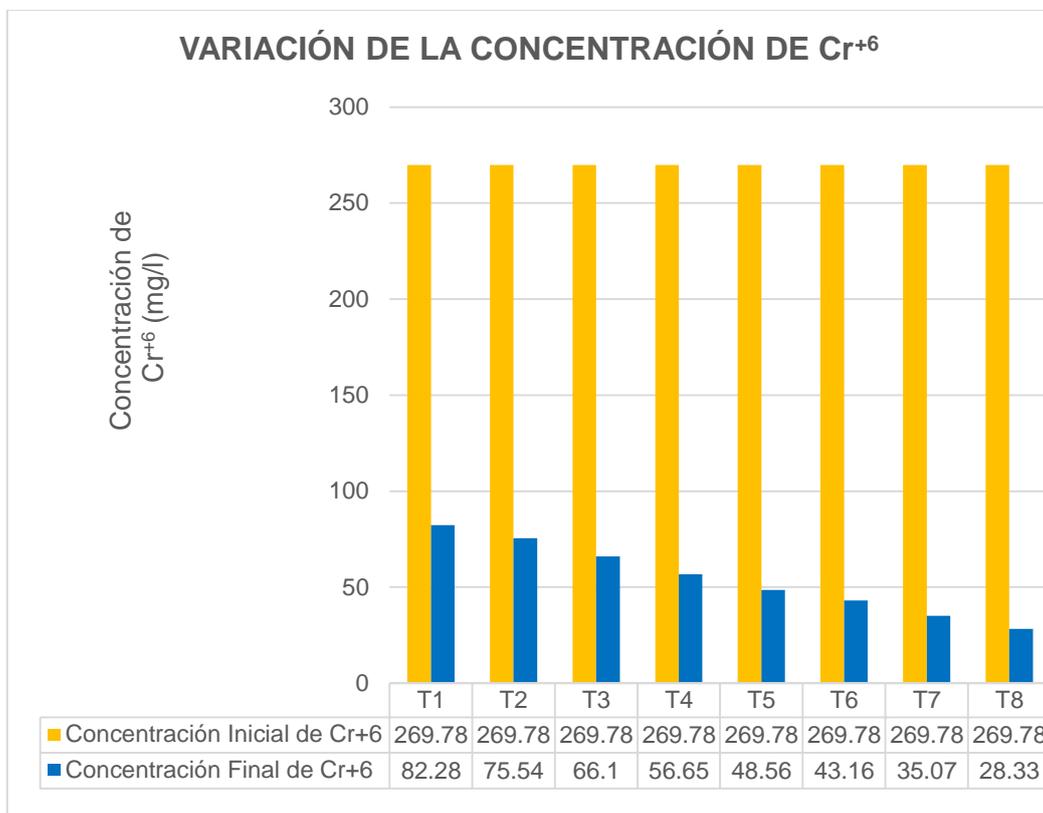


Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Excel 2013 (2018).

En el **Gráfico N° 4**, se observa que la variación de la Conductividad Eléctrica disminuyó a medida que aumentaban las dosis suministradas en los tratamientos, a comparación de la Conductividad Eléctrica Inicial de 1991 µS/cm. Esto se debe a la cantidad de electrodos empleados y a las dosis de H₂O₂, lo que hacía que el sistema necesita de mayor energía.

- **Variación de la Concentración de Cr⁺⁶**

Gráfico N°5: Resultados para la variación de la Concentración de Cr⁺⁶

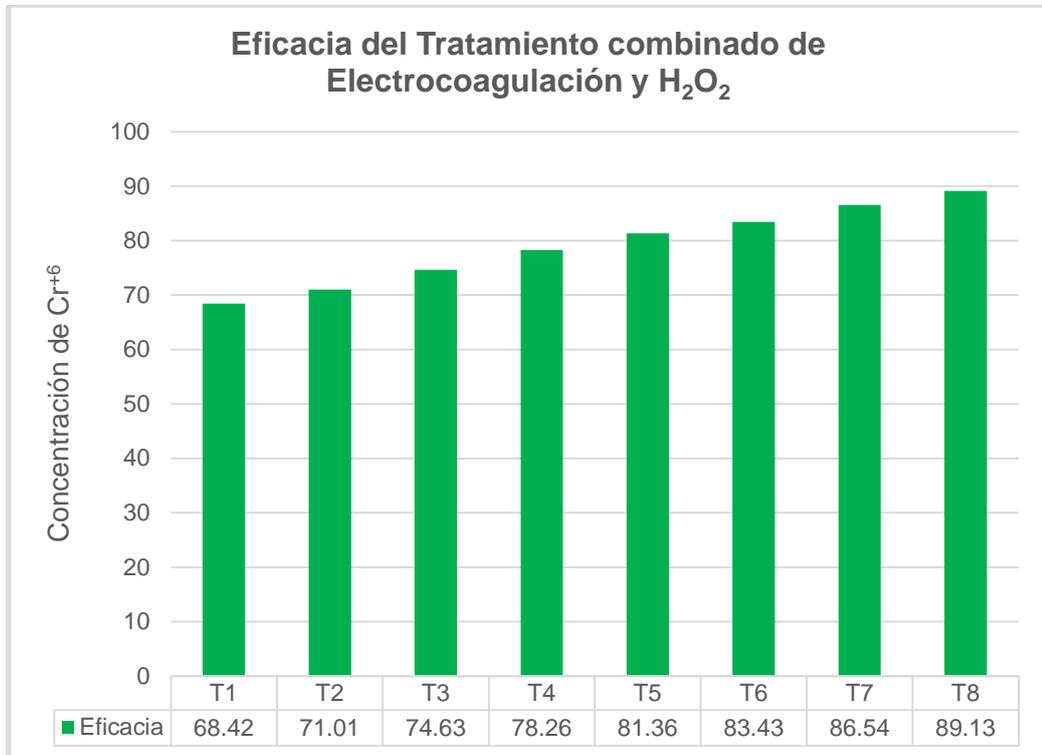


Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Excel 2013 (2018).

En el **Gráfico N° 5**, se observa que la variación de la Concentración de Cr⁺⁶ en el agua residual disminuyó a medida que aumentaban las dosis suministradas en los tratamientos a comparación de la Concentración Inicial de Cr⁺⁶ en 269.78 mg/l. En T8 se obtiene una mayor remoción de Cr⁺⁶ en 28.33 mg/l, siendo la mejor de los 8 tratamientos aplicados.

- **Eficacia**

Gráfico N°6: Resultados para la eficacia del Tratamiento combinado de Electrocoagulación y H₂O₂



Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Excel 2013. (2018).

En el **Gráfico 6**, se observa que la Eficacia del Tratamiento combinado de Electrocoagulación y H₂O₂ fue mayor para T8 en 89.13%. Esta incrementó a medida que aumentaban las dosis suministradas en el sistema y en consecuencia, disminuía la concentración de Cr⁺⁶ en el agua residual.

- **Prueba de Normalidad**

Prueba Paramétrica de Shapiro Wilk

Se utilizó esta prueba en la presente investigación porque la cantidad de datos que presenta es menor a 50.

Planteamiento de hipótesis:

H0: $p > 0.05$ = La muestra aleatoria tiene una distribución normal

H1: $p < 0.05$ = La muestra aleatoria no tiene una distribución normal

$\alpha = 0.05$

Tabla N°11: Prueba de normalidad para la Concentración Final de Cr^{+6} después de aplicar el tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Tratamiento	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CFCromo6	Tratamiento 1: 4 unid / 7 V / 5 ml	,253	3	.	,964	3	,637
	Tratamiento 2: 4 unid / 7 V / 10 ml	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Tratamiento 3: 4 unid / 10 V / 5 ml	,175	3	.	1,000	3	,996
	Tratamiento 4: 4 unid / 10 V / 10 ml	,253	3	.	,964	3	,637
	Tratamiento 5: 8 unid / 7 V / 5 ml	,253	3	.	,964	3	,637
	Tratamiento 6: 8 unid / 7 V / 10 ml	,175	3	.	1,000	3	,996
	Tratamiento 7: 8 unid / 10 V / 5 ml	,186	3	.	,998	3	,918
	Tratamiento 8: 8 unid / 10 V / 10 ml	,253	3	.	,964	3	,637

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia 2018, adaptado de IBM STATICS SPSS 23

En la **Tabla N° 11**, se observa la Prueba de Normalidad - Shapiro-Wilk para menores de 50 datos, en donde la significancia obtenida en los 8 tratamientos es mayor a 0.05, esto quiere decir que los datos obtenidos tienen una

distribución normal y se utilizará la prueba paramétrica de Anova para validar las hipótesis.

• **Prueba Paramétrica – ANOVA**

Se realiza la prueba paramétrica de ANOVA para aceptar o rechazar las hipótesis.

Ha: El uso del tratamiento combinado de electrocoagulación y H₂O₂ varía significativamente la concentración de Cr⁺⁶ presente en aguas residuales en empresa de cromado.

Ho: El uso del tratamiento combinado de electrocoagulación y H₂O₂ no varía significativamente la concentración de Cr⁺⁶ presente en aguas residuales en empresa de cromado.

Tabla N°12: *Análisis descriptivo del Cr⁺⁶ reducido después del tratamiento combinado de electrocoagulación y H₂O₂*

Descriptivos

CFCromo6

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Tratamiento 1: 4 unid / 7 V / 5 ml	3	81,8300	2,06216	1,19059	76,7073	86,9527	79,58	83,63
Tratamiento 2: 4 unid / 7 V / 10 ml	3	76,8900	1,35000	,77942	73,5364	80,2436	75,54	78,24
Tratamiento 3: 4 unid / 10 V / 5 ml	3	66,0967	1,34500	,77654	62,7555	69,4378	64,75	67,44
Tratamiento 4: 4 unid / 10 V / 10 ml	3	57,1000	2,06216	1,19059	51,9773	62,2227	55,30	59,35
Tratamiento 5: 8 unid / 7 V / 5 ml	3	48,1100	2,06216	1,19059	42,9873	53,2327	45,86	49,91
Tratamiento 6: 8 unid / 7 V / 10 ml	3	43,1633	1,34500	,77654	39,8222	46,5045	41,82	44,51
Tratamiento 7: 8 unid / 10 V / 5 ml	3	35,1367	2,70247	1,56027	28,4234	41,8500	32,37	37,77

Tratamiento 8: 8 unid / 10 V / 10 ml	3	27,8800	2,06216	1,19059	22,7573	33,0027	25,63	29,68
Total	24	54,5258	18,63457	3,80377	46,6571	62,3945	25,63	83,63

Fuente: Elaboración propia 2018, adaptado de IBM STATICS SPSS 23

En la **Tabla N° 12**, el intervalo de confianza para los 8 tratamientos es del 95%. Puede observarse que en el tratamiento 8, la concentración de Cr^{+6} máximo tiene un resultado de 29.68 y en mínimo de 25.63, debido a que la dosis es la más alta: 8 electrodos/ 10 V/ 10 ml; mientras que en el tratamiento 1, la concentración de Cr^{+6} máximo es de 83.63 y mínimo de 79.58, esto quiere decir que, que la dosis aumentaba, se removía mayor concentración de Cr^{+6} en el agua residual.

Tabla N°13: Prueba paramétrica de ANOVA para la remoción de Cr^{+6} aplicando el tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2

ANOVA

CFCromo6

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	7927,181	7	1132,454	304,486	,000
Dentro de grupos	59,508	16	3,719		
Total	7986,688	23			

Fuente: Elaboración propia 2018, adaptado del SPSS 23

En la **Tabla N° 13**, la significancia para la prueba de ANOVA tiene un valor menor a 0.05, esto quiere decir que hay una diferencia significativa en las medias de la remoción de Cr^{+6} luego de aplicar el tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 , esto quiere decir que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_a), en donde se reduce significativamente la concentración de Cr^{+6} .

Como se rechazó la H_a , se tiene que realizar la prueba de homogeneidad de varianza para analizar las medias de la concentración final de Cr^{+6} luego de aplicar los 8 tratamientos de electrocoagulación y H_2O_2 .

Tabla N°14: Prueba de homogeneidad de Variazas de Levene para la concentración final de Cr+6

Prueba de homogeneidad de varianzas

CFCromo6			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
,428	7	16	,871

Fuente: Elaboración propia 2018, adaptado de IBM STATICS SPSS 23

En la **Tabla N° 14**, puede observarse una significancia de 0.871, mayor a 0.05; esto quiere decir que, se acepta la hipótesis de igualdad de varianza y por lo tanto las varianzas en las poblaciones son iguales para los ocho tratamientos. Es por ello que a continuación se realizará la Prueba post Hoc – Tukey para varianzas múltiples iguales.

- **Prueba Post-Hoc – Tukey**

Tabla N°15: Prueba post Hoc – Tukey para varianzas de poblaciones iguales

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: CFCromo6

	(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	Tratamiento 1: 4 unid / 7 V / 5 ml	Tratamiento 2: 4 unid / 7 V / 10 ml	4,94000	1,57464	,091	-,5116	10,3916
		Tratamiento 3: 4 unid / 10 V / 5 ml	15,73333*	1,57464	,000	10,2817	21,1850
		Tratamiento 4: 4 unid / 10 V / 10 ml	24,73000*	1,57464	,000	19,2784	30,1816
		Tratamiento 5: 8 unid / 7 V / 5 ml	33,72000*	1,57464	,000	28,2684	39,1716
		Tratamiento 6: 8 unid / 7 V / 10 ml	38,66667*	1,57464	,000	33,2150	44,1183

	Tratamiento 7: 8 unid / 10 V / 5 ml	46,69333*	1,57464	,000	41,2417	52,1450	
	Tratamiento 8: 8 unid / 10 V / 10 ml	53,95000*	1,57464	,000	48,4984	59,4016	
Tratamiento 1: 4 o 2: 4 unid / 7 V / 10 ml	Tratamiento 1: 4 unid / 7 V / 5 ml	-4,94000	1,57464	,091	-10,3916	,5116	
	Tratamiento 3: 4 unid / 10 V / 5 ml	10,79333*	1,57464	,000	5,3417	16,2450	
	Tratamiento 4: 4 unid / 10 V / 10 ml	19,79000*	1,57464	,000	14,3384	25,2416	
	Tratamiento 5: 8 unid / 7 V / 5 ml	28,78000*	1,57464	,000	23,3284	34,2316	
	Tratamiento 6: 8 unid / 7 V / 10 ml	33,72667*	1,57464	,000	28,2750	39,1783	
	Tratamiento 7: 8 unid / 10 V / 5 ml	41,75333*	1,57464	,000	36,3017	47,2050	
	Tratamiento 8: 8 unid / 10 V / 10 ml	49,01000*	1,57464	,000	43,5584	54,4616	
	Tratamiento 1: 4 o 3: 4 unid / 10 V / 5 ml	Tratamiento 1: 4 unid / 7 V / 5 ml	-15,73333*	1,57464	,000	-21,1850	-10,2817
		Tratamiento 2: 4 unid / 7 V / 10 ml	-10,79333*	1,57464	,000	-16,2450	-5,3417
Tratamiento 4: 4 unid / 10 V / 10 ml		8,99667*	1,57464	,001	3,5450	14,4483	
Tratamiento 5: 8 unid / 7 V / 5 ml		17,98667*	1,57464	,000	12,5350	23,4383	
Tratamiento 6: 8 unid / 7 V / 10 ml		22,93333*	1,57464	,000	17,4817	28,3850	
Tratamiento 7: 8 unid / 10 V / 5 ml		30,96000*	1,57464	,000	25,5084	36,4116	
Tratamiento 8: 8 unid / 10 V / 10 ml		38,21667*	1,57464	,000	32,7650	43,6683	
Tratamiento 1: 4 o 4: 4 unid / 10 V / 10 ml		Tratamiento 1: 4 unid / 7 V / 5 ml	-24,73000*	1,57464	,000	-30,1816	-19,2784
	Tratamiento 2: 4 unid / 7 V / 10 ml	-19,79000*	1,57464	,000	-25,2416	-14,3384	
	Tratamiento 3: 4 unid / 10 V / 5 ml	-8,99667*	1,57464	,001	-14,4483	-3,5450	
	Tratamiento 5: 8 unid / 7 V / 5 ml	8,99000*	1,57464	,001	3,5384	14,4416	

	Tratamiento 6: 8 unid / 7 V / 10 ml	13,93667*	1,57464	,000	8,4850	19,3883
	Tratamiento 7: 8 unid / 10 V / 5 ml	21,96333*	1,57464	,000	16,5117	27,4150
	Tratamiento 8: 8 unid / 10 V / 10 ml	29,22000*	1,57464	,000	23,7684	34,6716
Tratamiento 5: 8 unid / 7 V / 5 ml	Tratamiento 1: 4 unid / 7 V / 5 ml	-33,72000*	1,57464	,000	-39,1716	-28,2684
	Tratamiento 2: 4 unid / 7 V / 10 ml	-28,78000*	1,57464	,000	-34,2316	-23,3284
	Tratamiento 3: 4 unid / 10 V / 5 ml	-17,98667*	1,57464	,000	-23,4383	-12,5350
	Tratamiento 4: 4 unid / 10 V / 10 ml	-8,99000*	1,57464	,001	-14,4416	-3,5384
	Tratamiento 6: 8 unid / 7 V / 10 ml	4,94667	1,57464	,090	-,5050	10,3983
	Tratamiento 7: 8 unid / 10 V / 5 ml	12,97333*	1,57464	,000	7,5217	18,4250
	Tratamiento 8: 8 unid / 10 V / 10 ml	20,23000*	1,57464	,000	14,7784	25,6816
	Tratamiento 6: 8 unid / 7 V / 10 ml	Tratamiento 1: 4 unid / 7 V / 5 ml	-38,66667*	1,57464	,000	-44,1183
Tratamiento 2: 4 unid / 7 V / 10 ml		-33,72667*	1,57464	,000	-39,1783	-28,2750
Tratamiento 3: 4 unid / 10 V / 5 ml		-22,93333*	1,57464	,000	-28,3850	-17,4817
Tratamiento 4: 4 unid / 10 V / 10 ml		-13,93667*	1,57464	,000	-19,3883	-8,4850
Tratamiento 5: 8 unid / 7 V / 5 ml		-4,94667	1,57464	,090	-10,3983	,5050
Tratamiento 7: 8 unid / 10 V / 5 ml		8,02667*	1,57464	,002	2,5750	13,4783
Tratamiento 8: 8 unid / 10 V / 10 ml		15,28333*	1,57464	,000	9,8317	20,7350
Tratamiento 7: 8 unid / 10 V / 5 ml		Tratamiento 1: 4 unid / 7 V / 5 ml	-46,69333*	1,57464	,000	-52,1450
	Tratamiento 2: 4 unid / 7 V / 10 ml	-41,75333*	1,57464	,000	-47,2050	-36,3017
	Tratamiento 3: 4 unid / 10 V / 5 ml	-30,96000*	1,57464	,000	-36,4116	-25,5084

	Tratamiento 4: 4 unid / 10 V / 10 ml	-21,96333*	1,57464	,000	-27,4150	-16,5117
	Tratamiento 5: 8 unid / 7 V / 5 ml	-12,97333*	1,57464	,000	-18,4250	-7,5217
	Tratamiento 6: 8 unid / 7 V / 10 ml	-8,02667*	1,57464	,002	-13,4783	-2,5750
	Tratamiento 8: 8 unid / 10 V / 10 ml	7,25667*	1,57464	,005	1,8050	12,7083
Tratamiento 1: 4 o 8: 8 unid / 10 V / 10 ml	Tratamiento 1: 4 unid / 7 V / 5 ml	-53,95000*	1,57464	,000	-59,4016	-48,4984
	Tratamiento 2: 4 unid / 7 V / 10 ml	-49,01000*	1,57464	,000	-54,4616	-43,5584
	Tratamiento 3: 4 unid / 10 V / 5 ml	-38,21667*	1,57464	,000	-43,6683	-32,7650
	Tratamiento 4: 4 unid / 10 V / 10 ml	-29,22000*	1,57464	,000	-34,6716	-23,7684
	Tratamiento 5: 8 unid / 7 V / 5 ml	-20,23000*	1,57464	,000	-25,6816	-14,7784
	Tratamiento 6: 8 unid / 7 V / 10 ml	-15,28333*	1,57464	,000	-20,7350	-9,8317
	Tratamiento 7: 8 unid / 10 V / 5 ml	-7,25667*	1,57464	,005	-12,7083	-1,8050

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente: Elaboración propia 2018, adaptado de IBM STATICS SPSS 23

Se puede observar en la **Tabla N° 15**, que existe diferencia significativa para los grupos cuya significancia es menor a 0.05, excepto en los tratamientos T1/T2, T2/T1 y T6/T5 cuya significancia fue mayor a 0.05.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la presente investigación se pudo comprobar de que sí existe una diferencia significativa en la reducción de Cr^{+6} en el agua residual que varió de 269.78 mg/l a 28.33 mg/l y con una eficacia del 89.13% para el tratamiento 8 utilizando una mejor dosis de 8 electrodos/ 10 V/ 10 ml durante 1 hora de aplicación del tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 . Ello se pudo diferenciar ya que a medida de que aumentaban las dosis, especialmente al duplicar en la cantidad de electrodos, se obtenían mejores resultados en la reducción en un 66%, a comparación del Tratamiento 1 que removió 82.28 mg/l con una eficacia del 68.42% con respecto a la concentración inicial del Cr^{+6} en la muestra.

Se obtuvieron buenos resultados ya que el pH inicial de la muestra era 6.02, lo que favorecía la reducción de Cr^{+6} en medio ácido y por el material de los electrodos de aluminio de 13 cm de diámetro en forma de T y con 3 mm de grosor, quien proporcionaba el coagulante para el tratamiento, que a la vez formaba H_2 para ayudar a flocular los contaminantes en el sistema y obteniendo mejores resultados para la dosis del Tratamiento 8 (8 electrodos/ 10 V / 10 ml) con un turbidez final de 986 NTU con respecto al inicial de 15 NTU. Este resultado se pudo observar en los electrodos de aluminio al terminar la prueba, pues se formaba una capa de lodo sobre la superficie en contacto y al removerlo se obtenía una desgaste del material.

MURILLO A. (2016), en su tesis de grado “Propuesta de tratamiento para el agua residual industrial generada por procesos de cromado mediante electrocoagulación”, obtuvo 79.4% para la remoción de Cr^{+6} empleando 15 V, mientras que en la presente investigación se obtuvo 89.13 de eficacia empleando 10 V. Así mismo el trabajo de Murillo Alexandra utilizó electrodos de aluminio (4) y hierro (4) en un tiempo de 45 minutos, mientras que el tiempo empleado en la investigación fue de 60 minutos con el fin de obtener mejores resultados y aumentar la eficacia del proceso.

En el artículo publicado por CHEBALLAH, K *et al* (2015) “Simultaneous removal of hexavalent chromium and COD from industrial wastewater by bipolar electrocoagulation”, removi6 Cr⁺⁶ en 170 mg/l en un 75%, teniendo un pH Inicial de 2.4, a comparaci6n del estudio realizado el cual tuvo un pH inicial de 6.2 y se removi6 en 89.13% de Cr⁺⁶ habiendo obtenido una concentraci6n inicial de 260.54 mg/l, debido a que el pH favoreci6 el medio acuoso para formaci6n de hidr6xidos del 6nodo de aluminio y porque la misma naturaleza de la muestra de agua favorecía de que pase a un medio b6sico.

V. CONCLUSIONES

El tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 fue capaz de reducir Cr^{+6} presente en agua residual proveniente de una empresa dedicada al cromado de piezas metálicas, con una eficacia de 89.13% se logró remover Cr^{+6} de 269.78 mg/L a 28.33 mg/L.

El tratamiento más eficaz (dosis optima de: electrodos, voltaje y H_2O_2) para reducir Cr^{+6} fue para el Tratamiento 8, para el cual se utilizó 8 electrodos, 10 V y 10 ml a comparación de los demás tratamientos que se emplearon menores dosis; esto quiere decir que, a mayor dosis, se remueve mayor concentración de Cr^{+6} .

La variación de concentración de Cr^{+6} aplicado el tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 fue de 28.33 mg/L para el tratamiento 8 (dosis: 8 electrodos, 10 V y 10 ml) con respecto al inicial de 260.54 mg/L

El tipo de material de los electrodos fueron muy importantes para la aplicación del tratamiento, pues el de aluminio influye mucho en la reducción de Cr^{+6} y al duplicarse, genera mayor cantidad de hidróxidos los cuales actúan como agentes coagulantes durante el proceso.

El voltaje con la dosis de H_2O_2 y electrodos tuvieron mucha relación durante el proceso, pues se observó que a medida que las dosis de H_2O_2 y electrodos aumentaban, hacía que el sistema requiera de mayor energía, lo que generaba un deceso en la conductividad eléctrica.

VI. RECOMENDACIONES

Emplear este proceso para otro tipo de efluentes con otro tipo de contaminantes inorgánicos u orgánicos, de manera que aporte este tratamiento en la reducción de estos.

Debe realizarse más estudios con otras dosis de electrodos, voltaje y H_2O_2 , que sean favorables tanto en la reducción de Cr^{+6} , como en la variación del pH y turbidez, ya que se obtienen resultados que sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 1.

Para el proceso de electrocoagulación puede combinarse con otros coagulantes naturales para determinar la eficacia del tratamiento durante el proceso de reducción de Cr^{+6} .

Realizar investigaciones en condiciones ácidas y básicas en relación con el voltaje y la temperatura para evaluar la conductibilidad eléctrica en el sistema.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, niño et al. LA ELECTROCOAGULACIÓN COMO UN PARÁMETRO EFICIENTE PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS PRESENTE EN AGUAS RESIDUALES. Ciencia e Ingeniería Neogranadina [en línea]. Octubre-noviembre 2013, n°2. [fecha de consulta: 12 de abril 2018]. Disponible en: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=c0dbb51d-7f3f-4758-be3a-9756ee099162%40sessionmgr4009> ISSN: 1900-4699

ACOSTA, Niño, BOURDÓN, García y COY, Carlos. EVALUACIÓN Y REGULACIÓN DE PARÁMETROS EN UN EQUIPO DISEÑADO PARA LA DISIMINUCIÓN DE CROMO (VI), PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA DE RECUBRIMIENTOS GALVÁNICOS. Ciencia e Ingeniería Neogranadina [en línea]. Enero-Mayo 2013, n°1. [fecha de consulta: 10 de abril 2018]. Disponible en: <https://search.proquest.com/central/docview/1503094200/fulltextPDF/329EB5AC17D944CEPQ/2?accountid=37408> ISSN: 01248170

AHMAD, Edris y HAMED, Ferdos. Humic acid removal from aqueous environments by electrocoagulation process duad with adding hydrogen peroxide. [en línea]. Mayo 2012, n°2. [fecha de consulta: 10 de abril 2018]. Disponible en: http://ijhe.tums.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-25-28&slc_lang=en&sid=1 ISSN: 211-224

ARANGO, Alvaro. La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales. Revistas científicas de América Latina y el Caribe [en línea]. Enero-Junio (2015), n°2. [fecha de consulta: 10 de abril 2018]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/695/69520109/>

ARBOLEDA, Juan y HERRERA, Paula. EVALUACIÓN DE UN PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN EN UN REACTOR TIPO BATCH PARA LA REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE (Cr6+) CON ELECTRODOS DE ALUMINIO – ALUMINIO Y DE HIERRO – ALUMINIO EN CONDICIONES DE LABORATORIO. Trabajo de Grado. Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2016. Disponible en:

<http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/613/evaluacion%20de%20un%20proceso%20de%20electrocoagulacion%20en%20un%20reactor%20tipo%20batch%20para%20la%20remocion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ARROLLO, María. TRATAMIENTO DE DISOLUCIONES QUE CONTIENEN CROMO HEXAVALENTE MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN CON ÁNODOS DE HIERRO. Tesis (Doctor en Ingeniería Química y Nuclear). España: Universidad Politécnica de Valencia, 2011. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/11931/tesisUPV3649.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CHÁVEZ, Porra, Cristancho, Diana y OSPINA, Édgar. UNA ALTERNATIVA LIMPIA PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES GALVÁNICAS: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA. Revista Ingenierías Universidad de Medellín [en línea]. Setiembre- Julio 2009, n.º14. [fecha de consulta: 15 de abril 2018]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n14/v8n14a04.pdf> ISSN: 1692-3324

CHEBALLAH, Karima *et al.* Simultaneous removal of hexavalent chromium and COD from industrial wastewater by bipolar electrocoagulation. Chemical Engineering and Processing. [en línea]. Julio-Agosto 2015. [fecha de consulta: 15 de abril 2018]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586617329714>

KUOKKANEN, Ville *et al.* Recent Applications of Electrocoagulation in Treatment of Water and Wastewater—A Review. Kokkola University Consortium Chydenius [en línea]. Febrero - Marzo 2013. [fecha de consulta: 13 de abril del 2018]. Disponible en: http://file.scirp.org/pdf/GSC_2013052717013763.pdf

LAVORANTE, María *et al.* Aplicaciones Ambientales de la Electrocoagulación a Escala de Planta Piloto. Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas [en línea]. Agosto 2011, n.º21. [fecha de consulta: 13 de abril del 2018]. Disponible en: <http://www.exactas.unca.edu.ar/revista/v210/pdf/ciencia21-4.pdf>

MAHVI, Amir, NASARI, Simin y MESDAGHINIA, Ali. Performance Evaluation of Electrocoagulation Process for Removal of Chromium (VI) from Synthetic Chromium Solutions Using Iron and Aluminum Electrodes Center for Environmental Research [en línea]. Junio 2006. [fecha de consulta: 15 de abril 2018]. Disponible en: <http://journals.tubitak.gov.tr/engineering/issues/muh-08-32-2/muh-32-2-1-0612-8.pdf>

MORALES, Nelly y ACOSTA Gema. SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN COMO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GALVÁNICAS. Ciencia e Ingeniería Neogranadina [en línea]. Abril-Mayo 2010, n.º 1 [fecha de consulta: 10 de abril 2018]. Disponible en: <https://search.proquest.com/central/docview/752131087/210CE937FE40420DPQ/1?accountid=37408>

ISSN: 01248170.

MURILLO, Alexandra. PROPUESTA DE TRATAMIENTO PARA EL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL GENERADA POR PROCESO DE CROMADO MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN. Tesis (Magíster en Ingeniero Químico). Bogotá: Fundación Universidad de América, 2016. Disponible en <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/428/1/1020770630-2016-2-IQ.pdf>

PÁJARO, Yina y DÍAZ, Fredyc. REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE DE AGUAS CONTAMINADAS USANDO QUITOSANO OBTENIDO DE EXOESQUELETO DE CAMARÓN. Revista colombiana de Química [en línea]. Enero- Junio (2012), n.º2. [fecha de consulta: 10 de abril 2018]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/3090/309028756008.pdf>

Anexo 01

FICHA DE OBSERVACIÓN Y REGISTRO DE DATOS DE LA MUESTRA DE AGUAS RESIDUALES DE UNA EMPRESA DE CROMADO

DATOS DEL PUNTO DE MUESTREO	
PROVINCIA	
DEPARTAMENTO	
HORA	
OBSERVACIONES	

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Excel 2013 (2018).

Anexo 02

FICHA DE OBSERVACIÓN Y REGISTRO DE LAS PROPIEDADES FÍSICA- QUÍMICAS DE LA MUESTRA ANTES DEL TRATAMIENTO

DATOS DE LA MUESTRA		
PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS	INSTRUMENTO	RESULTADO
TURBIDEZ (NTU)		
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (μS/cm)		
pH		
CONCENTRACIÓN INICIAL DE Cr⁺⁶ (mg/L)		
OBSERVACIONES		

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Excel 2013 (2018).

Anexo 03

FICHA DE OBSERVACIÓN Y REGISTRO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS-QUÍMICAS DE LA MUESTRA DESPUÉS DEL TRATAMIENTO

TRAT.	RÉPL.	COD	ELECTR.	VOLT. (v)	H ₂ O ₂ (ml)	PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS				EFICACIA (%)
						TURB. (NTU)	C.E. (μS/cm)	PH	CONCENTRACIÓN FINAL DE Cr ⁺⁶ (mg/L)	
T1	R1	T1 - R1	4	7	5					
	R2	T1 - R2	4	7	5					
	R3	T1 - R3	4	7	5					
PROMEDIO										
T2	R1	T2 - R1	4	7	10					
	R2	T2 - R2	4	7	10					
	R3	T2 - R3	4	7	10					
PROMEDIO										
T3	R1	T3 - R1	4	10	5					
	R2	T3 - R2	4	10	5					
	R3	T3 - R3	4	10	5					
PROMEDIO										
T4	R1	T4- R1	4	10	10					
	R2	T4 - R2	4	10	10					

	R3	T4 - R3	4	10	10					
PROMEDIO										
T5	R1	T5 - R1	8	7	5					
	R2	T5 - R2	8	7	5					
	R3	T5 - R3	8	7	5					
PROMEDIO										
T6	R1	T6 - R1	8	7	10					
	R2	T6 - R2	8	7	10					
	R3	T6 - R3	8	7	10					
PROMEDIO										
T7	R1	T7 - R1	8	10	5					
	R2	T7 - R2	8	10	5					
	R3	T7 - R3	8	10	5					
PROMEDIO										
T8	R1	T8 - R1	8	10	10					
	R2	T8 - R2	8	10	10					
	R3	T8 - R3	8	10	10					
PROMEDIO										
OBSRVACIONES										

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Excel 2013 (2018).

Anexo 04

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE
Tratamiento combinado de electrocoagulación y H ₂ O ₂ para la reducción de Cr ⁺⁶ presente en aguas residuales en empresa de cromado, 2018	GENERAL	GENERAL	GENERAL	INDEPENDIENTE
	¿Cuál es la eficacia del tratamiento combinado de electrocoagulación y H ₂ O ₂ para la reducción de Cr ⁺⁶ presente en aguas residuales en empresa de cromado?	Determinar la eficacia del tratamiento combinado de electrocoagulación y H ₂ O ₂ para la reducción de Cr ⁺⁶ presente en aguas residuales en empresa de cromado	Ha: El tratamiento combinado de electrocoagulación y H ₂ O ₂ es eficaz para la reducción de Cr ⁺⁶ presente en aguas residuales en empresa de cromado.	Tratamiento combinado de electrocoagulación y H ₂ O ₂ .
	ESPECÍFICO	ESPECÍFICO	ESPECÍFICO	DEPENDIENTE
	¿Cuál es el tratamiento más eficaz (dosis óptima de: electrodos, voltaje y H ₂ O ₂) para la reducción de Cr ⁺⁶ presente en aguas residuales en empresa de cromado usando el tratamiento combinado de electrocoagulación y H ₂ O ₂ ? ¿En cuánto varía la concentración de Cr ⁺⁶ presente en aguas residuales en empresa de cromado usando el tratamiento combinado de electrocoagulación y H ₂ O ₂ ?	Determinar el tratamiento más eficaz (dosis óptima de: electrodos, voltaje y H ₂ O ₂) para la reducción de Cr ⁺⁶ presente en aguas residuales en empresa de cromado usando el tratamiento combinado de electrocoagulación y H ₂ O ₂ Determinar la variación de la concentración de Cr ⁺⁶ presente en aguas residuales en empresa de cromado usando el tratamiento combinado de electrocoagulación y H ₂ O ₂ .	Ha: El tratamiento de más eficaz (dosis optima de: electrodos, voltaje y H ₂ O ₂) reduce Cr ⁺⁶ presente en aguas residuales en empresa de cromado. Ha: El uso del tratamiento combinado de electrocoagulación y H ₂ O ₂ varía significativamente la concentración de Cr ⁺⁶ presente en aguas residuales en empresa de cromado.	Cr ⁺⁶ presente en agua residual de una empresa de cromado.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Microsoft Excel 2013. (2018).

Anexo 05

REPORTE DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Reporte de Análisis de Laboratorio

Lugar de Ejecución: Laboratorio de Físicoquímica C de la Universidad César Vallejo.

Los resultados de la muestra de agua antes y después del tratamiento combinado de electrocoagulación y H₂O₂ realizados en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo, se muestran a continuación:

Informe de Resultados 1:

- Fecha de colección de muestra: 12 de Mayo del 2018
- Fecha de Análisis: 4/ 06 /2018

RESULTADOS DE LABORATORIO				
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS				
Código	pH	Turbidez (NTU)	Conductividad Eléctrica (μS/cm)	Cr ⁺⁶ (mg/l)
MI-R1	6.01	15	1991	269.78
MI-R2	6.02	15	1989	256.29
MI-R3	6.02	14	1994	269.78
Promedio	6.02	15	1991	269.78

1. MI: Muestra Inicial 2. R: # de repetición 3. pH: Potencial de Hidrógeno 4. N.T.U. Unidad nefelométrica de turbidez 5. μS/cm: microSiems por centímetro 6. Cr⁺⁶: Cromo hexavalente.

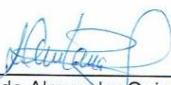
Metodología empleada:

pH: Metodo Electrometrico.

Conductividad Eléctrica: Metodo de Laboratorio (Metodo Conductimétrico).

Turbidez: Metodo Nefelométrico.

Cromo (VI): Metodo colorimétrico de la Difenilcarbazida.


Qco. Sigfredo Alexander Quintana Paetán
CQP 596
Profesor Responsable

Fuente: Elaboración propia (2018).



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Reporte de Análisis de Laboratorio

Lugar de Ejecución: Laboratorio de Físicoquímica C de la Universidad César Vallejo.

Los resultados de la muestra de agua antes y después del tratamiento combinado de electrocoagulación y H₂O₂ realizados en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo, se muestran a continuación:

Informe de Resultados 2:

- Fecha de Análisis: 06/ 06 /2018
- Tratamiento 1

RESULTADOS DE LABORATORIO				
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS				
Código	pH	Turbidez (NTU)	Conductividad Eléctrica (μS/cm)	Cr ⁺⁶ (mg/l)
T1- R1	7.49	312	1793	82.28
T1-R2	7.51	307	1782	83.63
T1-R3	7.48	326	1779	79.58
Promedio	7.49	315	1785	82.28

1. T: # de tratamiento 2. R: # de repetición 3. pH: Potencial de Hidrógeno 4. N.T.U. Unidad nefelométrica de turbidez 5. μS/cm: microSiems por centímetro 6. Cr⁺⁶: Cromo hexavalente.

Metodología empleada:

pH: Metodo Electrometrico.

Conductividad Eléctrica: Metodo de Laboratorio (Metodo Conductimétrico).

Turbidez: Metodo Nefelométrico.

Cromo (VI): Metodo colorimétrico de la Difenilcarbazida.

Qco. Sigfredo Alexander Quintana Paetán
CQP 596
Profesor Responsable

Fuente: Elaboración propia (2018).



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Reporte de Análisis de Laboratorio

Lugar de Ejecución: Laboratorio de Fisicoquímica C de la Universidad César Vallejo.

Los resultados de la muestra de agua antes y después del tratamiento combinado de electrocoagulación y H₂O₂ realizados en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo, se muestran a continuación:

Informe de Resultados 3:

- Fecha de Análisis: 07/06/2018
- Tratamiento 2

RESULTADOS DE LABORATORIO				
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS				
Código	pH	Turbidez (NTU)	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Cr ⁺⁶ (mg/l)
T2- R1	7.55	382	1700	76.89
T2- R2	7.58	395	1712	75.54
T2- R3	7.59	387	1726	78.24
Promedio	7.57	388	1713	75.54

1. T: # de tratamiento 2. R: # de repetición 3. pH: Potencial de Hidrógeno 4. N.T.U. Unidad nefelométrica de turbidez 5. µS/cm: microSiems por centímetro 6. Cr+6: Cromo hexavalente.

Metodología empleada:

pH: Método Electrométrico.

Conductividad Eléctrica: Método de Laboratorio (Método Conductimétrico).

Turbidez: Método Nefelométrico.

Cromo (VI): Método colorimétrico de la Difenilcarbazida.


Qco. Sigfredo Alexander Quintana Paetán
CQP 596
Profesor Responsable

Fuente: Elaboración propia (2018).



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Reporte de Análisis de Laboratorio

Lugar de Ejecución: Laboratorio de Físicoquímica C de la Universidad César Vallejo.

Los resultados de la muestra de agua antes y después del tratamiento combinado de electrocoagulación y H₂O₂ realizados en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo, se muestran a continuación:

Informe de Resultados 4:

- Fecha de Análisis: 08/06/2018
- Tratamiento 3

RESULTADOS DE LABORATORIO				
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS				
Código	pH	Turbidez (NTU)	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Cr ⁺⁶ (mg/l)
T3- R1	7.64	437	1652	74.63
T3- R2	7.65	421	1664	74.11
T3- R3	7.67	443	1630	75.15
Promedio	7.65	434	1649	74.63

1. T: # de tratamiento 2. R: # de repetición 3. pH: Potencial de Hidrógeno 4. N.T.U. Unidad nefelométrica de turbidez 5. µS/cm: microSiems por centímetro 6. Cr+6: Cromo hexavalente.

Metodología empleada:

pH: Método Electrométrico.

Conductividad Eléctrica: Método de Laboratorio (Método Conductimétrico).

Turbidez: Método Nefelométrico.

Cromo (VI): Método colorimétrico de la Difenilcarbazida.

Qco. Sigfredo Alexander Quintana Paetán
CQP 596
Profesor Responsable

Fuente: Elaboración propia (2018).



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Reporte de Análisis de Laboratorio

Lugar de Ejecución: Laboratorio de Físicoquímica C de la Universidad César Vallejo.

Los resultados de la muestra de agua antes y después del tratamiento combinado de electrocoagulación y H₂O₂ realizados en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo, se muestran a continuación:

Informe de Resultados 5:

- Fecha de Análisis: 11/ 06 /2018
- Tratamiento 4

RESULTADOS DE LABORATORIO				
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS				
Código	pH	Turbidez (NTU)	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Cr ⁺⁶ (mg/l)
T4- R1	7.55	382	1700	78.26
T4- R2	7.58	395	1712	78.77
T4- R3	7.59	387	1726	77.22
Promedio	7.7	470	1584	81.36

1. T: # de tratamiento 2. R: # de repetición 3. pH: Potencial de Hidrógeno 4. N.T.U. Unidad nefelométrica de turbidez 5. µS/cm: microSiems por centímetro 6. Cr+6: Cromo hexavalente.

Metodología empleada:

pH: Método Electrométrico.

Conductividad Eléctrica: Método de Laboratorio (Método Conductimétrico).

Turbidez: Método Nefelométrico.

Cromo (VI): Método colorimétrico de la Difenilcarbazida.

Qco. Sigfredo Alexander Quintana Paetán
CQP 596
Profesor Responsable

Fuente: Elaboración propia (2018).



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Reporte de Análisis de Laboratorio

Lugar de Ejecución: Laboratorio de Físicoquímica C de la Universidad César Vallejo.

Los resultados de la muestra de agua antes y después del tratamiento combinado de electrocoagulación y H₂O₂ realizados en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo, se muestran a continuación:

Informe de Resultados 6:

- Fecha de Análisis: 12/ 06 /2018
- Tratamiento 5

RESULTADOS DE LABORATORIO				
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS				
Código	pH	Turbidez (NTU)	Conductividad Eléctrica (μS/cm)	Cr ⁺⁶ (mg/l)
T5- R1	9.94	655	1003	81.36
T5- R2	9.96	641	991	82.40
T5- R3	9.93	633	1111	80.84
Promedio	9.94	643	1035	81.36

1. T: # de tratamiento 2. R: # de repetición 3. pH: Potencial de Hidrógeno 4. N.T.U. Unidad nefelométrica de turbidez 5. μS/cm: microSiems por centímetro 6. Cr+6: Cromo hexavalente.

Metodología empleada:

pH: Método Electrométrico.

Conductividad Eléctrica: Método de Laboratorio (Método Conductimétrico).

Turbidez: Método Nefelométrico.

Cromo (VI): Método colorimétrico de la Difenilcarbazida.

Qco. Sigfredo Alexander Quintana Paetán
CQP 596
Profesor Responsable

Fuente: Elaboración propia (2018).



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Reporte de Análisis de Laboratorio

Lugar de Ejecución: Laboratorio de Físicoquímica C de la Universidad César Vallejo.

Los resultados de la muestra de agua antes y después del tratamiento combinado de electrocoagulación y H₂O₂ realizados en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo, se muestran a continuación:

Informe de Resultados 7:

- Fecha de Análisis: 13/ 06 /2018
- Tratamiento 6

RESULTADOS DE LABORATORIO				
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS				
Código	pH	Turbidez (NTU)	Conductividad Eléctrica (μS/cm)	Cr +6 (mg/l)
T6- R1	10.01	776	950	83.95
T6- R2	9.99	781	972	83.43
T6- R3	10.05	789	961	82.91
Promedio	10.05	782	961	83.43

1. T: # de tratamiento 2. R: # de repetición 3. pH: Potencial de Hidrógeno 4. N.T.U. Unidad nefelométrica de turbidez 5. μS/cm: microSiems por centímetro 6. Cr+6: Cromo hexavalente.

Metodología empleada:

pH: Método Electrométrico.

Conductividad Eléctrica: Método de Laboratorio (Método Conductimétrico).

Turbidez: Método Nefelométrico.

Cromo (VI): Método colorimétrico de la Difenilcarbazida.

Qco. Sigfredo Alexander Quintana Paetán
CQP 596
Profesor Responsable

Fuente: Elaboración propia (2018).



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Reporte de Análisis de Laboratorio

Lugar de Ejecución: Laboratorio de Físicoquímica C de la Universidad César Vallejo.

Los resultados de la muestra de agua antes y después del tratamiento combinado de electrocoagulación y H₂O₂ realizados en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo, se muestran a continuación:

Informe de Resultados 8:

- Fecha de Análisis: 14/ 06 /2018
- Tratamiento 7

RESULTADOS DE LABORATORIO				
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS				
Código	pH	Turbidez (NTU)	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Cr ⁺⁶ (mg/l)
T7- R1	10.15	847	882	87.57
T7- R2	10.17	854	914	86.54
T7- R3	10.13	862	903	85.5
Promedio	10.15	854	900	86.54

1. T: # de tratamiento 2. R: # de repetición 3. pH: Potencial de Hidrógeno 4. N.T.U. Unidad nefelométrica de turbidez 5. µS/cm: microSiems por centímetro 6. Cr+6: Cromo hexavalente.

Metodología empleada:

pH: Método Electrométrico.

Conductividad Eléctrica: Método de Laboratorio (Método Conductimétrico).

Turbidez: Método Nefelométrico.

Cromo (VI): Método colorimétrico de la Difenilcarbazida.

Qco. Sigfredo Alexander Quintana Paetán
CQP 596
Profesor Responsable

Fuente: Elaboración propia (2018).



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Reporte de Análisis de Laboratorio

Lugar de Ejecución: Laboratorio de Físicoquímica C de la Universidad César Vallejo.

Los resultados de la muestra de agua antes y después del tratamiento combinado de electrocoagulación y H₂O₂ realizados en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo, se muestran a continuación:

Informe de Resultados 9:

- Fecha de Análisis: 15/ 06 /2018
- Tratamiento 8

RESULTADOS DE LABORATORIO				
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS				
Código	pH	Turbidez (NTU)	Conductividad Eléctrica (μS/cm)	Cr ⁺⁶ (mg/l)
T8- R1	10.22	983	862	90.16
T8- R2	10.2	975	847	89.13
T8- R3	10.21	994	853	88.61
Promedio	10.22	984	854	89.13

1. T: # de tratamiento 2. R: # de repetición 3. pH: Potencial de Hidrógeno 4. N.T.U. Unidad nefelométrica de turbidez 5. μS/cm: microSiems por centímetro 6. Cr+6: Cromo hexavalente.

Metodología empleada:

pH: Método Electrométrico.

Conductividad Eléctrica: Método de Laboratorio (Método Conductimétrico).

Turbidez: Método Nefelométrico.

Cromo (VI): Método colorimétrico de la Difenilcarbazida.

Qco. Sigfredo Alexander Quintana Paetán
CQP 596
Profesor Responsable

Fuente: Elaboración propia (2018).



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Yo, Hitler Román Pérez, quien tengo a mi cargo la asistencia técnica del laboratorio Biotecnología y la supervisión del trabajo de laboratorio de la Srta Sharon Daniela Aliaga León, doy fe de la confiabilidad de los resultados antes citados, los cuales fueron determinados por la señorita en mención.

Los ensayos se realizaron con los equipos:

- Turbidímetro Marca: OAKTON, Modelo: T100.
- pHmetro Marca Hanna, Modelo HI 8424.
- Conductímetro Marca: HACH, Modelo: HQ 40 d
- Espectrofotómetro UV-Visible Marca: PG Instruments Ltda, Modelo: T80+.
- Balanza Marca: OHAUS, Modelo: PA214.

Hitler Román Pérez

Técnico de Laboratorio
DNI N° 41539466

Fuente: Elaboración propia (2018).

Anexo 06

ACTA DE ORIGINALIDAD DE TURNITIN

 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS	Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 09 Fecha : 14-01-2019 Página : 1 de 1
--	--	---

Yo, Cecilia Cermeño Castromonte, docente de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo Sede Lima Norte, revisor (a) de la tesis titulada:
"TRATAMIENTO COMBINADO DE ELECTROCOAGULACIÓN Y H₂O₂ PARA LA REDUCCIÓN DE Cr⁺⁶ PRESENTE EN AGUAS RESIDUALES EN EMPRESA DE CROMADO, 2018", de la estudiante Sharon Daniela Aliaga Leon, constató que la investigación tiene un índice de similitud de 20% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

La suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Los Olivos, 14 de enero de 2019



M.Sc. Cecilia Cermeño Castromonte

DNI: 44071428

CIP: 123075

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

Fuente: Elaboración propia (2018) .

Anexo 07

PANTALLAZO DEL TURNITIN

feedback studio Sharon Aliaga TRATAMIENTO COMBINADO DE ELECTROCOAGULACIÓN Y H2O2 PARA LA REDUCCIÓN DE Cr+6 PRESENTE EN AGUAS RESIDUALES EN EMPRESA DE CR

UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

TRATAMIENTO COMBINADO DE ELECTROCOAGULACION Y H2O2 PARA LA REDUCCION DE Cr+6 PRESENTE EN AGUAS RESIDUALES EN EMPRESA DE CROMADO, 2018

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERA AMBIENTAL

AUTOR:
ALIAGA LEON SHARON DANIELA

ASESOR:
M. SC. CERMENO CASTROMONTE CECILIA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
CALIDAD Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

LIMA - PERÚ
2018

Página: 1 de 98 Número de palabras: 16326

Text-only Report High Resolution Activado

Resumen de coincidencias

20 %

Se están viendo fuentes estándar

Ver fuentes en inglés (Beta)

Coincidencias

1	Entregado a Universida...	6 %
2	repositorio.ucv.edu.pe	4 %
3	porticus.usantotomas...	1 %
4	dspace.unitru.edu.pe	1 %
5	dspace.ups.edu.ec	<1 %
6	riunet.upv.es	<1 %

Fuente: Elaboración propia (2018).

Anexo 08

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

La Escuela de Ingeniería Ambiental

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

Sharon Daniela Aliaga Leon

INFORME TÍTULADO:

Tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 para la reducción de Cr^{+6} presente en aguas residuales en empresa de cromado, 2018

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

Ingeniera Ambiental

SUSTENTADO EN FECHA: / /

NOTA O MENCIÓN:

PIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN

Fuente: Elaboración propia (2018).

Anexo 09

FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI)
"César Acuña Peralta"

FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LAS TESIS

1. DATOS PERSONALES

Apellidos y Nombres: (solo los datos del que autoriza)

Aliaga Leon Sharon Daniela

D.N.I. : 47941324

Domicilio : Mz. A lote 11 Virgen del Rosario II Etapa, S.M.P.

Teléfono : Fijo : Móvil : 943595041

E-mail : sharonaliagaleon@gmail.com

2. IDENTIFICACIÓN DE LA TESIS

Modalidad:

Tesis de Pregrado

Facultad : Ingeniería

Escuela : Ingeniería Ambiental

Carrera : Ingeniería Ambiental

Título : Ingeniera Ambiental

Tesis de Post Grado

Maestría

Grado :

Mención :

Doctorado

3. DATOS DE LA TESIS

Autor (es) Apellidos y Nombres:

Sharon Daniela Aliaga Leon

Título de la tesis:

Tratamiento combinado de electrocoagulación y H_2O_2 para la reducción de Cr^{+6} presente en aguas residuales en empresa de cromado, 2018

Año de publicación : 2019

4. AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN VERSIÓN ELECTRÓNICA:

A través del presente documento,

Si autorizo a publicar en texto completo mi tesis.

No autorizo a publicar en texto completo mi tesis.



Firma : 

Fecha: 15 / 01 / 2019

Fuente: Elaboración propia (2018).