UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA DE PROCESOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA

TESIS

REMOCIÓN DE CROMO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE CURTIEMBRE SICUANI-CUSCO, MEDIANTE EL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN EN UN REACTOR POR LOTES

PRESENTADO POR:

Br. ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA

Br. YENIFER YUCA GARCIA

PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUIMICO

ASESOR:

M.Sc. URIEL RAUL FERNANDEZ BERNAOLA

CUSCO - PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: REMOCION DE CROMO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE CURTIEMBRE SICUANI - CUSCO, MEDIANTE EL PROCESO DE ELECTROCOAGULACION EN UN REACTOR POR LOTES

presentado por: Br. ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA con DNI Nro.: 73010822 presentado por: Br. YENIFER YUCA GARCIA con DNI Nro.: 76189820 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO QUIMICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del ***Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC*** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 6 **%.**

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 05 de NOVIEMBRE de 2024

Firma

Post firma URIEL RAUL FERNANDEZ BERNAOLA

Nro. de DNI 43130855

ORCID del Asesor https://orcid.org/0000-0002-9386-702X

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:40192129 2

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS REMOCION DE CROMO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE CUR TIEMBRE SICUANI-CUSCO,MEDIANTE EL

AUTOR

Yenifer Yuca

RECUENTO DE PALABRAS

22719 Words

RECUENTO DE CARACTERES

123016 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

173 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

10.1MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 4, 2024 4:18 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 4, 2024 4:20 PM GMT-5

6% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 6% Base de datos de Internet
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados

Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)
- Bloques de texto excluidos manualmente

PRESENTACIÓN

SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.

En cumplimiento a lo dispuesto por el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Escuela Profesional de Ingeniería Química presentamos a vuestra consideración la tesis intitulada: **REMOCIÓN DE CROMO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE CURTIEMBRE SICUANI-CUSCO, MEDIANTE EL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN EN UN REACTOR POR LOTES**.

Para optar al Título Profesional de Ingeniero Químico.

Esperando que la información presentada sirva de consulta para posteriores investigaciones.

DEDICATORIAS

A Dios, por ser mi guía, fortaleza y permitirme haber logrado este triunfo profesional.
A mi hermano Belisario, quien siempre estuvo a mi lado para alentarme, impulsarme y motivarme para cumplir hoy una meta más y a Selki, mi mejor amiga y fiel compañera, que siempre estuvo para animarme y alegrarme cada día, por enseñarme de su fortaleza y recargarme de energía en noche de estudio.
A Viviana, Avishai y todos mis hermanos, quienes me apoyaron y guiaron en este trayecto de mi vida.
Y a todas las personas que estuvieron a mi lado y me brindaron su ayuda y ánimos.

Br. Ermelinda Ccoyo Ccanccahua

A Dios por brindarme la sabiduría, salud y amor para la finalización de mi trabajo de investigación.

Este trabajo lo dedico a mis padres Grimaldo y Sonia, hermano Julio Cesar quienes con su paciencia, comprensión y apoyo me brindaron la fortaleza para seguir adelante en la realización de mi trabajo de investigación, manteniendo presente mis principios y valores, dándome el ejemplo de superación, humildad y sacrificio.

Gracias a mis amigos, a los conocidos y a los enemigos. De todos se aprenden, todos te enseñan y todos te hacen sentir que seguir adelante no es una opción, es una decisión .

Muchas gracias a todos por su tiempo, disposición y ayuda. Sin ustedes no hubiese podido concretar este sueño.

Br. Yenifer Yuca Garcia

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, quién nos guio durante todo el camino de nuestra formación universitaria.

Agradecemos a nuestros padres que nos apoyaron íntegramente e incondicionalmente para culminar el presente trabajo.

Agradecemos a nuestro asesor el Ingeniero Mgt. Uriel Fernández Bernaola, por su asesoría y dedicación, quien, con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación llegamos a concluir y desarrollar la tesis con éxito.

Agradecemos al Ingeniero Julio Lechuga Canal quien nos brindó el Laboratorio de Ingeniería de Control de Contaminación Ambiental para poder desarrollar la parte experimental del presente trabajo de investigación,

Agradecemos a todos los ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Química quienes nos formaron profesionalmente durante nuestra vida universitaria, que compartieron con nosotros sus conocimientos brindándonos consejos y su amistad.

A los compañeros de la carrera que nos encantaría agradecerles su amistad, consejos y ánimos.

INDICE

PRESENTACIÓN ii
DEDICATORIAS iii
AGRADECIMIENTOS iv
RESUMEN ix
INTRODUCCIÓN xi
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1
1.1. SITUACION PROBLEMATICA 1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 2
1.2.1. PROBLEMA GENERAL 2
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS 2
1.3. JUSTIFICACIÓN 3
1.4. OBJETIVOS 4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL 4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4
CAPITULO II: MARCO TEORICO 5
2.1. ANTECEDENTES 5
2.2. BASES TEORICAS 8
2.2.1. Curtiembre 8
2.2.2. Cromo 12
2.3. TÉCNICAS DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE METALES PESADOS 14
2.4. ELECTROCOAGULACIÓN 16
2.4.1. Proceso de electrocoagulación 17
2.5. REACCIONES EN EL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN 19
2.5.1. Reacciones con electrodos de aluminio 19
2.6. CONFIGURACIÓN DE LOS ELECTRODOS 20
2.7. VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN 22
2.8. OPERACIÓN DEL REACTOR DE ELECTROCOAGULACIÓN 23
2.8.1. El reactor tipo Batch 23
2.9. MONTAJE DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN 24
2.10. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ELECTROCOAGULACIÓN 27
2.11. CINÉTICA QUIMICA 28
2.12. VALORES MAXIMOS ADMISIBLES 35
2.13. LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES (LMP) DE EFLUENTES DE LA ACTIVIDAD DE CURTIEMBRE 36
2.14. HIPÓTESIS 39
CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS 40
3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACION 40
3.2. LOCALIZACION GEOGRAFICA 40
3.3. MUESTRA 41
3.4. MATERIALES, EQUIPOS, INSTRUMENTOS, Y REACTIVOS 41
3.5. METODOS 43

3.5.1. RECOLECCION DE LA MUESTRA 43
3.5.2. CARACTERIZACIÓN FISICOQUIMICA DE LA MUESTRA 44
3.5.3. PROCESO DE ELECTROCUAGULACION 45
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL 50
3.7. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CROMO 54
3.8. ANALISIS 54
3.8.1. Prueba de Normalidad 54
3.8.2. Análisis estadístico 54
3.9. MODELO CINETICO 58
3.10. PROCESO DE ELECTROCUAGULACION EN AGUA REAL 58
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 60
4.1. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL DE CURTIDO 60
4.2. PROCESO DE REMOCION DE CROMO EN AGUA SINTETICA 62
4.3. PORCENTAJE DE REMOCION DE CROMO EN AGUA SINTETICA 64
4.4. PRUEBA DE NORMALIDAD 69
4.5. ANALISIS ESTADISTICO 71
4.6. MODELO CINETICO 81
4.7. REMOCIÓN DE CROMO EN AGUA REAL 91
5. CONCLUSIONES 94
6. RECOMENDACIONES 95
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 96
APENDICES 105
Apéndice 1: Análisis fisicoquímico de la muestra inicial de Curtiembre Sicuani 105
Apéndice 2: Análisis de Cromo total de la muestra inicial de Curtiembre Sicuani 106
Apéndice 4: Prueba fisicoquímica de la muestra final de Curtiembre Sicuani a pH 6 109
Apéndice 5: Análisis final de Cromo total a pH 6 110
Apendice 6: Prueba Cromo total de la muestra final de Agua Tratada para Cinética (Primer corrida) 113
Apendice 6.1: Prueba Cromo total de la muestra final de Agua Tratada 121
Apéndice 6.2.: Prueba Cromo total de la muestra final de Agua Tratada para Cinética (Tercera corrida) 129
Apéndice 7: Prueba de cromo total de agua tratada para la Remoción de cromo (27 Pruebas) 137
Anexos 161
Anexo 1 : Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA 161
Anexo 2 : Decreto Supremo N° 010-2023-MINAM 162

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Ventajas y desventajas de la electrocoagulación. 27
Tabla 2 Valores máximos admisibles para descargas al sistema de alcantarillado. 36
Tabla 3 LMP para efluentes de las actividades de Curtido y adobo de cuero, así como adobo y teñido de pieles. 37
Tabla 4 Parámetros adiciones de monitoreo para efluentes de las actividades de Curtido y adobo de cuero, así como adobo y curtido de pieles. 38
Tabla 5 Parámetros Fisicoquímicos y Método de Ensayo. 44
Tabla 6 Dimensiones de la celda de electrocoagulación..... 47
Tabla 7 Variables del proceso y niveles para el diseño experimental. 51
Tabla 8 Plan experimental para la remoción de Cromo..... 53
Tabla 9 Resultados de la caracterización fisicoquímica del agua residual del proceso de curtido. 60
Tabla 10 Resultados finales de la concentración de Remoción de cromo y su promedio. 63
Tabla 11 Porcentaje de remocion de de cromo. 65
Tabla 12 Prueba de Normalidad para Residuos 69
Tabla 13 Prueba de Bartlett..... 71
Tabla 14 Efectos estimados de la Remoción de Cromo..... 71
Tabla 15 Análisis de varianza para la remoción 75
Tabla 16 Coeficientes de regresión para la remoción de cromo 76
Tabla 17 Análisis de varianza para la remoción con valores significativos 79
Tabla 18 Coeficientes de regresión para la remoción de cromo con valores significativos 80
Tabla 19 Resultados finales de la concentración de Remoción de cromo en función del al tiempo. 81
Tabla 20 Resultados en % de la concentración final de Remoción de cromo en función del tiempo. 84
Tabla 21 Parámetros de ajuste para el modelamiento de primer orden. 88
Tabla 22 Parámetros de ajuste para el modelamiento de segundo orden..... 90
Tabla 23 Parámetros de ajuste cinético de los 2 modelos estudiados..... 90
Tabla 24 Resultados Fisicoquímicos del agua real recolectada..... 91
Tabla 25 *Resultados Fisicoquímicos del agua real recolectada a pH 6 y 8.*..... 93

LISTA FIGURAS

Figura 1 Diagrama de Bloques del Proceso de Curtido 11
Figura 2 Sistema de Electrocoagulación con electrodos de hierro y aluminio. 17
Figura 3 Proceso de Electrocoagulación 19
Figura 4 Diagrama esquemático de electrodos monopolares y bipolares 21
Figura 5 Reactores para Electrocoagulación tipo batch. 24
Figura 6 Celda de Electrocoagulación 25
Figura 7 Grafico de la pendiente - k , de una reacción de primer orden. 29
Figura 8 Gráfico de la pendiente k, de una reacción de segundo orden. 31
Figura 9 Diagrama de Pourbaix para las especies de cromo en solución acuosa a 1 atm y 25 ºC. 32
Figura 10 Diagrama de especiación del cromo 33
Figura 11 Curva Normal 34
Figura 12 Ubicación de ASAPES 40
Figura 13 Procedimiento Experimental del tratamiento electroquímico del agua residual del proceso de curtido. 43
Figura 14 Muestra en ASAPES 44
Figura 15 Muestra enviada al laboratorio para el Análisis de los Parámetros Fisicoquímicos. .. 45
Figura 16 Celda de electrocoagulación con las 3 zonas. 47
Figura 17 Lijado de las placas utilizadas en el proceso de electrocoagulación 48
Figura 18 Sujetadores para las placas, cables y las placa. 49
Figura 19 Fuente poder, Conexión de los cables a las placas (electrodos) y el sistema de electrocoagulación completo. 50
Figura 20 Toma de muestra 55
Figura 21 Medición del pH 56
Figura 22 Muestras Finales del Proceso de Electrocoagulación. 57
Figura 23 Muestras Finales de Cinética del proceso de electrocoagulación 57
Figura 24 Concentración de cromo VS densidad de Corriente 63
Figura 25 Densidad de Corriente VS Porcentaje de Remoción de Cromo. 66
Figura 26 pH VS Porcentaje de Remoción de Cromo. 67
Figura 27 Histograma para Residuos 69
Figura 28 Grafica Cuantil-Cuantil 70
Figura 29 Efectos principales para la Remoción de Cromo 72
Figura 30 Efectos interacción para la Remoción de Cromo 73
Figura 31 Diagrama de Pareto para la Remoción 74
Figura 32 Grafica de Superficie de Respuestas 77
Figura 33 Grafica de Contornos de la superficie de respuesta estimada 78
Figura 34 Concentración de Cromo Experimental en función al tiempo. 82
Figura 35 Concentración de cromo Experimental. 85
Figura 36 Tiempo VS Remoción VS Concentración. 87
Figura 37 Modelo cinético de Reacción de primer orden. 88
Figura 38 Modelo cinético de Reacción de segundo orden. 89

RESUMEN

En la investigación se realizó el proceso de electrocoagulación a nivel de laboratorio utilizando electrodos de aluminio y acero para remover iones de cromo de aguas sintéticas, dicha investigación se desarrolló en el laboratorio de Control de la Contaminación Ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Química y aguas reales proveniente de la Industria Peletera ASAPES Sicuani-Cusco. Se realizó la caracterización fisicoquímica del efluente de la industria en mención. El proceso de electrocoagulación fue empleado en la depuración de estas aguas residuales, se realizó en una celda electrolítica donde se evaluó el porcentaje de remoción de cromo con las variables experimentales: la densidad de corriente (3.09, 6.17 y 9.26) mA/cm^2 y pH (6,7 y 8); este proceso electroquímico consiste en desestabilizar los contaminantes a través del paso de corriente eléctrica mediante los electrodos y se desarrolló dentro de un reactor por lotes.

El tratamiento estadístico de los datos experimentales se realizó mediante el software Statgraphics centurión 18, donde se obtuvo como valor más significativo el pH según la prueba de análisis de varianza (ANOVA) y se estableció el modelo matemático que relaciona las variables de estudio en el proceso de remoción de cromo. La cinética de remoción de cromo fue estudiada por los modelos cinéticos de primer orden, segundo orden, donde los datos experimentales se ajustan al modelo de primer orden, obteniendo un $R^2 = 0.9983$ y k= 0.2901 min^{-1}. Finalmente, con las mejores condiciones del proceso se alcanza un 99.9 % de cromo total removido con una densidad de corriente de 9.26 mA/cm^2 y un pH de 8 y para las aguas reales se logró un 98.72% de cromo total removido a un tiempo de 15 minutos.

Palabras clave: remoción de cromo, electrocoagulación, electrodos de aluminio y acero.

ABSTRACT

In the research, the electrocoagulation process was carried out at the laboratory level using aluminum and steel electrodes to remove chromium ions from synthetic waters. This research was developed in the Environmental Pollution Control laboratory of the Professional School of Chemical and Water Engineering and in real wastewater from the ASAPES Sicuani-Cusco Fur Industry. The physicochemical characterization of the effluent from the industry in question was carried out; among them the concentration of chromium. The electrocoagulation process was used in the purification of this wastewater, it was carried out in an electrolytic cell where the percentage of chromium removal was evaluated with the experimental variables: current density (3.09, 6.17 y 9.26) mA/cm^2 y pH (6,7 y 8). This electrochemical process consists of destabilizing contaminants through the passage of electric current through the electrodes and was developed within a batch reactor.

The statistical treatment of the experimental data was carried out using the Statgraphics centurion 18 software, where the pH was obtained as the most significant value according to the Pareto diagram and the mathematical model that relates the study variables in the chromium removal process was developed. The kinetics of chromium removal were studied by first-order and second-order kinetic models, where the experimental data fit the first-order model, obtaining an $R^2 = 0.9983$ y $k = 0.2901\ min^{-1}$. Finally, the best process conditions reach 98.21% of total chromium removed with a current density of 9.26 mA/cm^2 and a pH of 8, in the case of real wastewaters 98.72% of chromium was achieved total eliminated.

Keywords: chromium removal, electrocoagulation, aluminum and steel electrodes.

INTRODUCCIÓN

A nivel nacional uno de los problemas ambientales más importante, es la contaminación de los cuerpos de aguas causadas por la presencia de metales pesados, los cuales son en su mayoría provenientes de los efluentes industriales.

En el Perú se utilizan tratamientos químicos para remover el Cromo de efluentes residuales de curtiembres. La calidad de salud de los pobladores es puesta en riesgo por la contaminación del recurso hídrico y el suelo debido a los residuos de las sustancias químicas (Osorio & Juarez, 2019).

Las aguas residuales procedentes de la industria de curtiembre se caracterizan por la alta contaminación orgánica y tóxica los cuales son asociados a sales, sulfuro, cromo, nivel elevado de material orgánico total (DQO) y material orgánico biodegradable (DBO), restos de piel y pelos que representa un problema ambiental.

En la Región de Cusco, en la localidad de Sicuani existen aproximadamente 500 artesanos peleteros empadronados en ASAPES (Asociación de Artesanos peleteros de Sicuani), aproximadamente el 10% trabaja de manera permanente por ser su único ingreso económico (Chambi Cuiro, 2006). Estos asociados no cuentan con tecnologías para poder tratar dichas aguas de manera adecuada y así poder disminuir la contaminación del agua.

El objetivo del presente trabajo fue remover el cromo de las aguas residuales procedentes de la industria curtiembre, Sicuani-Cusco, utilizando el proceso de electrocoagulación en un reactor por lotes.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. SITUACION PROBLEMATICA

La problemática de estudio es el cromo que se encuentra en los efluentes residuales de las curtiembres en concentraciones altas y los elevados niveles de DQO. Estos efluentes tienen principalmente valores altos de DBO y DQO, elevado contenido en color, pH variable, sólidos en suspensión, cromo, sulfuro y compuestos orgánicos (Carranza, 2001); (Lagos, 2016).

El proceso de curtido genera enormes volúmenes de aguas residuales con diversas cargas contaminantes. El curtiente empleado es el $Cr(OH)SO_4$, que genera una alta concentración de Cr (III) en las aguas residuales, porque las pieles absorben solo un 60-70% de cromo y el 30%- 40% sobrante queda como residuo industrial desechado junto con los efluentes domésticos ocasionando problemas ambientales (Rey de Castro, 2013).

Para el procesamiento de una tonelada de pieles crudas se utilizan 500 kg de distintos químicos y la piel solo absorbe entre el 40 y 50% asimismo se produce de 600 a 800 kilógramos de desechos sólidos, 15 - 50 metros cúbicos de aguas residuales que contienen 250 kg de DQO y 100 kg de DBO (Artiga, 2005).

En el Perú existen muchas curtiembres informales que no utilizan tecnologías para el tratamiento de sus efluentes; además, estas curtiembres arriendan sus servicios de curtido informal como una alternativa para obtener ingresos económicos (Mendoza, 2016).

En la región del Cusco, la mayoría de las industrias no tienen tecnologías para el tratamiento de aguas residuales y sus efluentes cargados de contaminantes son vertidos directamente al sistema de alcantarillado contaminando las fuentes de agua y perjudicando la vida acuática.

De acuerdo con el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en el Decreto supremo N.º 010-2019, el valor máximo admisible (VMA) para el cromo total en descargas de aguas residuales no domesticas al sistema del alcantarillado es de 10 mg/L, por otra parte el Ministerio del Ambiente en el Decreto supremo 010-2023, indica que los límites máximos permisibles (LMP) para el cromo total en los efluentes de actividades de cutido y adobo cuero, así como adobo y teñido de piel es de 0.5 mg/L. La mayoría de las curtiembres no cumplen excediendo los lineamientos regulatorios ambientales que exige el estado.

Esta investigación plantea una alternativa que pueda ser implementada en la industria del curtido ya que se realiza dentro del contexto de desarrollo sostenible y la importancia del empleo de tecnologías limpias.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es el porcentaje de remoción de cromo de aguas residuales de la industria de curtiembre Sicuani-Cusco, mediante el proceso de electrocoagulación en un reactor por lotes?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de las aguas residuales de la industria curtiembre, Sicuani-Cusco?
- ¿Como influye la densidad de corriente y el pH en el proceso de electrocoagulación en un reactor por lotes para reducir la concentración de cromo en aguas sintéticas?
- ¿Cuáles son los parámetros de densidad de corriente y pH que logren una mayor remoción de cromo en el proceso de electrocoagulación en aguas sintéticas?
- ¿Cuál es el modelo cinético que se ajusta a los datos experimentales del proceso de electrocoagulación en aguas sintéticas y el tiempo adecuado del proceso?

- ¿Cuál es el porcentaje de remoción de cromo con los parámetros de densidad de corriente, tiempo y pH de mayor remoción de cromo en aguas reales del efluente de ASAPES?

1.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación tiene como enfoque solucionar la problemática existente referente a la contaminación de los cuerpos de agua que en la mayoría de los casos son ocasionados por las industrias.

Se propone remover la concentración de cromo total usando la electrocoagulación que es un método electroquímico, en comparación de los métodos biológicos (lodos activos y lagunas de oxidación) y físicos-químicos (flotación y coagulación) este es más eficiente, capaz resolver el problema de los efluentes industriales contaminados con metales pesados y también busca minimizar los daños ambientales. De esta forma, el cromo puede ser reincorporado en el proceso de curtido evitando que el metal tóxico llegue a las aguas naturales.

Uno de los aspectos más importante es que no ocasiona impactos ambientales negativos, porque el método no requiere coagulantes o reactivos a diferencia de los demás métodos existentes y el costo del proceso no es muy costoso y será beneficioso para la asociación de peleteros de Sicuani, logrando así reducir la contaminación hacia los cuerpos de agua y cumpliendo la normativa peruana establecida.

Este estudio contribuirá a las investigaciones futuras demostrando que esta tecnología puede utilizarse para eliminar no sólo los metales pesados, sino también la materia orgánica y otros contaminantes, optimizando así los parámetros de la tecnología.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Remover cromo de aguas residuales de la industria de curtiembre Sicuani-Cusco, mediante el proceso de electrocoagulación en un reactor por lotes.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar fisicoquímicamente las aguas residuales de la industria curtiembre, Sicuani-Cusco.
- Determinar la influencia de la densidad de corriente y el pH en el proceso de electrocoagulación en un reactor por lotes para reducir la concentración de cromo en aguas sintéticas.
- Determinar los parámetros de densidad de corriente, tiempo y pH que logren la mayor remoción de cromo en el proceso de electrocoagulación en aguas sintéticas.
- Establecer el modelo cinético que se ajusta a los datos experimentales del proceso de electrocoagulación en aguas sintéticas.
- Determinar el porcentaje de remoción de cromo con los parámetros de intensidad de corriente, tiempo y pH de mayor remoción de cromo en aguas reales del efluente de ASAPES.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1.ANTECEDENTES

Arias (2013) realizó la investigación de la eliminación del cromo (III) y reducción de la DQO mediante la electrocoagulación en las aguas residuales de curtiembres, usando eficientemente la energía. El método utilizado para la depuración de agua industrial es la electrocoagulación, utilizo variables experimentales como: pH, la amplitud de corriente, tipo de corriente. Trabajaron con una configuración de los electrodos monopolar a 1 cm de distancia entre los electrodos, las variables de operación fueron pH y densidad de corriente. Los resultados se obtuvieron utilizando dos tipos de alimentación los cuales son: corriente alterna pulsante (PAC) y corriente directa (DC). En 25 minutos, DC consiguió una reducción del 80% del cromo y una reducción del 67% de DQO, mientras que PAC consiguió una reducción del 99% del cromo y una reducción del 82% de DQO.

Arango & Garcés (2007) diseñaron un sistema de electrocoagulación para tratar las aguas residuales procedentes de la industria láctea. De acuerdo a las características fisicoquímicas de la muestra se desarrollaron los parámetros de diseño. Diseñaron un reactor (por lotes) cuya capacidad no excede los 2 L, con 6 electrodos en serie de (Al y Fe) con una conexión en paralelo, con 32.43 a 43.23 A/m^2 de densidad de corriente. Determinaron que la distancia adecuada entre los electrodos es de 10 mm; sin embargo, observaron que, a distancias inferiores a 10 mm, los tratamientos son extensos y los lodos se depositan en la superficie de las placas metálicas. Obtuvieron porcentajes altos de remoción de DQO (95,10 %) a pH (4) utilizando placas de hierro y con 43,23 A/ m^2 de densidad de corriente. Observaron que la eficiencia en la reducción de metales aumenta simultáneamente con el aumento del tiempo y la densidad de corriente.

De La Cruz, Silva, & Inca (2017) trataron las aguas residuales procedentes de la industria curtiembre utilizando la técnica de electrocoagulación a fin de disminuir la DQO y eliminar el cromo. El agua residual de curtiembre presento una alta concentración de cromo total con 57,79 mg/l y de DQO una concentración de 1153 mg/l. Los ensayos se llevaron a cabo en un reactor de lotes con capacidad de 4.5 L, utilizaron 5 placas de fierro y 5 de aluminio, con un voltaje de 30 V, una intensidad de corriente de 20 A. Determinaron los parámetros óptimos de operación basándose en sus experiencias: intensidad de corriente de 20 A, 30 V y tiempo óptimo de 35 minutos. Removieron el 99,99% de cromo y el 90,1% de DQO. Disminuyeron la DQO a 114,2 mg/l y de cromo con un 0,0023 mg/l.

Mayta & Mayta (2017) investigaron la remoción del cromo (III) y DQO por electrocoagulación de aguas residuales de curtiembre procedente de la Universidad Nacional del Altiplano Puno (UNAP). El procedimiento de electrocoagulación fue desarrollado en un reactor por lotes con una fuente de alimentación de 14 V y 9 A. Se utilizó acrílico para la construcción de la celda, el volumen de la celda fue de 1,3 L y una zona de reacción de 7×7 cm^2. Utilizaron seis placas metálicas de aluminio (3 cátodos y 3 ánodos) separadas por 1 cm. Utilizaron tiempos en el rango de entre 15 y 45 minutos, con voltajes de 5 a 10 V, y diluciones entre 0 y 2, e interacciones durante del proceso de electrocoagulación tuvieron significancia ($p<0,05$). En los ensayos del proceso de electrocoagulación observaron que el pH, temperatura incrementaron y la conductividad disminuyo. Lograron la mayor remoción de Cr III a porcentajes cercanos del 98 % y de DQO a 48% con los parámetros (45 minutos, dilución de 2, 10 V).

Castro & Príncipe (2018) investigaron el efecto de tres parámetros operacionales (pH, tiempo y densidad de corriente) en la eliminación de cobre II y de cadmio II en soluciones acuosas en una celda electrolítica batch. Dado que la electrocoagulación combina la oxidación, la

coagulación y la precipitación, es eficaz contra la eliminación de los metales pesados presentes en los efluentes. Concluyeron que cuanto mayor sea el pH y la densidad de corriente suministrada a la celda mayor será la cantidad de metal pesado removido. Concluyeron que los parámetros óptimos operacionales son un pH de índice 7, con 3 mA/ cm^2 de densidad de corriente y duración de remoción de 40 minutos.

Diego Pérez & Mas Martínez, J. A. (2019) investigaron la influencia de la densidad de corriente y pH ,para evaluar la remoción del Cr^{+3} y DQO en efluentes de etapa de curtido , mediante electrocoagulación y teniendo como objetivo la remoción de Cr^{+3} y DQO en la etapa de cutido, concluye que las variables influyentes para la remoción de cromo en el proceso de electrocoagulación son el pH y la densidad de corriente, demostrando que aun pH 8 y densidad de corriente 28.51 mA/cm^2 alcanzando una remoción de cromo de 99.17 % .

Sunil R. & Sachin P. (2021) investigaron la eliminación de cromo mediante electrocoagulación de efluentes industriales donde evalúan la aplicación de los parámetros pH, densidad de corriente, distancia de electrodos, y tiempo de operación del proceso de electrocoagulación para la remoción eficiente del cromo del efluente industrial , obteniendo como parámetros óptimos de remoción de un 99.64 % a pH de 5.83, densidad de corriente de 89.45 A/cm^2, distancia de electrodos de 0.7 cm y tiempo de operación de 50 minutos. También realizaron el análisis cinético del proceso de electrocoagulación observando que este proceso sigue la reacción de primer orden.

2.2.BASES TEORICAS

2.2.1. Curtiembre

Taller donde se realiza el proceso de transformación de las pieles de diversos animales en cueros; a través de cuatro etapas: Limpieza, curtido, re-curtido y acabados (Paz Corrales, 2020).

Curtido

Con la finalidad de conservar las pieles se realiza el curtido que consiste en la transformación de la piel putrescible en cuero, tradicionalmente se realiza mediante el uso de taninos, compuestos orgánicos que reaccionan con las moléculas de colágeno dando resistencia a la piel. La piel, es sometida a una variedad de componentes químicos que reaccionan junto a las fibras de colágeno con el fin de obtener un cuero estable.

Los agentes curtientes utilizados, como sales metálicas tales como circonio, titanio, aluminio, cromo; los compuestos orgánicos o fenólicos, se unen a las moléculas de colágeno mediante enlaces cruzados, aumentando su estabilidad y bloqueando los grupos amino de la estructura coloidal, previniendo así su descomposición. Para la elaboración de cueros se consumen una gran cantidad de agua, produciendo grandes volúmenes de efluentes que deben tratarse (Villacorta & Rios, 2019); (Cerón, 2011); (Artiga, 2005).

A partir del siglo XX destaca el curtido al cromo. Durante más de un siglo, la sal de cromo ha sido una de las sales principales. Actualmente, aproximadamente un 80% de las pieles son curtidas con este método. El curtido de pieles con cromo se considera muy versátil, puesto que posibilita re-curtir la piel con taninos (Villacorta & Rios, 2019).

Cuando se incorpora cromo a la estructura del colágeno, se consigue un cuero estable térmicamente capaz de soportar temperaturas de 100°C como máximo sin mostrar cambios

estructurales. La piel presenta más firmeza, conserva su forma, es impermeable y resistente a la degradación microbiana (Rey de Castro, 2013, pág. 13).

Proceso de Curtido de Pieles

El proceso del curtido de pieles permite transformarlas en cueros y el proceso es el siguiente:

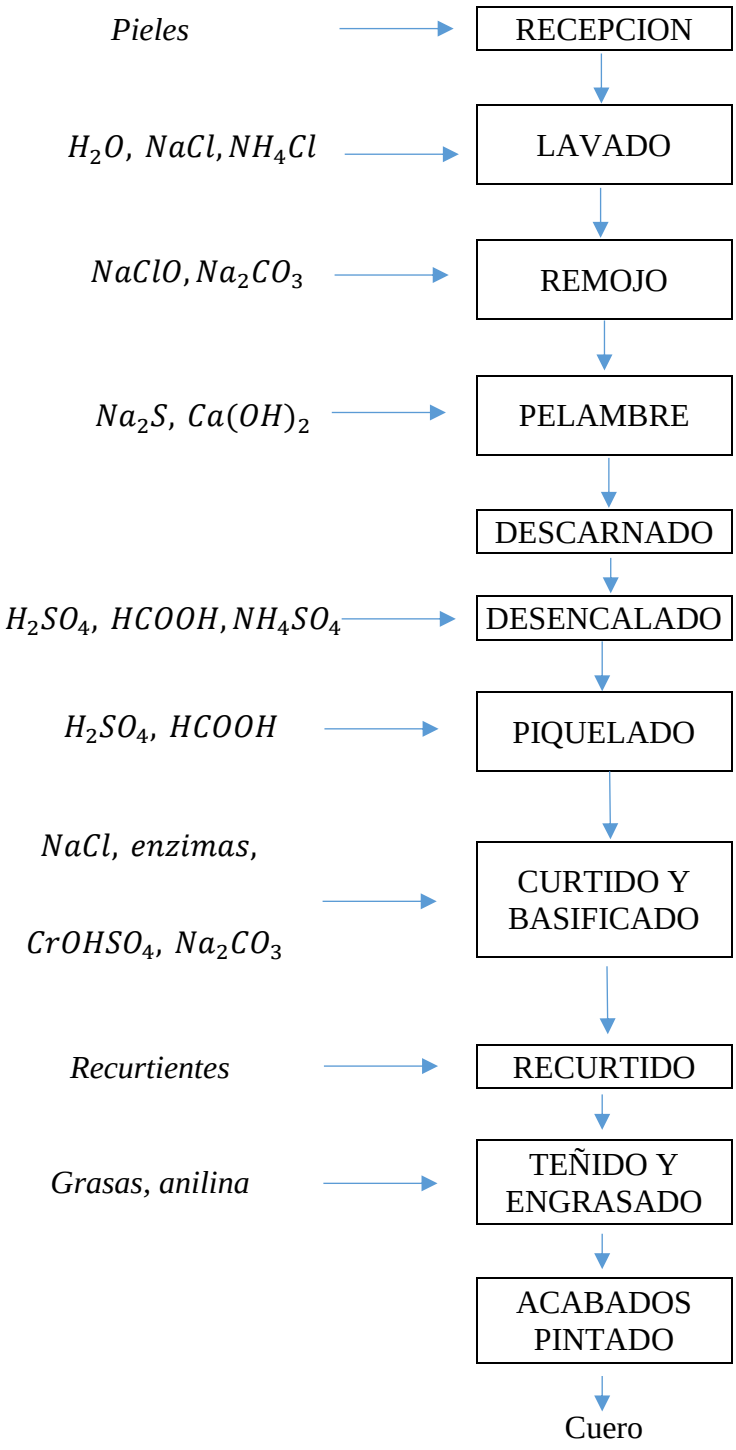
a. Recepción de la materia prima: Las pieles llegan a la planta, se pesan para realizar el pago al proveedor según el tipo que sea: fresca y/o seca, se realiza la verificación de la calidad.
b. Lavado - Conservación: Su objetivo es impedir proliferación de bacterias, se utiliza agua, cloruro de sodio y sales de amonio para la conservación. Los efluentes contienen materia orgánica, sangre y sólidos
c. Remojo: Se limpia y desinfecta la piel, rehidratándola, se adicionan desinfectantes como hipoclorito de sodio, enzimas y carbonato de sodio. En el efluente se elimina sangre, suero, cloruro de sodio y materia orgánica.
d. Pelambre: Se elimina la epidermis con el pelo o lana. La piel sufre un proceso de saponificación de las grasas y aceites obteniéndose jabones y alcoholes solubles. Se emplea sulfuro de sodio, sulfato de dimetil amina, hidróxido de calcio y/o hidróxido de sodio.
e. Descarnado: Remoción de los tejidos adiposos, subcutáneos musculares y el sebo adherido a la piel, para permitir una mejor penetración de los curtientes. Es una operación manual con cuchillos, en algunos casos es mecánico.
f. Desencalado y purgado: Es un proceso en donde se elimina el sulfuro de sodio y el hidróxido de calcio, para darle mayor flexibilidad al cuero. Se adiciona ácido sulfúrico, ácido fórmico, sulfato de amonio, cloruro de amonio y bisulfito de sodio, así como enzimas.

g. Piquelado: Se prepara químicamente la piel, acidulándola para evitar el hinchamiento y fijar el cromo en las células. Se adiciona ácido sulfúrico, ácido fórmico y cloruro de sodio.
h. Curtido y basificado: Estabilizando el colágeno de la piel se convierte en un material fuerte y resistente a la putrefacción, usando productos químicos naturales, sintéticos. Se le adiciona Sulfato básico de cromo, carbonato de sodio, sulfato de sodio.
i. Re-curtido: Trata la estructura fibrosa del cuero, con re-curtientes de cromo.
j. Teñido y engrasado: Da color al cuero, se lubrica las fibras con grasas sulfatadas, para conferirles propiedades mecánicas y físicas, dando color al cuero de acuerdo con el requerimiento final.
k. Pintado y clasificado: Debe proporcionar distintos acabados, aplicar ligantes para impartir suavidad y proteger el cuero de daños mecánicos, humedad y suciedad (Méndez Pampín, Vidal Sáez, Lorber, & Márquez Romegialli, 2007).

En la Figura 1 se observa el diagrama de bloques del proceso de curtido.

Figura 1

Diagrama de Bloques del Proceso de Curtido



Nota. Fuente: (Paz Corrales, 2020)

Contaminantes presentes en los efluentes de la etapa de curtido

Las descargas de efluentes del curtido al cromo, contienen principalmente el cromo, generalmente se encuentra en la forma de cromo trivalente (Cr^{+3}), su forma más estable y menos toxica en comparación con el Cr (VI) y el Cr (IV), que son muy inestables y carcinógenos. Sin embargo, al descargar dichos efluentes en los acueductos subterráneos pueden oxidar a las formas inestables y tóxicas" (Salas, 2005). El efluente residual de la etapa de curtido es de carácter acido, contiene altos niveles de DQO y DBO, también contiene una alta concentración de sólidos disueltos y suspendidos.

2.2.2. Cromo

Fue descubierto por el francés Louis Vauquelin en 1797, el nombre deriva del griego Chorma "color" debido a los diversos colores que traen sus compuestos. Su número atómico es 24 con masa atómica 51,9961 UMA, punto de ebullición de 2945.15 ºK y de fusión de 2130.15 ºK. Clasificado como un metal de transición que en su estado natural es un sólido de estructura cristalina cúbica y color gris (Bentor, 2022).

La contaminación de cromo (III y IV) en el agua, aire y suelo son producidas por actividades humanas, teniendo como ejemplo: las descarga de efluentes de industrias, curtidos de cueros, entre otras, donde el cromo se va al fondo y solo una pequeña parte se diluye en el agua, la quema de carbón y petróleo que aumenta la concentración en forma de material particulado de cromo en el aire, la industria de acero, soldadura de acero inoxidable y la fabricación de productos químicos con contenido de cromo. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) contiene una lista de contaminantes considerados como metales tóxicos y sustancias peligrosas entre ellos está el cromo, plomo, arsénico y otros metales (Montoya Molina, Aguilar Casas, & Cordovez Wandurraga, 2010).

Efectos del cromo en el ambiente y el hombre

El cromo en sus diferentes estados de oxidación no es biodegradable, debido a su característica de persistencia, su acumulación en el paso del tiempo y su efecto en la vida en el agua representa un problema ambiental. El cromo (VI) está clasificado como un compuesto cancerígeno en los seres humanos.

a) Efecto del cromo en el ambiente:

En pequeñas cantidades, el cromo en su estado trivalente es un nutriente esencial; sin embargo, cuando se incrementa, tiene efectos tóxicos y adversos por otro lado el cromo en su estado hexavalente no esencial y es toxico.

Dado que las plantas pueden absorber el cromo que se transporta por el agua, ingresa en los organismos vivos a través del agua y de las fuentes alimentarias. Cuando este compuesto entra en contacto con organismos vivos por ingestión o inhalación, provoca efectos perjudiciales genéticos, mutagénicos y cancerígenos. Por lo tanto, el alto contenido de cromo presente en las aguas residuales generadas por las curtiembres representa un peligro para los seres vivos (Esparza & Gamboa, 2001).

La contaminación de los recursos hídricos reduce su valor para el consumo de los seres humanos o el uso para fines agrícolas, sobre todo perjudica la vida acuática. Las aguas subterráneas al contaminarse con metales pesados representan un problema severo, ya que su autodepuración es lenta (Esparza & Gamboa, 2001)

b) Efecto del cromo en el hombre:

De acuerdo al informe de Greenpeace, se ha clasificado los compuestos de cromo VI como potencialmente cancerígenos por la Agencia Internacional de Investigación contra el Cáncer. El Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos ha determinado que la ingesta por seres humanos de agua contaminada y demás alimentos como el pescado con Cr III puede dar lugar a niveles de ingesta diaria superiores a los recomendados. El consumo excesivo de la dosis diaria recomendada puede provocar efectos adversos para la salud, como irritación gastrointestinal, malestar e inflamación intestinal, daño renal y hepático con el tiempo. Cuando los trabajadores se exponen a estas sustancias de forma regular, el contacto con el cromo puede provocar una inflamación grave y enrojecimiento de la piel; inhalar altas concentraciones de cromo puede irritar las membranas respiratorias y nasales (Industria de Curtiembres., 2014).

2.3.TÉCNICAS DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE METALES PESADOS

Los contaminantes de las aguas residuales procedentes de diferentes industrias pueden ser sometidos a tratamientos fisicoquímicos y biológicos, en función de las características de los efluentes.

Los métodos de tratamiento que generalmente se recomiendan para eliminar iones metálicos, comprenden procesos tales como la biodegradación, técnicas electroquímicas, resinas de intercambio iónico, precipitación química y adsorción. Sin embargo, están limitados por los elevados costos de inversión y mantenimiento, el requisito de mano de obra calificada para operar las plantas y la generación de residuos tóxicos (Osorio & Juarez, 2019, pág. 8).

A continuación, se describen los principales tratamientos:

Tratamiento biológico

El tratamiento biológico se caracteriza por el uso de microorganismos y la conversión de componentes biodegradables en sustancias o compuestos aceptables, capturar y une las partículas en suspensión.

Tratamientos químicos

a. Adsorción

"Es el proceso por el cual la materia de una fase se concentra o adhiere sobre el área superficial de otra fase; la sustancia que se adsorbe se llama ¨adsorbato¨ y el material que retiene las moléculas en su superficie se denomina ¨adsorbente¨" (Aguirre, 2017, pág. 37).

b. Precipitación química

"La precipitación química es seguida de una operación de separación de sólidos, como la coagulación, la sedimentación y la filtración" con el fin de eliminar los precipitados (Perales Vílchez, 2019, pág. 34)

c. Resinas de intercambio iónico

Son polímeros insolubles en agua, que tienen la capacidad de intercambiar iones, constituido por grupos polares en gran concentración, ácidos o básicos. "Están incorporados a una matriz polimérica reticulada por la acción de un agente entrecruzaste (Intercambio ionico, 2021, pág. 2).

d. Coagulación/ Floculación

La coagulación es el fenómeno por el cual se desestabilizan las partículas suspendidas y se consigue neutralizando las cargas eléctricas de los coloides. Al agregar un coagulante al agua y aplicar energía de agitación se forman pequeñas partículas con características gelatinosas que

desestabilizan las partículas en suspensión al neutralizar la carga de los coloides que presentan cargas negativas (Arboleda, 2000).

"La floculación es el proceso por el cual se agrupan las partículas desestabilizadas o coaguladas dando lugar a un aglomerado más grande llamado floculo y se debe a un mecanismo de formación de puentes químicos o enlaces físicos" (Metcalf & Eddy, 1995).

Técnicas electroquímicas

Las tecnologías electroquímicas como la electro-flotación, electrocoagulación electro decantación y la electrólisis, "son alternativas de naturaleza electrocinética, factibles en la remediación y depuración de aguas residuales que requieren una pequeña cantidad de productos químicos. Una de las ventajas de usar técnicas electroquímicas, consiste en permitir reacciones controladas y una cinética adecuada y favorable" (Chang, R. 2010).

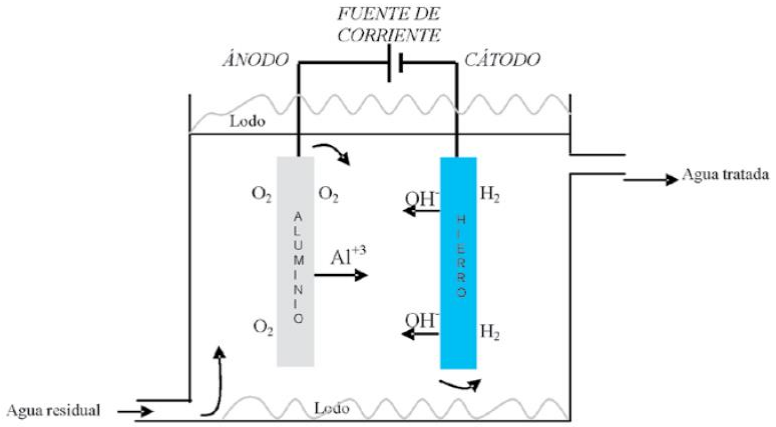
2.4.ELECTROCOAGULACIÓN

Proceso electroquímico empleado para tratar aguas residuales en el que los contaminantes disueltos, suspendidos o emulsionados se desestabilizan en un medio acuoso al aplicar electricidad, lo que da lugar a la formación de agregados, partículas sólidas menos coloidales y emulsionados que en su estado de equilibrio. "Esta técnica procede cuando se induce una corriente de electricidad en las aguas residuales mediante electrodos (placas metálicas), el aluminio y hierro se emplean con regularidad" (Arango R. A., 2005).

La Figura 2 muestra el transcurso de este proceso, los coagulantes (cationes metálicos) son generados *in situ* debido a la disolución de iones de hierro o aluminio de los electrodos. Los iones de hierro o aluminio se disuelven de los electrodos. Los iones metálicos se generan en el ánodo, y las burbujas de gas se liberan en el cátodo, ayudando a las partículas floculadas a flotar, y luego se eliminan del agua (Guohua, 2004).

Figura 2

Sistema de Electrocoagulación con electrodos de hierro y aluminio.



Nota. Fuente: (Restrepo, Arango, & Garcés, 2006)

2.4.1. Proceso de electrocoagulación

En la electrocoagulación, ocurre una serie de procesos fisicoquímicos que facilita la depuración de los contaminantes presentes en aguas residuales.

"En los electrodos ocurren una serie de reacciones que producen iones positivos y negativos. En el ánodo se genera iones metálicos y se denomina como electrodo de sacrificio, a causa de que la placa metálica se disuelve, mientras el electrodo que forma el cátodo se mantiene sin disolver" (Restrepo, Arango, & Garcés, 2006).

Las cargas de los contaminantes se desestabilizan por los iones generados y los sistemas que mantienen las partículas suspendidas desaparecen, dando lugar a la formación de agregados de las partículas contaminantes y a la coagulación.

Los iones liberados son capaces de remover todo tipo de contaminantes por precipitación y reacción química o procesos físicos que agregan materiales coloides, y de acuerdo a la densidad que poseen tienden a flotar o precipitarse (Restrepo, Arango, & Garcés, 2006).

En el cátodo se genera diminutas burbujas de oxígeno e hidrógeno al inducir electricidad en el medio acuoso. Las micro burbujas se adhieren a la superficie de los coloides y partículas en suspensión formado una espuma compacta al ser arrastrados a la superficie. Las pequeñas burbujas de hidrógeno crean corrientes descendentes y ascendentes en la solución, aumentando la eficiencia de la desestabilización. Cuando las partículas suspendidas se neutralizan, la emulsión se rompe y se forman floculantes; todos los contaminantes que flotan y/o precipitan pueden ser eliminados mediante técnicas convencionales de separación (De La Cruz, Silva, & Inca, 2017).

A través de la aplicación de un campo eléctrico, los contaminantes se pueden ionizar, someterse a hidrólisis, electrolisis o formar radicales libres. Dichas reacciones alteran las propiedades fisicoquímicas del agua y de los contaminantes, logrando remover las partículas contaminantes del agua (Restrepo, Arango, & Garcés, 2006). Los lodos formados pueden separarse por sedimentación seguido de la filtración. En la Figura 3 se muestra los procesos involucrados en la electrocoagulación el coagulante formado y sus productos de hidrolisis que interaccionan con el contaminante, las pequeñas burbujas del gas electrolítico y con otras especies iónicas (Barrera, 2014, pág. 170).

Etapas del proceso de electrocoagulación

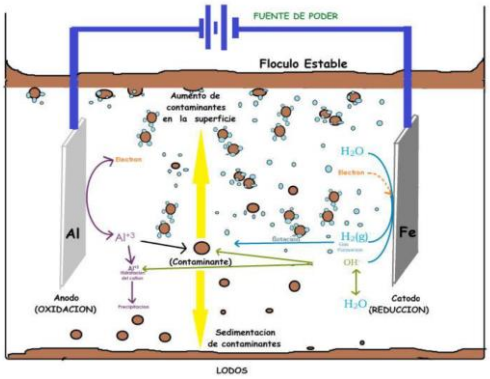
Mollah, Schennach, Parga, & Cocke (2001) Plantean que las siguientes etapas consecutivas están presentes en el tratamiento del agua contaminada por electrocoagulación:

1. Reacciones electrolíticas en la superficie del ánodo, formándose el coagulante por oxidación electrolítica.
2. Los contaminantes (partículas de suspensión) se desestabilizan, lo que da lugar a la disolución de las emulsiones.

3. La formación de flóculos se produce como resultado de la agregación de partículas contaminantes o la adsorción de estas partículas al coagulante para ser removidas por sedimentación o flotación.

Figura 3

Proceso de Electrocoagulación



Nota. Fuente: (Mollah, y otros, 2004)

2.5.REACCIONES EN EL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN

En el proceso de electrocoagulación, los electrodos más utilizados son el hierro y el aluminio. Hay varios factores que afectan a la reacción, como el pH del efluente residual, la conductividad y la concentración de contaminantes; estos factores son responsables de la formación del coagulante y de las reacciones que ocurran en el sistema (Restrepo, Arango, & Garcés, 2006).

2.5.1. Reacciones con electrodos de aluminio

Ánodo: agente oxidante

$$Al \rightarrow Al^{3+}\,(aq) + \,3\,e^{-} \tag{1}$$

$$Al^{3+}\,(aq) + \,3H_2O \rightarrow \,Al\,(OH)_3 \,+\, 3\,H^{+} \tag{2}$$

$$nAl(OH)_3 \rightarrow Al_n\,(OH)_{3n} \tag{3}$$

Cátodo: agente reductor

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_{2(G)} + 2OH^-_{ac} \quad (4)$$

Para el anodo : $Al - 3e^- \rightarrow Al^{3+}$ (5)

Para acondiciones alcalinas $Al^{3+} + 3OH^- \rightarrow Al\,(OH)_3$ (6)

Para acondiciones acidas : $Al^{3+}\ 3H_2O \rightarrow Al\,(OH)_3 + 3H^+$ (7)

Nota. Fuente: (Bermudez & Salazar, 2019)

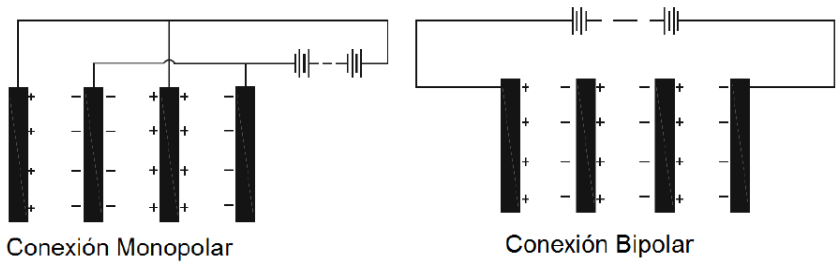
2.6.CONFIGURACIÓN DE LOS ELECTRODOS

Para mejorar la configuración de los electrodos se requiere intercambiar la polaridad de estos en el sistema de electrocoagulación.

Cuando la celda de electrocoagulación no es adecuada, se requiere mayor área expuesta de metal para la velocidad de dilución. El uso de electrodos con un área expuesta mayor es requerido, se ha logrado que el uso de varias semiceldas de electrocoagulación, ya sea con electrodos monopolares o con electrodos bipolares para obtener su mejora. En la Figura 4 muestra las conexiones monopolares y bipolares de cada electrodo de sacrificio ensamblado directo a la fuente intercalando la polaridad de los mismos originando así una diferencia de potencial en cada semicelda (Arias, 2013).

Figura 4

Diagrama esquemático de electrodos monopolares y bipolares



Nota. Fuente: (Arias, 2013)

Los electrodos de sacrificio son polarizados por la diferencia de potencial originada por los electrodos externos que se encuentran conectados a la fuente, estos están ubicados entre los dos electrodos que son polarizados directamente. Los electrodos de sacrificio polarizados con cargas distintas en cada cara son los electrodos bipolares.

Cuando una corriente eléctrica fluye entre dos electrodos, se crea una diferencia potencial, y las placas con lados neutros (electrodos de sacrificio) se cargan con una carga opuesta (o menor) con relación al electrodo paralelo (Arias, 2013).

Monopolar

Los electrodos están conectados en paralelo y sometidos al mismo potencial, lo cual genera mayor gasto de energía (Aguilar, 2015, p. 26).

En Paralelo

En la disposición monopolar en paralelo, la corriente eléctrica se distribuye entre cada electrodo de acuerdo con la resistencia de cada celda (Mollah, Schennach, Parga, & Cocke, 2001)

2.7.VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN

Las variables más importantes que influyen en el proceso de la electrocoagulación son:

- **La densidad de corriente**: Es un parámetro crítico porque se utiliza para regular la velocidad de reacción al interior de un sistema (Ojeda & Hing, 2010). Dicho parámetro permite evaluar la producción de burbujas en los electrodos ya que depende de la remoción del contaminante y consumo de energía que se requiera en el procedimiento; esto es crítico, ya que un aumento significativo de cualquiera de estos se refleja en los costos de operación (Condori, 2018).
- **pH**: La variación del pH está sujeto al pH inicial de la muestra y al material del electrodo, "en medio ácido el pH aumenta durante el proceso causado por la generación de hidrógeno molecular que se origina en el cátodo mientras que en aguas residuales alcalinas puede decrecer. Para efluentes que tengan metales pesados y cianuros, se puede permitir un pH entre 5 – 6" (Holt , Barton, & Mitvhell, 2005), la eficiencia más alta de remoción se ha logrado a pH cercanos a 7.
- **Material del electrodo**: La elección del electrodo determina la eficiencia para remover los contaminantes en el proceso de electrocoagulación, el electrodo debe tener una buena propiedad electroquímica y el cátodo debe ayudar a la descomposición del líquido (Restrepo, Arango, & Garcés, 2006) en la industria las que más se utilizan son las placas de aluminio y hierro como electrodos para el tratamiento de aguas residuales ya que tienen capacidad para generar coagulante. Por otro lado, el aluminio es eficiente conductor y es usado como electrodo de sacrificio para tratar efluentes residuales.

- **Conductividad**: La densidad de corriente y la conductividad están relacionadas, al incrementarse la conductividad eléctrica ocasiona el aumento de la densidad de corriente. Al tratar aguas residuales, la conductividad tiene la capacidad de mejorar mediante la agregación de cloruro de calcio o sodio y al mismo tiempo reduce cualquier efecto negativo que puedan producir los iones sulfatos o carbonatos. "Estos iones conducen a la precipitación de Ca^{2+} y Mg^{2+} sobre los electrodos formando una capa insoluble que aumenta el potencial y disminuye la eficiencia de la corriente. Para efluentes con contenido de metales pesados se puede tolerar una conductividad de 1500 µS/cm" (Holt , Barton, & Mitvhell, 2005).
- **Distanciamiento entre placas**: La distancia entre los electrodos y el tiempo son las variables más importantes en la eliminación de Cr VI (cuanto más sea el tiempo de residencia y mínima sea la distancia entre los electrodos, la eficiencia de remoción será mayor). Las burbujas que se acumulan en las placas metálicas deben controlarse, ya que aumenta el tiempo de la residencia (Condori, 2018).

2.8.OPERACIÓN DEL REACTOR DE ELECTROCOAGULACIÓN

2.8.1. El reactor tipo Batch

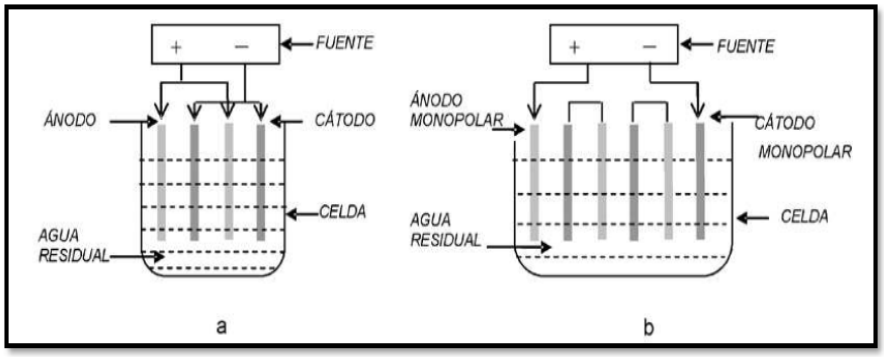
El reactor batch es utilizado para el tratamiento de efluentes residuales, que opera a una capacidad establecida y es de operación simple (Murillo B. A., 2016).

El consenso indica que la principal desventaja es que sus condiciones pueden cambiar con el tiempo. El reactor en lotes utilizado en el proceso de electrocoagulación no se recomienda si se trabaja con un sistema compuesto por dos placas, un ánodo y un cátodo. Para conseguir una disolución adecuada de los iones metálicos, es necesario aumentar la superficie de los electrodos,

que pueden ser monopolar o bipolar y conectados en serie o en paralelo (Condori, 2018) y (Murillo B. A., 2016).

Figura 5

Reactores para Electrocoagulación tipo batch.



Nota. Fuente: (Condori, 2018)

En la Figura 5 se observa dos tipos de reactores, el reactor a es el reactor mono polar conectado en paralelo y el reactor b es el reactor mono polar conectado en serie.

2.9.MONTAJE DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN

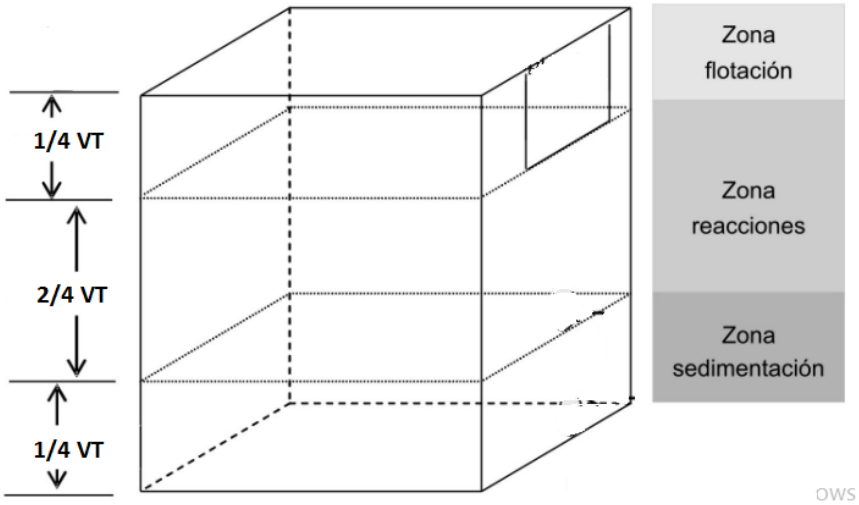
Para el armado del sistema de electrocoagulación se toma en cuenta lo siguiente:

Celda de electrocoagulación

El diseño de la celda es para un sistema Batch. La celda se diseñó considerando una distribución volumétrica que contempla tres zonas, ver la Figura 6:

Figura 6

Celda de Electrocoagulación



Nota. Fuente: (Arango & Garcés, 2007)

- Zona de flotación: Región en la que se depositan los lodos menos densos y las espumas. La zona de flotación y la de sedimentación equivalen cada una a un cuarto del volumen total (VT) de la celda. (Arango & Garcés, 2007)
- Zona de reacción: Región media en la que se lleva a cabo las reacciones electroquímicas y se encuentran los electrodos. La zona de reacción equivale a dos cuartos partes del volumen total (VT) de la celda.
- Zona sedimentación: Región donde se precipitan los lodos más densos (Arango & Garcés, 2007).

El material de la celda es de vidrio porque presenta reactividad inerte a aguas alcalinas, acidas y también permite observar el proceso de electrocoagulación (Laura & Salinas, 2020).

Distancia existente entre electrodos

Para el proceso de electrocoagulación. Mayta & Mayta (2017) en su trabajo de investigación lograron porcentajes de remoción de cromo III (98 %) y DQO (48 %) al trabajar con una distancia entre electrodos de 1 cm con aluminio como electrodo de sacrificio.

De La Cruz, Silva, & Inca (2017) obtuvo altos porcentajes de remoción de la DQO (90.1%) y cromo III (99.99%) trabajando con una distancia de 1 cm entre los electrodos de Al y Fe.

Laura & Salina (2020) y Osorio & Juarez (2019) determinaron que la distancia óptima entre los electrodos para la reducción de cromo III y DQO es de 1 cm.

Material de los electrodos

Los materiales seleccionados para los electrodos son aluminio para el ánodo y acero inoxidable para el cátodo por la disponibilidad de los metales. El tamaño de electrodos se diseña para que su altura sea igual a la zona de reacción.

Número de electrodos

El número de electrodos se determina de acuerdo del ancho de la celda, la distancia entre los electrodos de los extremos y las paredes de la celda (determinada con el fin de disponer los electrodos en la parte central de la celda), la distancia entre electrodos y el espesor de cada uno de ellos (Arango & Garcés, 2007), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$N°electrodos = \frac{(ancho\ de\ la\ celda) - 2(dist.electrodo\ cara\ lateral)}{(dist.entre\ electrodos + espesor\ de\ la\ placa)} \quad (8)$$

Fuente de voltaje

Para el diseño de la fuente se estableció el voltaje de trabajo de acuerdo a De La Cruz, Silva, & Inca (2017) y Perales Vílchez (2019) quienes determinaron que el voltaje de operación

óptimo es de (13 V) para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con Cr^{+3} y Cr^{+6} respectivamente. La celda de electrocoagulación está conectada a una fuente de alimentación de energía de 0 – 30 Voltios y a un rango de intensidad de corriente de 0 - 30 Amperios.

2.10. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ELECTROCOAGULACIÓN

En la Tabla 1 se muestra las ventajas y desventajas de aplicar un proceso de electrocoagulación.

Tabla 1

Ventajas y desventajas de la electrocoagulación.

VENTAJAS	Requiere de equipos simples y de fácil operación
	Elimina requerimientos de almacenamiento y uso de productos químicos
	Genera lodos más compactos y en menor cantidad.
	Produce flóculos más grandes que aquellos formados en la coagulación.
	Alta efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes
	Purifica el agua y permite su reciclaje
	El paso de la corriente eléctrica favorece el movimiento de las partículas de contaminante más pequeñas incrementando la coagulación
	Reduce la contaminación en los cuerpos de agua.
	El agua tratada por electrocoagulación contiene menor cantidad de sólidos disueltos que aquellas tratadas con productos químicos, situación que disminuye los costos de tratamiento de estos efluentes en el caso de ser reusados
	Puede generar aguas potables, incoloras e inodoras.
	Los contaminantes son arrastrados por las burbujas a la superficie del agua tratada, donde pueden ser removidos con mayor facilidad
DESVENTAJAS	Es necesario reponer los electrodos de sacrificio.
	Los lodos contienen altas concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo de sacrificio utilizado.
	Puede ser un tratamiento costoso en regiones en las cuales el costo de la energía eléctrica sea alto.
	El óxido formado en el ánodo, puede en muchos casos, formar una capa que impide el paso de la corriente eléctrica, disminuyendo de esta forma la eficiencia del proceso.

Nota. Fuente: (Arango R. Á., 2014)

2.11. CINÉTICA QUIMICA

La cinética química se ocupa del análisis de velocidad (lenta o rápida). Teniendo en cuenta las variables que inciden directamente, se dice que ha tenido lugar una reacción química si esta ocurre mediante la reordenación de átomo para formar nuevas moléculas (Mendoza Monago & Salcedo Charapaqui, 2014, pág. 33).

Se debe de tener claro que para poder emplear los modelos cinéticos se emplearan dos criterios que son la concentración de la solución o la carga en el absorbente (Figueroa , Moreno, & Hormaza, 2015).

Para el análisis de la cinética se evaluarán las concentraciones de los resultados obtenidos de la parte experimental mediante las ecuaciones integradas de la ley de las velocidades que serán descritas a continuación:

Reacciones de Primer orden

La ecuación de inicio es:

$$v = -\frac{d[A]}{dt} = k\,[A] \tag{9}$$

Para poder integrar la Ecuación 9, se reordenará entre los límites, siendo las concentraciones $[A]_0$ y $[A]$ para los tiempos $t = 0\ y\ t = tiempo\ de\ de\ reaccion$, se obtiene:

$$-\int_{[A]_0}^{[A]} \frac{d[A]}{[A]} = k \int_0^t dt$$

$$k \int_0^t dt = -\left[Ln[A]\right]_{A_0}^{A} kt \tag{10}$$

$$-Ln[A] + Ln[A]_0 = kt$$

$$Ln[A] = Ln[A]_0 - \ kt$$

Al linealisar la ecuacion Ecuación 10 Tendra la forma de una recta ($y = mx + b$) , dando lugar a :

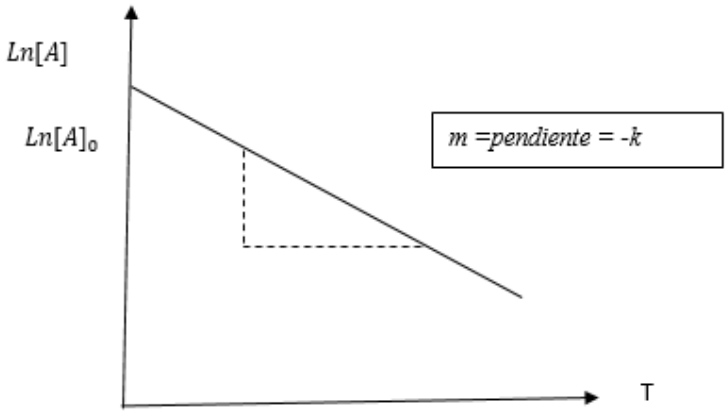
$$b = Ln[A_0] = \ ordenada\ en\ el\ origen$$

$$m = -k = pendiente\ de\ la\ ecuacion$$

En la Figura 7 se muestra la representación gráfica en función del tiempo del primer orden de reacción:

Figura 7

Grafico de la pendiente - k , de una reacción de primer orden.



Nota. Fuente: (Mendoza Monago & Salcedo Charapaqui, 2014)

Reacciones de Segundo orden

La ecuación de inicio es:

$$v = \ -\frac{d[A]}{dt} = k\ [A]^2\ kt \qquad (11)$$

Para poder integrar la Ecuación 11, se reordenará entre los límites, siendo las concentraciones $[A]_0$ y $[A]$ para los tiempos $t = 0\ y\ t = tiempo\ de\ de\ reaccion$, se obtiene:

$$-\int_{[A]_0}^{[A]} \frac{d[A]}{[A]^2} = k \int_0^t dt$$

$$-\left[\frac{1}{-2+1}[A]^{-2+1}\right]_{[A]_0}^{[A]} = k\ [t]_0^t$$

$$\frac{1}{2-1}[A]^{-1} - \frac{1}{2-1}[A]_0^{-1} = kt\ kt \qquad (12)$$

$$[A]^{-1} - [A]_0^{-1} = kt$$

$$\frac{1}{[A]} - \frac{1}{[A]_0} = kt$$

$$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + kt$$

Al linealisar la kt de la Ecuación 12, tendra la forma de una recta ($y = mx + b$) , dando lugar a :

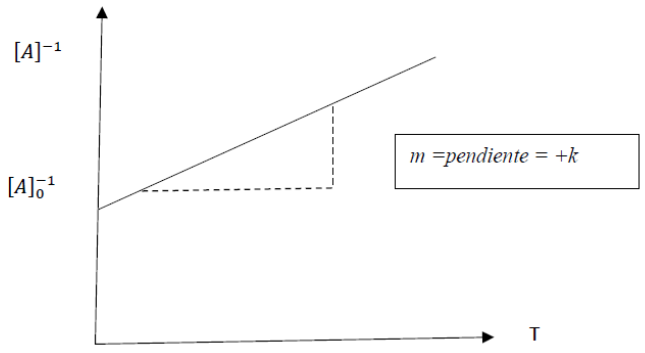
$$b = [A]_0^{-1} = ordenada\ en\ el\ origen$$

$$m = -k = pendiente\ de\ la\ ecuacion$$

En la Figura 8 se muestra la representación gráfica en función del tiempo del segundo orden de reacción:

Figura 8

Gráfico de la pendiente k, de una reacción de segundo orden.



Nota. Fuente : (Mendoza Monago & Salcedo Charapaqui, 2014)

Conociendo las concentracion en tiempos diferentes se llega a obtener la ecucaion de reaccion , el orden de reaccion y la pendiente .

A continuacion se muestra las ecuaciones integradas de primer y segundo orden de reaccion.

La ecuación integrada de reacciones de primer orden es:

$$Ln[A] = Ln[A]_0 - kt$$

La ecuación integrada de reacciones de segundo orden es:

$$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + kt$$

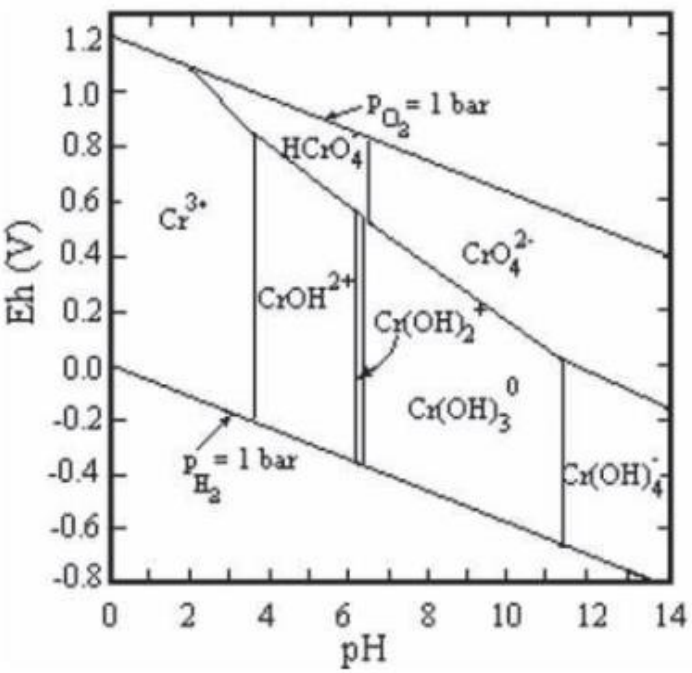
La cual tienes la misma forma que la ecuación de una recta en ambas ecuaciones integradas, que es: $y = mx + b$

Diagrama de Pourbaix

De acuerdo al diagrama de Pourbaix (Eh-pH) de las especies de cromo en solución acuosa, la especie de Cr^{+3} predomina a un pH menor a 4. En el intervalo de pH 4 a 6 el cromo tiende a formar hidróxidos y la especie que predomina es el $Cr\ (OH)^{+2}$, la cual es inestable. A pH de 6 a 6.5 se encuentra $Cr(OH)_2$ En el intervalo de un pH 6.5 a 11 predomina la especie $Cr(OH)_4$. (Mijaylova, Lopez, Cardoso , & Ramirez, 2005) .

Figura 9

Diagrama de Pourbaix para las especies de cromo en solución acuosa a 1 atm y 25 ºC.



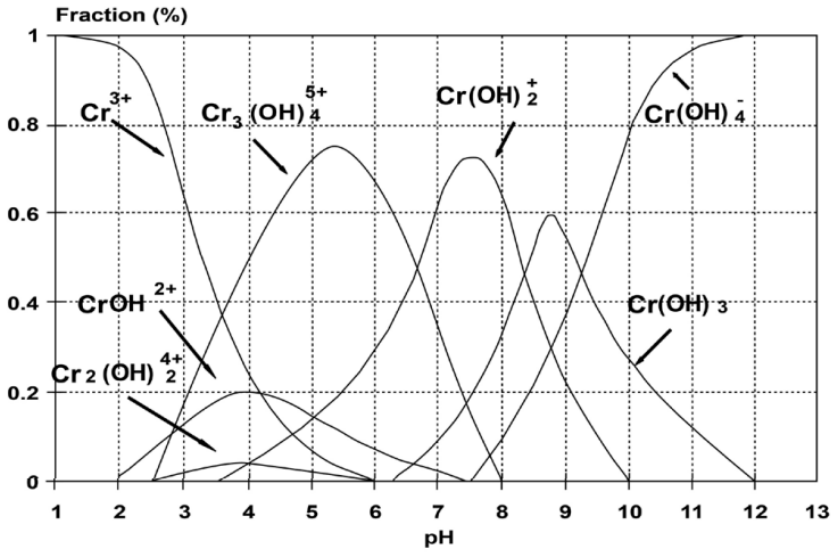
Nota. Fuente : (Mijaylova, Lopez, Cardoso , & Ramirez, 2005)

En la Figura 9 a se observa el cambio de pH debido a la producción de OH en el cátodo, esto hace que el pH incremente.

Diagrama de especiación del cromo

Figura 10

Diagrama de especiación del cromo



Nota. Fuente: (Gonçalves Dos Santos, y otros, 2012)

De acuerdo al diagrama de especiación de cromo (Figura 10), la especie de Cr^{+3} es más predominante a pH 1-2. A pH mayores de 6 el cromo tiende a precipitarse formando soluciones de hidróxidos de cromo. (Gonçalves Dos Santos, y otros, 2012)

Prueba de Normalidad

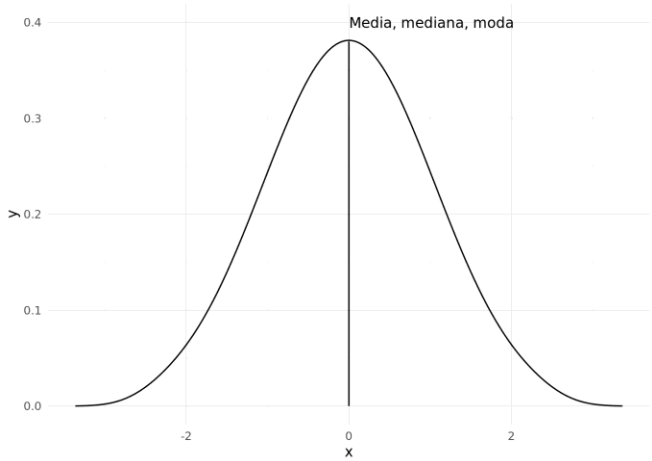
Sanchez (2023) afirma que las pruebas de normalidad son utilizadas para determinar si hay una distribución normal o no en un determinado conjunto de datos, este aspecto tiene mucha importancia porque la mayoría de los procedimientos estadísticos asumen que los datos siguen una distribución normal.

Para la toma de decisiones en los trabajos de investigación una de las distribuciones más utilizadas es la de distribución normal, ya que nos ayuda a utilizar los procedimientos estadísticos adecuados.

La distribución normal se describe por una curva en forma de campana principalmente. Dietrichson (2019) afirma que existen cierta hipótesis que debe de cumplir una distribución para afirmar que esta sea normal. Estas son: La distribución debe ser simétrica y tener una curva en forma de campana, la media, mediana y moda deben coincidir concordando con los autores Dietrichson (2019) y Sanchez (2023) y estas dos hipótesis se ilustran en la Figura 11.

Figura 11

Curva Normal



Nota. Fuente: (Dietrichson, 2019)

Como se dijo anteriormente para saber la distribución en un conjunto de datos es necesario realizar las pruebas de normalidad. A continuación, mencionare algunas de ellas.

1. Prueba de Kolmogorov-Smirnov.
2. Prueba de Anderson-Darling.
3. Prueba de Shapiro-Wilk.
4. Gráfico de caja.

La prueba de homogeneidad de varianzas de Bartlett

Se usa para probar que las varianzas son iguales para todas las muestras. Comprueba que la suposición de varianzas iguales sea cierta antes de ejecutar ciertas pruebas estadísticas como el ANOVA de una vía. Se usa cuando está bastante seguro de que sus datos provienen de una distribución normal (Benites, 2021).

Diagrama de Pareto

Clasifica en orden de importancia las variables de estudio que son en este caso: pH, la densidad de corriente y la interacción de ambos.

Análisis de varianza (ANOVA)

Es una herramienta estadística que se utiliza para determinar la significancia entre las variables así mismo permite analizar el efecto de ellas.

2.12. VALORES MAXIMOS ADMISIBLES

El Decreto Supremo N.º 021-2009-VIVIENDA denominado "Valores Máximos Admisibles de las Descargas de Aguas Residuales no Domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario" Establece las concentraciones máximas de los elementos, sustancias y parámetros fisicoquímicos de los efluentes no domésticos que se descargan a la red de aguas residuales, a fin de evitar daños en la edificación del sistema de aguas residuales, las infraestructuras sanitarias, la maquinaria y el equipo.

En la Tabla 2 se aprecian los valores de las concentraciones máximas para el sistema de alcantarillado.

Tabla 2

Valores máximos admisibles para descargas al sistema de alcantarillado.

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN-	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr^{+6}	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Níquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	mg/l	SO_4^{-2}	1000
Sulfuros	mg/l	S^{-2}	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	NH^{+4}	80
Potencial Hidrógeno	Unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables	ml/l/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

Nota. Fuente: (El Peruano, 2019)

2.13. LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES (LMP) DE EFLUENTES DE LA ACTIVIDAD DE CURTIEMBRE

El efluente generado por la actividad de curtiembre afecta de manera directa la calidad ambiental, motivo por el cual el gobierno de Perú ha implementado regulaciones para reducir los efectos negativos de actividades productivas. Estas normativas son el Decreto supremo No. 019-97-ITINCI denominado “Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades de la Industria Manufacturera” y el Decreto supremo N.º 010-2023-MINAM que lleva por título

“Límite Máximo Permisible de Efluentes de las Actividades del Curtido y Adobo de cuero, así como adobo y teñido de pieles”.

En la normativa peruana de la actividad del Curtido y adobo de cuero, así como adobo y teñido de pieles se encuentran parámetros de los LMP de efluentes ver Tabla 3, también se encuentran parámetros adiciones de monitoreo para efluentes de las actividades de Curtido y adobo de cuero, así como adobo y curtido de pieles en la Tabla 4.

Tabla 3

LMP para efluentes de las actividades de Curtido y adobo de cuero, así como adobo y teñido de pieles.

Parámetros	**Unidad de Medida**	**Valor máximo**
pH	Unidades de pH	6.0 - 9.0
Temperatura	(°C)	35
Sólidos Susp. Tot.	(mg/l)	30
Aceites y Grasas	(mg/l)	10
DBO5	(mg/l)	30
DQO	(mg/l)	50
Sulfuros	(mg/l)	0.5
Cromo VI	(mg/l)	0.1
Cromo Total	(mg/l)	0.5
N - NH4	(mg/l)	10

Nota. Fuente: (MINAM, 2023)

Tabla 4

Parámetros adiciones de monitoreo para efluentes de las actividades de Curtido y adobo de cuero, así como adobo y curtido de pieles.

Parámetros	Unidad de Medida
Coliformes Totales	NMP/100ml
Cloruros	mg/l
Fenoles	mg/l

Nota. Fuente: (MINAM, 2023)

Marco conceptual

pH: El pH es la medida de la intensidad ácida o básica de una solución, y se mide con los parámetros de la siguiente ecuación:

$$pH = -log[H^+] \tag{13}$$

es decir, representa la alcalinidad y acidez, la capacidad amortiguadora de un agua y la contribución de OH^-, CO_3^{-2} y HCO_3^- , pero normalmente la mayor parte se debe al sistema carbónico-carbonato.

Conductividad: La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir electricidad, indica la materia ionizable total presente en el agua. Las sales disueltas son las que permiten que el agua conduzca electricidad; la cantidad de sales solubles en el agua se mide por el electro conductividad.

Cromo total: Es el contenido de cromo en sus estados de oxidación III y VI.

Electrocoagulación: Consiste en suministrar corriente eléctrica a electrodos de diversos materiales.

Electrodos: Son superficies que tiene lugar las semirreacciones de oxidación y reducción.

Densidad de corriente: Cantidad de corriente por unidad de área a través de un conductor.

Efluente de curtiembre: El efluente final de curtiembre está compuesto de varios líquidos residuales provenientes de las distintas operaciones: remojo, pelambre, encalado, purga, desencalado, curtido, engrase, teñido y toda otra clase de líquidos de lavado; las operaciones de ribera alcanzan el 70% de la carga contaminante total, debido principalmente a la elevada contaminación orgánica por la presencia de proteínas solubilizadas y sus productos de degradación. La presencia de sulfuro en el pelambre y de cromo en la curtición generan toxicidad en las descargas, por lo que deben ser tratados (Esparza & Gamboa, 2001).

2.14. HIPÓTESIS

La aplicación del proceso de electrocoagulación en un reactor por lotes remueve de manera significativa la concentración de cromo en aguas residuales de la industria curtiembre, la cual depende de la densidad de corriente y el pH.

CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS

Esta investigación se llevó a cabo en la Escuela Profesional de Ingeniería Química Procesos, en el Laboratorio de Ingeniería de Control de Contaminación Ambiental, de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

3.1.ENFOQUE DE LA INVESTIGACION

Tipo: Aplicada

Enfoque: Cuantitativo

Alcance: Explicativo

3.2.LOCALIZACION GEOGRAFICA

La Asociación de Artesanos Peleteros de Sicuani (ASAPES) se encuentra ubicada en la Avenida La verdad en el distrito de Sicuani, provincia de Canchis, departamento del Cusco la ubicación ASAPES se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Ubicación de ASAPES

Fuente: (Google maps, 2023)

Coordenadas UTM : 19S 2598423

3.3.MUESTRA

La muestra estuvo constituida por el agua residual proveniente de la etapa de curtido al cromo de ASAPES.

3.4.MATERIALES, EQUIPOS, INSTRUMENTOS, Y REACTIVOS

Materiales para el proceso de electrocoagulación

- Cuba electrolítica con volumen de 2 L.
- Electrodos de Acero inoxidable
- Electrodos de Aluminio
- Cables conectores de pinzas

Equipos e instrumentos

- Fuente Poder
- Potenciómetro
- Conductímetro
- Cronometro
- Multímetro
- Termómetro
- Probeta
- Contenedor de muestra
- Vasos precipitados

Insumos y reactivos para el pre tratamiento

- Solución de Soda Caustica (NaOH) (1:1 diluido a 50 ml)
- Ácido Sulfhídrico (H_2SO_4) diluido (1:1 al 85 %)

El tipo de conexión usada para la remoción de cromo en el proceso de electrocoagulación para los ensayos experimentales fue Monopolar en paralelo.

VARIABLES Y PARAMETROS DE INVESTIGACIÓN

Variables independientes:

- pH
- Densidad de corriente (mA/cm^2)

Variable dependiente:

- Remoción de cromo en aguas residuales de la industria curtiembre Sicuani-Cusco (%)

Parámetros

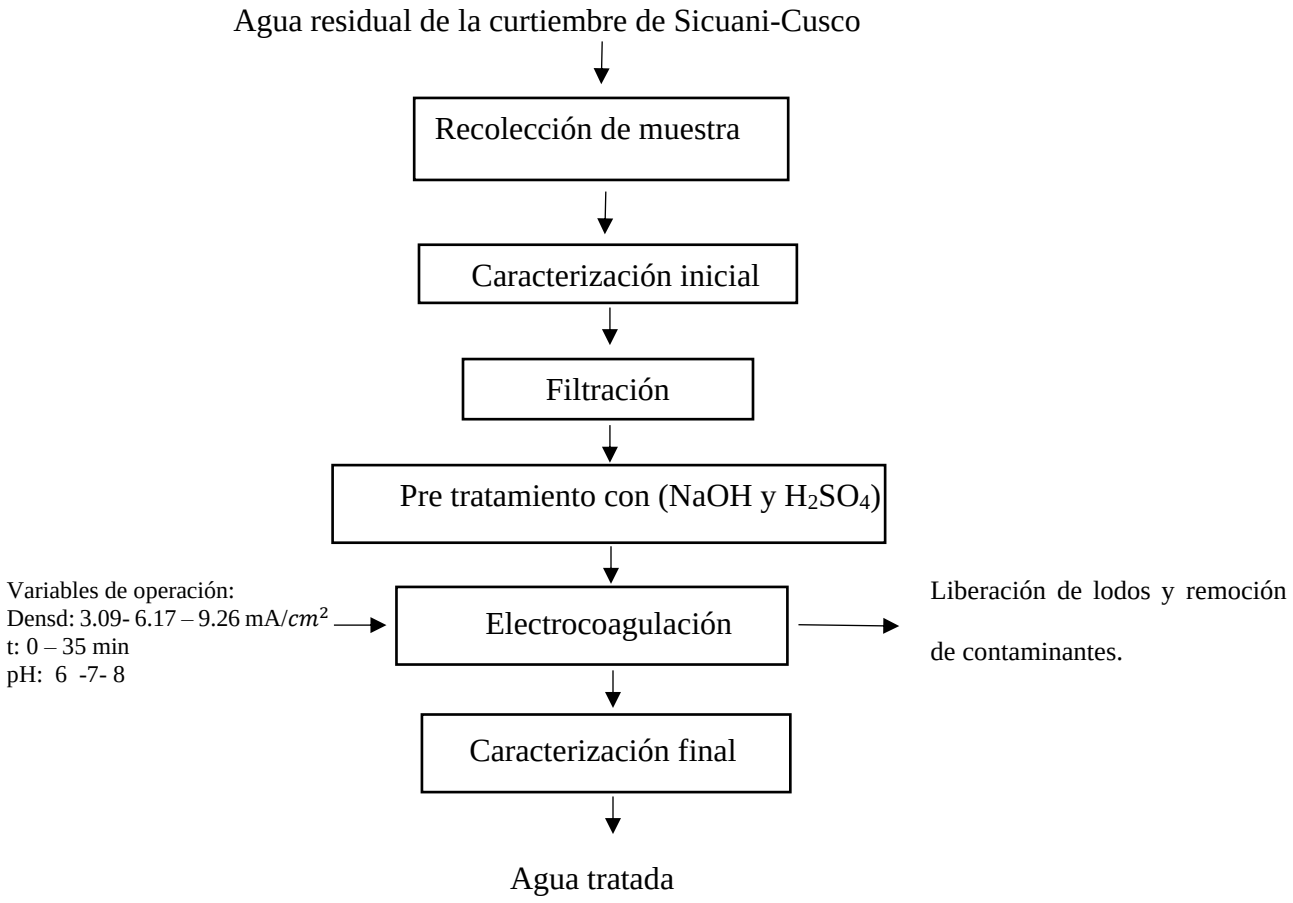
- Presión Atmosférica
- Temperatura Ambiente
- Concentración inicial de cromo (ppm)
- Volumen (litros)
- Distancia de Electrodos (cm)
- Área de Electrodos (cm^2)
- Numero de Electrodos
- Configuración de Electrodos

3.5.METODOS

En la Figura 13 muestra diagrama de operaciones que se utilizó para el tratamiento electroquímico del agua residual del proceso del curtido. Se realizo en cuatro etapas:

Figura 13

Procedimiento Experimental del tratamiento electroquímico del agua residual del proceso de curtido.



3.5.1. RECOLECCION DE LA MUESTRA

El agua residual del proceso de curtido se recolectó de los botales de la curtiembre ASAPES. Se tomo una muestra compuesta con un volumen de 20 litros. En la Figura 14 se observa características del efluente.

Figura 14

Muestra en ASAPES

3.5.2. CARACTERIZACIÓN FISICOQUIMICA DE LA MUESTRA

La caracterización se realizó tomando en cuenta los parámetros mencionados en la Tabla 5 y cada uno se determinó siguiendo los procedimientos estándares.

Tabla 5

Parámetros Fisicoquímicos y Método de Ensayo.

Parámetros Fisicoquímicos
pH
Turbiedad (NTU)
C.E (uS/CM)
Solidos Suspendidos Totales (ppm)
Aceites y grasas (ppm)
DQO (ppm)
Temperatura ^{0}C
Cromo Total (mg/L)

El volumen a tratar para cada ensayo experimental fue de 2 L de agua contaminada, que fue extraída del proceso de curtido de la curtiembre Sicuani-Cusco para los ensayos experimentales. En la Figura 15 se observa la muestra que fue analizada para conocer los parámetros fisicoquímicos de la muestra inicial.

Figura 15

Muestra enviada al laboratorio para el Análisis de los Parámetros Fisicoquímicos.

3.5.3. PROCESO DE ELECTROCUAGULACION

Preparación de aguas sintéticas de Cromo

Al obtener el resultado del análisis de la concentración de cromo en la muestra recolectada inicial por el laboratorio de control LABINVSERV, se procedió a preparar la muestra de agua sintética para los ensayos experimentales, con un volumen de 2 L con una concentración de 237.14 ppm a partir del sulfato de cromo ($Cr_2(SO_4)_3$).

$$Concentracion\ de\ Cr\ (ppm) = \frac{masa\ del\ soluto\ (mg)}{volumen\ de\ la\ solucion\ (lt)} \tag{13}$$

Con ayuda de la Ecuación 13 se obtuvo la cantidad de masa del soluto:

$$masa\ del\ soluto\ (mg) = ppm * \ volumen\ de\ la\ solucion\ (L) \quad (14)$$

$$masa\ del\ soluto\ (mg) = 237.14\ ppm * \ 2\ (L)$$

$$masa\ del\ soluto\ = 474.28\ mg\ = 0.4743\ g\ de\ cr.$$

La sal que se utilizo fue sulfato de cromo ($Cr_2(SO_4)_3$), se conoce que por peso molecular de 392.18 gramos de $Cr_2(SO_4)_3$ hay 103.99 gramos Cr, teniendo en cuenta esos pesos se calculó la cantidad de $Cr_2(SO_4)_3$ que se necesitara:

$$Cant\ de\ Cr_2(SO_4)_3\ requerida\ (g) = \frac{392.18 g\ Cr_2(SO_4)_3 * 0.4743\ gCr}{103.99\ g\ Cr} = 1.7887\ (g)$$

La concentración inicial de cromo fue 237.14 ppm, se utilizó 1.7887 g de $Cr_2(SO_4)_3$ por cada 2 L de agua, utilizados en la celda del proceso de electrocoagulación.

3.5.3.1. Montaje del sistema de electrocoagulación

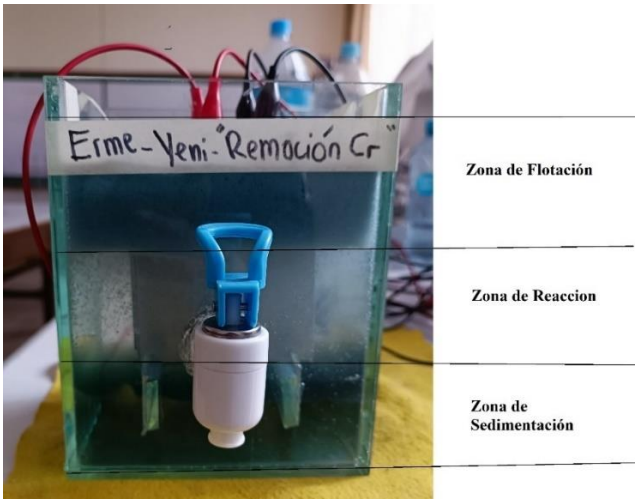
Para el armado del sistema de electrocoagulación se toma en cuenta lo siguiente:

Celda de electrocoagulación

El diseño de la celda es para un sistema por lotes. La celda se diseñó considerando una distribución volumétrica que contempla tres zonas, ver la Figura 16:

Figura 16

Celda de electrocoagulación con las 3 zonas.



En la Tabla 6 se muestra las dimensiones que se utilizó para formar la celda de electrocoagulación.

Tabla 6

Dimensiones de la celda de electrocoagulación.

Dimensiones de la celda de electrocoagulación	
Altura (cm)	18
Largo (cm)	14
Ancho (cm)	10

Distancia existente entre electrodos

Se estableció la distancia de 1 cm entre los electrodos debido a que a mayores distancias habría resistencia a la rápida formación de flóculos y a menores distancias hace que el proceso de remoción presente atascamiento por saturación de lodos sobre la superficie de todos los electrodos.

Material de los electrodos

Los electrodos se diseñaron como placas cuadradas de 9 cm x 9 cm debido a que su altura debe ser igual a la zona de reacción. Comercialmente estos metales se encuentran disponibles como láminas de 0.3 cm de espesor.

Número de electrodos

El número de electrodos se determinó en función del ancho de la celda, la distancia entre los electrodos de los extremos y las paredes de la celda (determinada con el fin de disponer los electrodos en la parte central de la celda), la distancia entre electrodos y el espesor de cada uno de ellos (Arango & Garcés, 2007), de acuerdo a la siguiente Ecuación 8:

$$N°electrodos = \frac{10\ cm - 2(2.5\ cm)}{(1\ cm + 0.3\ cm)} = 3.84 \approx 4$$

Electrocoagulación

Se preparo 2 L de muestra de agua sintética para cada ensayo experimental para el proceso de electrocoagulación, y se regulo el pH a cada muestra de agua sintética.

Se realizo el lijado y lavado de las placas que se utilizó en el proceso de electrocoagulación ver la Figura 17.

Figura 17

Lijado de las placas utilizadas en el proceso de electrocoagulación

Se realizo el montaje de la celda electrolítica para el proceso de electrocoagulación, se utilizó una celda o un reactor tipo batch, dos sujetadores para las placas, cuatro cables que conducen la electricidad (dos ellos fueron de carga positiva y los otros dos restantes fueron de carga negativa) y las placas que se utilizaron como ánodo (placas aluminio) y catado (placas acero), ver Figura 18.

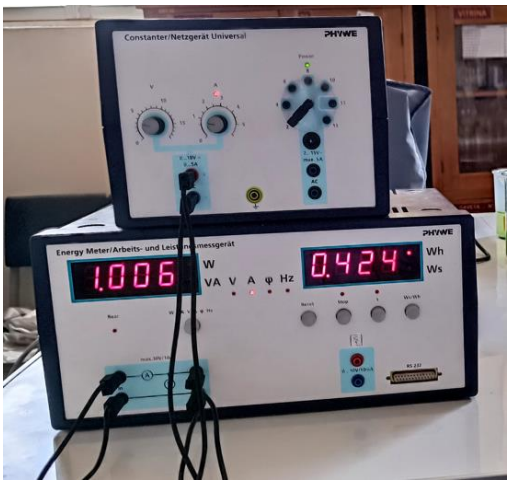
Figura 18

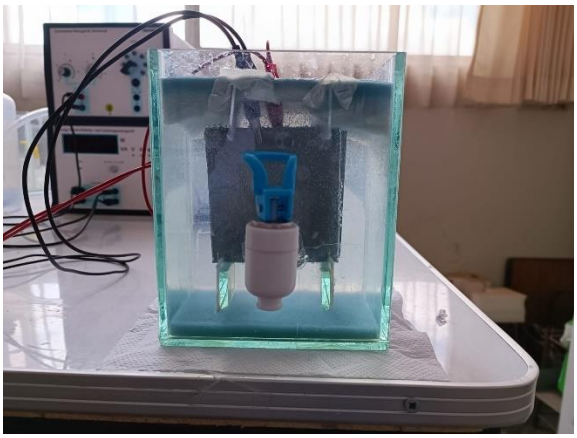
Sujetadores para las placas, cables y las placa.

La celda electrolítica ya construida fue conectada a la fuente poder para proceder a la electrocoagulación, en la Figura 19 se observa la fuente poder que se utilizó, tipo de conexión (monopolar-paralelo) de los cables a las placas (electrodos) y el sistema de electrocoagulación completo (conexión de la celda electrolítica a la fuente poder).

Figura 19

Fuente poder, Conexión de los cables a las placas (electrodos) y el sistema de electrocoagulación completo.





3.6.DISEÑO EXPERIMENTAL

Esta investigación fue de naturaleza experimental; se realizó haciendo todas las combinaciones de los factores con sus niveles y analizando los factores que intervienen en el proceso a fin de determinar sus efectos en la variable dependiente. Las variables se manipulan para encontrar el efecto que causa la variable independiente en la dependiente, es decir, como influye la densidad de corriente y pH en la remoción del cromo de los efluentes residuales de la industria curtiembre, Sicuani-Cusco.

El diseño experimental que se utilizó en el presente estudio es un diseño factorial completo y su arreglo factorial es:

$$N = 3^k \tag{15}$$

Donde:

N: Número de ensayos

K: Número de factores

3: Niveles

Por tanto, el número de ensayos es:

$$N = 3^2 = 9$$

Se realizaron tres replicas con la finalidad de calcular el error experimental entre las medidas de cada uno de los ensayos.

$$N° \, Ensayos = N° \, matriz \times N° \, replicas \tag{16}$$

$$N° \, Ensayos = 9 \times 3 = 27$$

En la Tabla 7 se muestra las variables y los niveles que se usaron en el proceso de electrocoagulación.

Tabla 7

Variables del proceso y niveles para el diseño experimental.

Variables del proceso	**Niveles**		
	(-1)	**(0)**	**(1)**
pH	6	7	8
Densidad de corriente (mA/cm^2)	3.09	6.17	9.26

Nota. Los valores de -1, 0, 1 representan los niveles inferior, neutro, superior de las variables independientes

La selección de los niveles de las variables independientes: pH, densidad de corriente y tiempo se basaron en los resultados de investigaciones, como la de Castro & Príncipe (2018) estudiaron la influencia del pH inicial en el proceso de EC para la remoción de metales pesados, los porcentajes de remoción aumentan a valores de pH entre 5 y 7. Citando a Lu, Li, Yin, Ma, & Lin (2015) cuando hay condiciones de pH iniciales bajas, los productos de la hidrolisis del Al^{3+} son hidróxidos de aluminio solubles, que no son capaces de absorber los contaminantes. De acuerdo con El-Naas, Moussa, Nasser, & Al-Marri (2017) el rendimiento máximo de la EC que emplea ánodos de aluminio esta alrededor del pH neutro. Por otro lado, el proceso de electrocoagulación se llevará a cabo utilizando tres niveles de intensidad de corriente. Estos niveles se determinaron de acuerdo a los estudios realizados por De La Cruz, Silva, & Inca (2017) en su investigación demostraron alto porcentaje de remoción al operar con una intensidad de corriente de 10-20 A. Por último, el tiempo se determinó de acuerdo a los autores De La Cruz, Silva, & Inca (2017) y Mayta & Mayta (2017) quienes determinaron que el tiempo de operación adecuado está en el rango de 25-45 min, a mayor tiempo de residencia se tiene mayor tiempo de contacto entre el ion de metal pesado y los flóculos siendo mayor las partículas contaminantes removidas, pero tiempos más prolongados incrementa el consumo de energía.

En Tabla 8 se muestra el plan experimental desarrollado para la remoción de cromo que se utilizó en la parte experimental del trabajo de investigación presente.

Tabla 8

Plan experimental para la remoción de Cromo.

Ensayo	Variables Independientes		Variable Dependiente
	X_1	X_2	Y
	pH	Densidad de corriente (mA/cm^2)	Remoción de cromo (%)
1	6	3.09	
2	6	6.17	
3	6	9.26	
4	7	6.17	
5	7	6.17	
6	7	6.17	
7	8	9.26	
8	8	9.26	
9	8	9.26	

Las pruebas se realizaron por triplicado, las concentraciones finales de cromo de todas las combinaciones de las variables disminuyeron y fueron confirmados por los resultados de análisis realizados en el laboratorio.

Se determinó la significancia de cada variable independiente sobre la variable dependiente, mediante el análisis de varianza (ANOVA) evaluando la significancia de los términos del modelo matemático. El nivel de significancia fue determinado a un valor de $P < 0{,}05$.

3.7.PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CROMO

El porcentaje de remoción se determinó a partir de la concentración inicial y final del parámetro. Luego del ensayo de electrocoagulación se toma el valor de la concentración final del cromo. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$n\ (\%) = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \qquad (17)$$

Donde:

n: porcentaje de remoción del parámetro

C_i: concentración inicial del parámetro

C_f: concentración final del parámetro

3.8.ANALISIS

3.8.1. Prueba de Normalidad

La prueba que se utilizó para este trabajo de investigación fue la Prueba de Shapiro-Wilks. Este test de Shapiro-Wilks plantea dos hipótesis: una hipótesis nula (Ho) y una hipótesis alterna (H1), en el test se elige un nivel de significancia del 95 % (Sanchez, 2023). Entonces tenemos:

H0: La distribución es normal < 0.05

H1: La distribución no es normal > 0.05

3.8.2. Análisis estadístico

Los datos fueron procesados estadísticamente utilizando el software STATGRAPHICS en donde se realizaron los siguientes análisis: análisis de varianza, diagrama de Pareto, gráficas de efectos principales, grafica de interacción y grafica de residuos, se utilizó tres niveles con dos

factores aplicando así el diseño factorial 3^2 con tres replicas, siendo un total de 27 datos experimentales.

Obtención de la muestra tratada

La muestra tratada fue recolectada de la zona de reacción ver Figura 16 para el análisis respectivo y así determinar los parámetros requeridos.

En la Figura 20 se realizó la toma de muestra del agua tratada y en la Figura 21 se midió el pH de las muestras tratadas después de la electrocoagulación para cada ensayo experimental.

Figura 20

Toma de muestra

Figura 21

Medición del pH

Las muestras finales tratadas se dividio en 2 etapas: la primera etapa se realizo con las variables experimentales para determinar la densidad de corriente y pH con mayor remocion de cromo.

En la segunda etapa se realizo la cinetica , con los parametros de operación de mayor remocion de cromo, las muestras se captaron en tiempos consecutivos.

Figura 22

Muestras Finales del Proceso de Electrocoagulación.

En la Figura 22 se observan las muestras finales del proceso de electrocoagulación, que fueron enviadas al Laboratorio HIDROLAB.

Figura 23

Muestras Finales de Cinética del proceso de electrocoagulación

En la Figura 23 se observan las muestras finales de Cinética del proceso de electrocoagulación, que fueron enviadas al Laboratorio HIDROLAB, se percibió la remoción de

cromo mientras transcurre el tiempo en la tonalidad de los colores, porque mientras el tiempo iba avanzando el color se tornaba más claro.

PARAMETROS DEL PROCESO

- Presión Atmosférica
- Temperatura Ambiente
- Concentración inicial de cromo de 237.14 ppm
- Volumen de 2 litros.
- Distancia de Electrodos de 1 cm.
- Área de Electrodos de 9 cm x 9 cm.
- Numero de Electrodos son 4.
- Configuración de Electrodos es monopolar.

3.9.MODELO CINETICO

Para determinar el orden de reacción se procesó y evaluó los datos de concentración-tiempo con el ajuste de curva mediante las ecuaciones integradas de la ley de la velocidad. Se realizo corridas experimentales para ordenes de reacción dos y uno, los parámetros del proceso fueron: la densidad de corriente de 9.26 mA/cm^2 y pH 8.

3.10. PROCESO DE ELECTROCUAGULACION EN AGUA REAL

El proceso de electrocoagulación se realizó siguiendo la Figura 13.

1. Se realizó la recolección de la muestra de agua residual de la curtiembre ASAPES de Sicuani-Cusco.
2. Se realizó la caracterización físico química de la muestra de agua residual de la curtiembre de ASAPES de Sicuani- Cusco.

3. Se procedió a filtrar para desechar las impurezas (pelos, tejido subcutáneo) de la muestra de agua residual de la curtiembre de ASAPES de Sicuani- Cusco
4. Se realizó un Pre tratamiento con (NaOH), para obtener el parámetro de pH requerido para el proceso de electrocoagulación.
5. Con los parámetros ya seleccionados de pH, densidad de corriente y tiempo se realizó el proceso de electrocoagulación.
6. Se realizó la toma de muestra de agua tratada, se midió el pH y se envió al laboratorio para el análisis de remoción de concentración de cromo, también se realizó la caracterización fisicoquímica.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL DE CURTIDO

La Tabla 9 muestra la caracterización fisicoquímica inicial del efluente residual de la curtiembre de Sicuani ASAPES, se compara con el Decreto supremo N° 010-2019-VIVIENDA que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) que corresponde para las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario y con la modificatoria del Decreto supremo No. 010-2023-MINAM que lleva por título "Límite Máximo Permisible de Efluentes de las Actividades del Curtido y Adobo de cuero, así como adobo y teñido de pieles". Así mismo esos valores dan referencia del grado de contaminación a tratar por el proceso de electrocoagulación.

Tabla 9

Resultados de la caracterización fisicoquímica del agua residual del proceso de curtido.

Parámetros	Unidad	Muestra Inicial	VMA	LMP
pH		3.75	6-9	6-9
Turbiedad	(NTU)	281.00		
C.E.	uS/cm	5980.00		
Solidos Susp. Totales	(ppm)	172.80	500	30
Aceites y Grasas	(ppm)	12.70	100	10
DQO	(ppm)	2240.00	1000	50
Cromo total	(ppm)	237.14	10	0.5
Temperatura	º C	13	35	35

Se observa que el cromo total y DQO se encuentran por encima de los parámetros de VMA, que admite 10 mg/L de cromo total y 1000 mg/L de DQO, excediéndose el cromo total en 2371.4% y 224% de DQO, mientras el valor del pH 3.75 resulto ser acido, temperatura, grasas y aceites se encuentran en valores inferiores a los VMA que son aceptados para las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Según Decreto Supremo N.º 010 -2019-VIVIENDA es el encargado de aprobar los parámetros para las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario de la normativa peruana, por otro lado se observa que cromo total, DQO y los sólidos suspendidos totales se encuentran por encima de los parámetros de LMP, que admiten 0.5 mg/L de cromo total, 50 mg/L de DQO y 30 mg/l solidos suspendidos totales, excediéndose el cromo total en 47428% y 4480% de DQO y 576% de solidos suspendidos totales, el valor del pH 3.75 resulto ser acido, también se observa que la, temperatura, grasas y aceites se encuentran en valores inferiores a los modificatoria que aprueban los LMP para efluentes de actividades del curtido y adobo cusco, así como adobo y teñido de pieles, establecido en el Decreto supremo N° 010-2023 MINAM según la normativa peruana.

El valor de la concentración de cromo total obtenida fue 237.14 ppm, resultado diferente pero más cercano a los estudios de Laura & Salinas (2020) que obtuvo la concentración de cromo de 415 ppm, pero Diego Perez & Mas Martínez (2019) trabajo con 1500 ppm de concentración de cromo un valor muy similar al estudio que hizo Mayta y Mayta (2017) con 1586 ppm de concentración de cromo, la diferencia de las concentraciones en los estudios es por la cantidad de materia prima que se requiere curtir.

El valor del parámetro de DQO obtenida fue 2240 ppm, resultado diferente al estudio de Mayta y Mayta (2017) 1132 ppm, según Miller et al. (1999), el rango para este parámetro esta aproximadamente entre 1000 a 2000 mg/L. Otras similitudes encontramos en las investigaciones

de García y Rodríguez (2017) y Serrano (2017), con valores altísimos de 8268 y 6916 mg/L respectivamente, al encontrarse fuera del rango se asevera que las aguas residuales utilizadas pertenecen al proceso de recurtido el cual lleva alta concentración de anilinas recurtientes y colorantes para teñir la piel (Laura & Salinas, 2020).

De igual manera, la caracterización fisicoquímica inicial de la muestra de agua termina siendo alarmante, justamente por los valores de cromo total y DQO que exceden los VMA y LMP, el objetivo del trabajo presente es la remoción de la concentración cromo total mediante el proceso de electrocoagulación.

4.2.PROCESO DE REMOCION DE CROMO EN AGUA SINTETICA

A partir de la concentración inicial del agua residual de la curtiembre de Sicuani ASAPES se procedió a aplicar el tratamiento por electrocoagulación.

Proceso de remoción de cromo en agua sintética en función del pH

La concentración inicial de Cr fue 237.14 ppm en todos los ensayos experimentales, en la Tabla 10 se muestra los resultados finales obtenidos de la concentración de cromo y su promedio según el plan experimental, obtenidos mediante el proceso de electrocoagulación con densidad de corriente de 3.09 mA/cm^2, 6.17 mA/cm^2 y 9.26 mA/cm^2, pH 6, 7 y 8.

Tabla 10

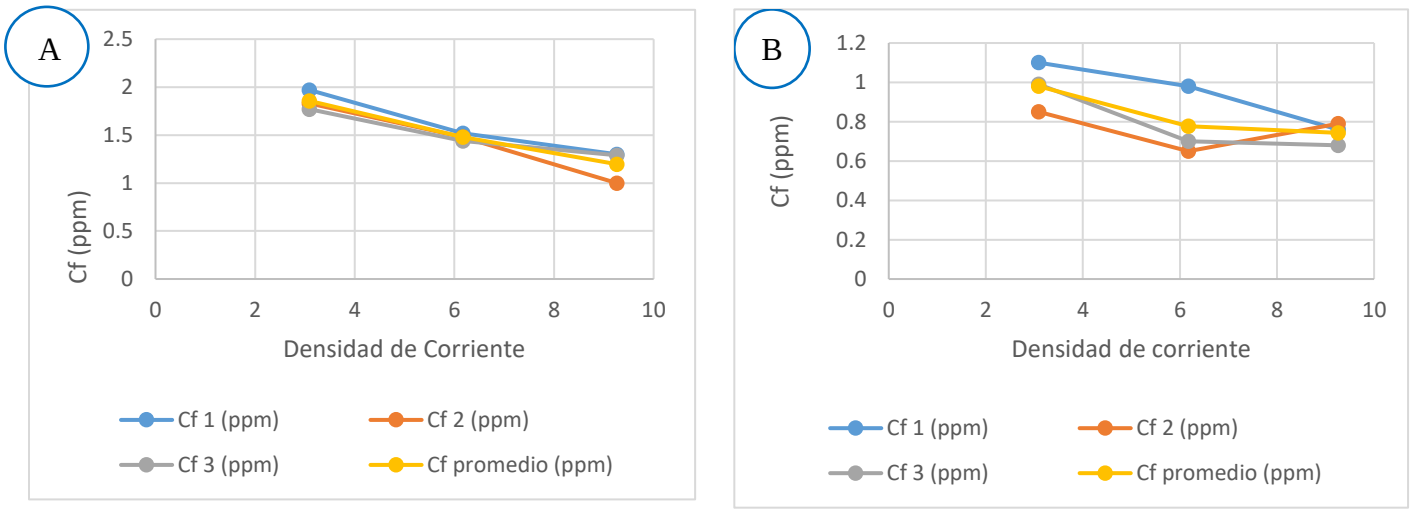
Resultados finales de la concentración de Remoción de cromo y su promedio.

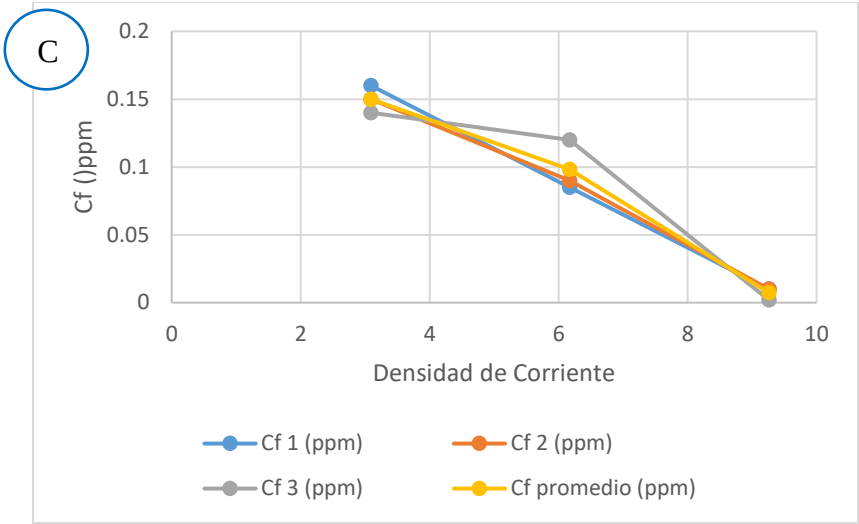
	Densidad de corriente (mA/cm^2)	Cf 1 (ppm)	Cf 2 (ppm)	Cf 3 (ppm)	Cf promedio (ppm)
pH 6	3.09	1.97	1.83	1.77	1.86
	6.17	1.52	1.48	1.44	1.48
	9.26	1.3	1	1.29	1.20
pH 7	3.09	1.1	0.85	0.99	0.98
	6.17	0.98	0.65	0.7	0.78
	9.26	0.76	0.79	0.68	0.74
pH 8	3.09	0.16	0.15	0.14	0.15
	6.17	0.085	0.09	0.12	0.10
	9.26	0.01	0.01	0.002	0.01

Nota. *Cf 1 (ppm)concentración final de 1ra corrida experimental, Cf 2 (ppm)concentración final de 2da corrida experimental, Cf 3 (ppm)concentración final de 3ra corrida experimental, Cf promedio (ppm) de las 3 corridas experimentales.*

Figura 24

Concentración de cromo VS densidad de Corriente





En las Figuras 24 A, B, C se observan las grafías de concentración vs la densidad de corriente a distintos pH, sea el caso en la Figura 24 A se trabajó a pH 6, Figura 24 B se trabajó a pH 7, Figura 24 C se trabajó a pH 8. Observando que, en los casos, Figura 24 A y C a pH 6 y 8 respectivamente, la mayor remoción de cromo total fue a una densidad de 9.26 mA/cm^2, en cambio en la Figura 24 B con pH 7 la mayor remoción de cromo se observó a densidad de corriente 6.17 mA/cm^2. Para concluir los valores de mayor remoción de cromo total se dio a un pH 8 y densidad de corriente 9.26 mA/cm^2.

4.3.PORCENTAJE DE REMOCION DE CROMO EN AGUA SINTETICA

Porcentaje de remoción de cromo

La concentración inicial de cromo fue 237.14 ppm, en la Tabla 11 se muestra los resultados obtenidos de cada uno ensayo experimental en % de remoción de cromo total. El cálculo del porcentaje de la remoción de cromo se realizó con la Ecuación 17. Los resultados del análisis de laboratorio se muestran en los apéndices.

Tabla 11

Porcentaje de remocion de de cromo.

	Densidad de corriente (mA/cm^2**)**	**% de Cf 1**	**% de Cf 2**	**% de Cf 3**
	3.09	99.17	99.23	99.25
pH 6	6.17	99.36	99.38	99.39
	9.26	99.45	99.58	99.46
	3.09	99.54	99.64	99.58
pH 7	6.17	99.59	99.73	99.70
	9.26	99.68	99.67	99.71
	3.09	99.93	99.94	99.94
pH 8	6.17	99.96	99.96	99.95
	9.26	99.996	99.996	99.996

Nota. *% de Cf 1 (ppm) concentración final de 1ra corrida experimental, % de Cf 2 (ppm) concentración final de 2da corrida experimental, % de Cf 3 (ppm)concentración final de 3ra corrida experimental.*

En la Tabla 11, la remoción de cromo se procesó con los resultados obtenidos de la electrocoagulación con las siguientes variables densidad de corriente de corriente de 3.09 mA/cm^2, 6.17 mA/cm^2, 9.26 mA/cm^2, pH 6, 7, 8. Donde se observa que el porcentaje de

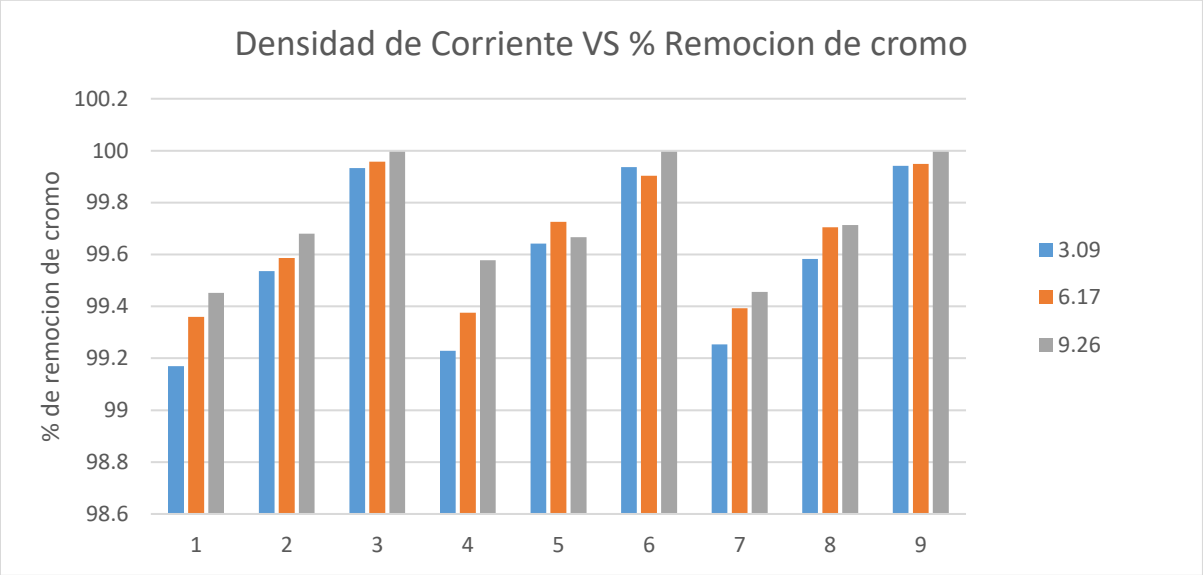
remoción en todos los casos superan al 99% teniendo una remoción casi total de cromo en las aguas.

INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE EN EL PORCENTAJE DE REMOCION DE CROMO

Arango Ruiz (2005) indica que la densidad de corriente suministrada al sistema de electrocoagulación determina la cantidad de iones de aluminio Al^{+3} liberados por los respectivos electrodos. Debemos tener en cuenta que, al usar densidad corriente demasiado grande, se genera energía calorífica aumentando la temperatura del agua. Por otro lado, también indica que cuando la densidad de corriente sea demasiado grande produciría una disminución significativa en la eficacia de la remoción de cromo.

Figura 25

Densidad de Corriente VS Porcentaje de Remoción de Cromo.



En la Figura 25 se observa que cuanto mayor es la densidad de corriente mayor es la remoción de cromo siendo el parámetro que nos ayuda a logar la mayor remoción de cromo total

al trabajar con una densidad de corriente de 9.26 mA/cm^2, distribuido en sus 2 electrodos de Al y 2 electrodos de acero inoxidable, resultando la remoción de cromo de 99.99%.

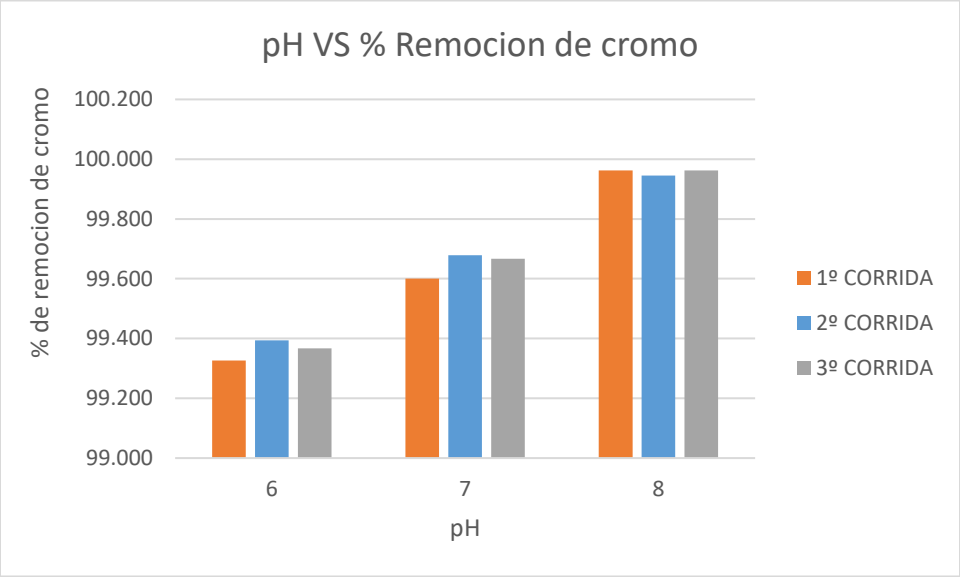
INFLUENCIA DEL PH EN EL PORCENTAJE DE REMOCION DE CROMO

La Figura 26 muestra la influencia del pH en la remoción de cromo total donde se observa que a pH 8 la remoción de cromo es superior a 99.99%, esto se debe a que a pH superiores a 6.5 el cromo precipita como $Cr(OH)_3$ sosteniendo este argumento en la Figura 9 y Arango R. A. (2005) afirma que a pH cercanos de 7 se observa la mejor remoción de cromo.

Diego Perez & Mas Martinez, (2019) investigo y trabajo con pH: 4, 6, 8. Demostró que a pH 8 es posible alcanzar el 99.17% de remoción de cromo al igual que en el presente trabajo de investigación, donde trabajamos con pH: 6, 7, 8 y se demostró de igual manera que a pH 8 encontramos el mayor porcentaje de remoción de cromo.

Figura 26

pH VS Porcentaje de Remoción de Cromo.



De acuerdo al diagrama de pourbaix a partir de pH 6 la remoción de cromo mejora significativamente. Debido a que las especies monoméricas catiónicas $Al(OH)^{2+}$ y $Al(OH)_2^{+}$ dominan los productos de las reacciones de hidrolisis del Al^{3+} y el OH^{-} generados por los electrodos reaccionan para formar varias especies de hidróxido de aluminio monoméricas y poliméricas como $Al(OH)^{2+}$, $Al_2(OH)_2^{4+}$, $Al_7(OH)_{17}^{4+}$ y $Al_{13}(OH)_{34}^{5+}$, estas especies se someten a una polimerización compleja y se transforman parcialmente en hidróxidos de aluminio amorfo insolubles, que presentan grupos hidroxilo en la superficie para adsorber iones de metales pesados (El-Naas, Moussa, Nasser, & Al-Marri, 2017). Además del efecto de adsorción de los flóculos existe una precipitación de $Cr(OH)_3$ en condiciones de pH alcalino por lo tanto el rendimiento máximo de la electrocoagulación que utiliza electrodos de aluminio como ánodo es entre pH 6 a 8. Cuando existe condiciones de pH inicial baja los productos del hidrolisis del Al^{3+} son hidróxidos de aluminio solubles que no son capaces de absorber los contaminantes.

VARIACION DEL PH DESPUES DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACION

El efecto de la intensidad de corriente sobre los electrodos, en especial sobre el ánodo de sacrificio, se produce el fenómeno de la electroquímica donde se liberan los iones Al^{+3}y forme el $Al(OH)_3$, para el caso del agua se produce la reducción formándose el gas H_2 y a la vez se libera dentro la solución el ion $(OH)^{-}$ conforme pase el tiempo la muestra tiende a la alcalinidad.

El pH durante el proceso puede incrementarse para aguas residuales ácidas, efecto atribuido a la generación de hidrógeno molecular que se origina en el cátodo. En contraposición, en aguas residuales alcalinas el pH puede decrecer, dependiendo de la naturaleza del contaminante, el pH influye sobre la eficiencia del proceso (Restrepo, Arango, & Garcés, 2006).

Se ha determinado en algunos casos que la mayor eficiencia en la remoción de un contaminante se da dentro de un rango específico de pH.

4.4.PRUEBA DE NORMALIDAD

Se realizó la prueba de normalidad en el software STATGRAPHICS para ellos se utilizaron los residuos de los datos, porque son la diferencia de los valores reales y valores patrones, estos se usan para calcular el error de ecuación de regresión.

Tabla 12

Prueba de Normalidad para Residuos

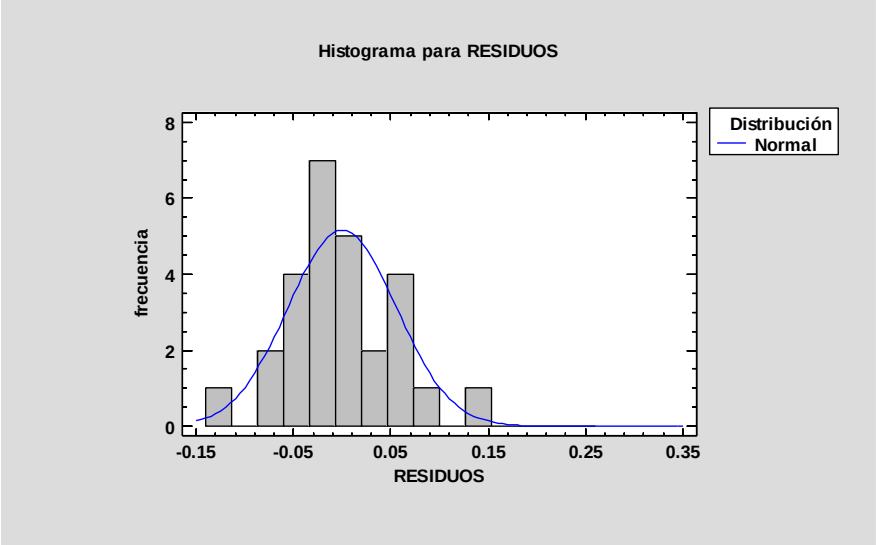
Prueba	Estadístico	***Valor-P***
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.970144	0.605619

Nota. Fuente: (Dietrichson, 2019)

En la Tabla 12 se observa que el valor-P es mayor a 0.05, no se puede rechazar la idea de que los RESIDUOS proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Figura 27

Histograma para Residuos



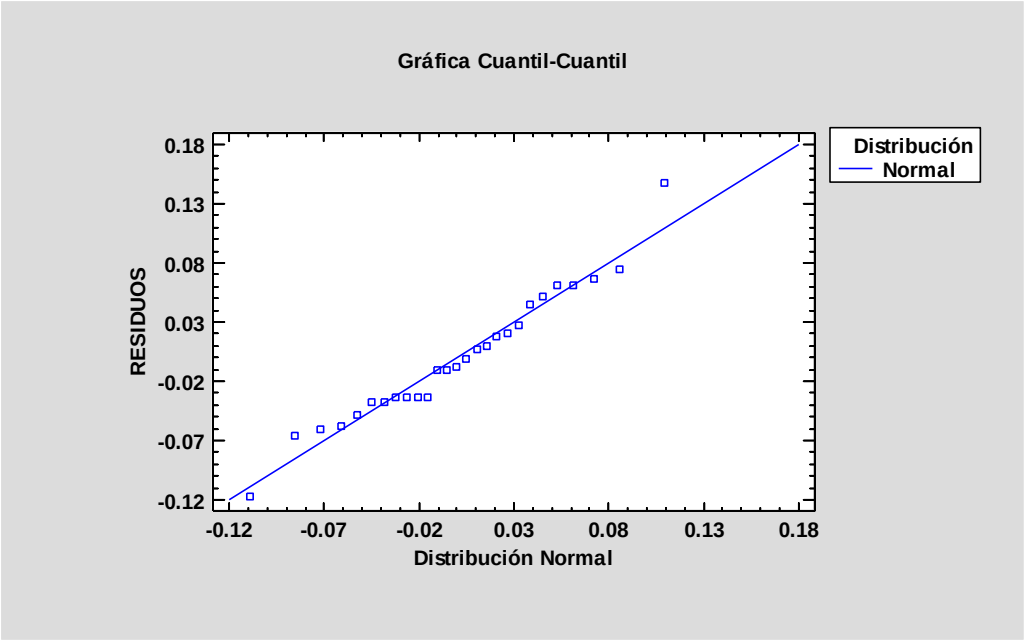
En la Figura 27 se observa que la distribución del histograma es de forma simétrica y la curva tiene una forma de campana y estas dos características de igual manera indican que los datos tienen una distribución normal.

Dependiendo de cómo se observe los gráficos cuantil-cuantil indican que tipo de distribución tiene un conjunto determinado de datos, ya que puede ser una distribución normal o no.

En este trabajo de investigación en la Figura 28 se observa que la interacción de los datos se alinea de forma diagonal, entonces nos indica que tenemos una distribución normal.

Figura 28

Grafica Cuantil-Cuantil



Uno de los valores que tenemos de más interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es a 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

La Tabla 13 también muestra una comparación en relación a las variables para cada par de muestras.

Tabla 13

Prueba de Bartlett

	Prueba	***Valor-P***
de Bartlett	1.73889	0.419184

Comparación	***Sigma1***	***Sigma2***	***F-Ratio***	***P-Valor***
6 / 7	0.0725974	0.0514602	1.99022	0.3500
6 / 8	0.0725974	0.0464678	2.44083	0.2284
7 / 8	0.0514602	0.0464678	1.22642	0.7798

4.5.ANALISIS ESTADISTICO

De acuerdo a los 27 datos experimentales, en la Tabla 14 se representa los efectos estimados de la remoción de cromo.

Tabla 14

Efectos estimados de la Remoción de Cromo

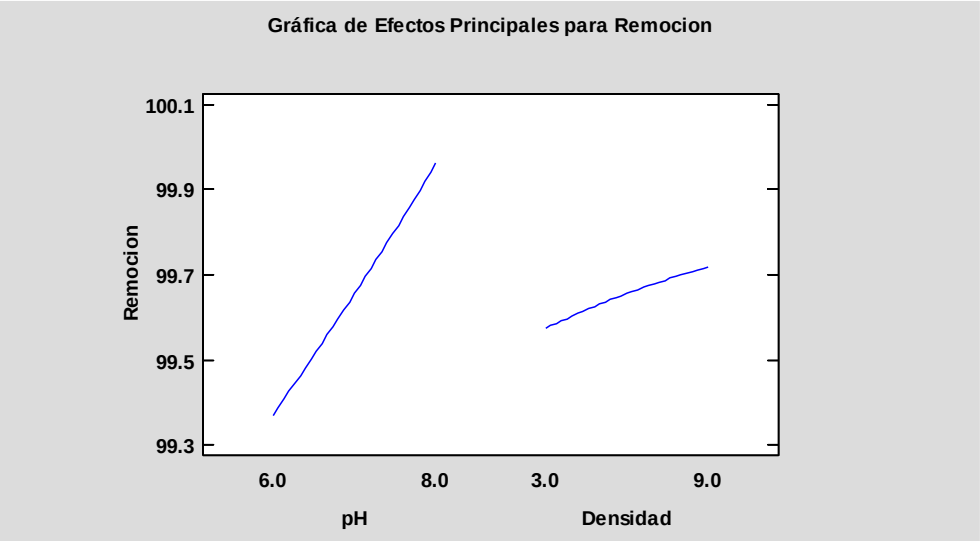
Efecto	**Estimado**	**Error Estd.**	**V.I.F**
Promedio	99.6556	0.0178859	
A: pH	0.591111	0.019593	1.0
B: Densidad	0.144444	0.019593	1.0
AA	0.02	0.0339361	1.0

AB	-0.113333	0.0239964	1.0
BB	-0.02	0.0339361	1.0
Bloque	0.0355556	0.022624	1.33333
Bloque	0.0155556	0.022624	1.33333

De la Tabla 14 se aprecia que el pH tiene un efecto positivo; por lo tanto, al aumentar el pH de 6 a 8 la remoción de cromo se incrementa en promedio de 0.59%, para el caso de la densidad de corriente el efecto de igual manera es positivo ya que se presenta un incremento de 3.09 a 9.26 mA/cm ^{2} la remoción de cromo se incrementa 0.14%. Los efectos principales se reflejan en Figura 29.

Figura 29

Efectos principales para la Remoción de Cromo



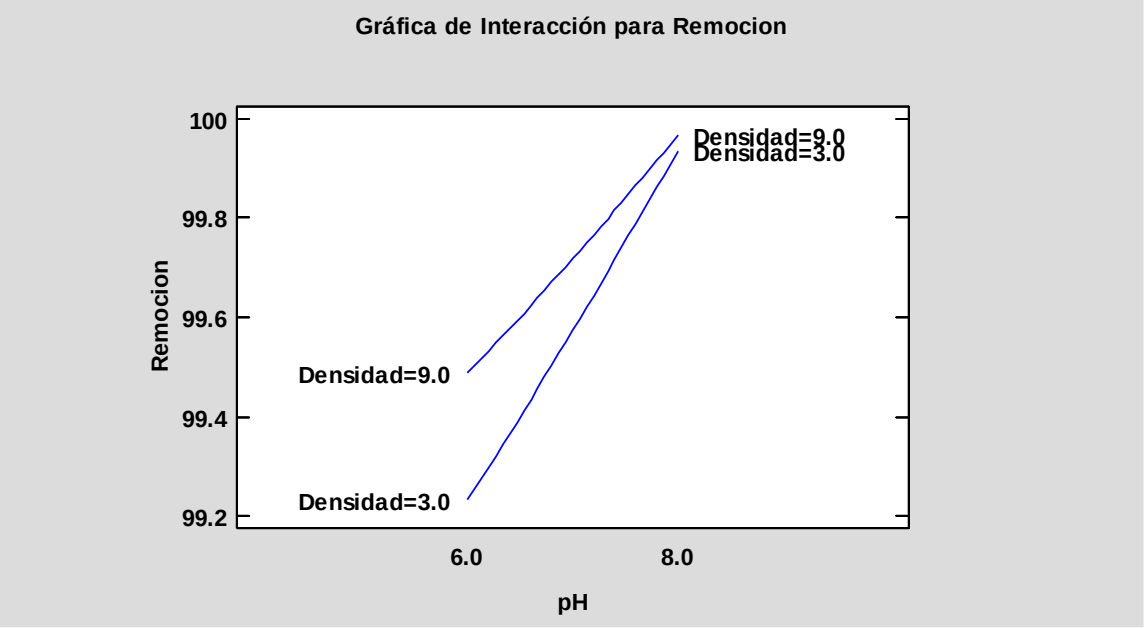
De la misma manera en la Figura N.º 29 nos indica que las dos variables influyentes en la remoción de cromo durante el proceso electrocoagulación son el pH y la densidad de corriente, entonces se afirmar que son directamente proporcionales, porque al aumentar el pH y la densidad

de corriente se incrementa la remoción de cromo. Por ende, estas dos variables influyen en la formación de los flóculos de cromo.

La Figura 30 muestra que existen efectos de interacción para la remoción de cromo, indicando que la interacción de mayor pH y mayor densidad de corriente la remoción de cromo será mayor, en cambio si la interacción de menor pH y menor densidad de corriente la remoción de cromo será menor, afirmando que el pH y densidad de corriente son directamente proporcionales para la remoción de cromo en el proceso de electrocoagulación.

Figura 30

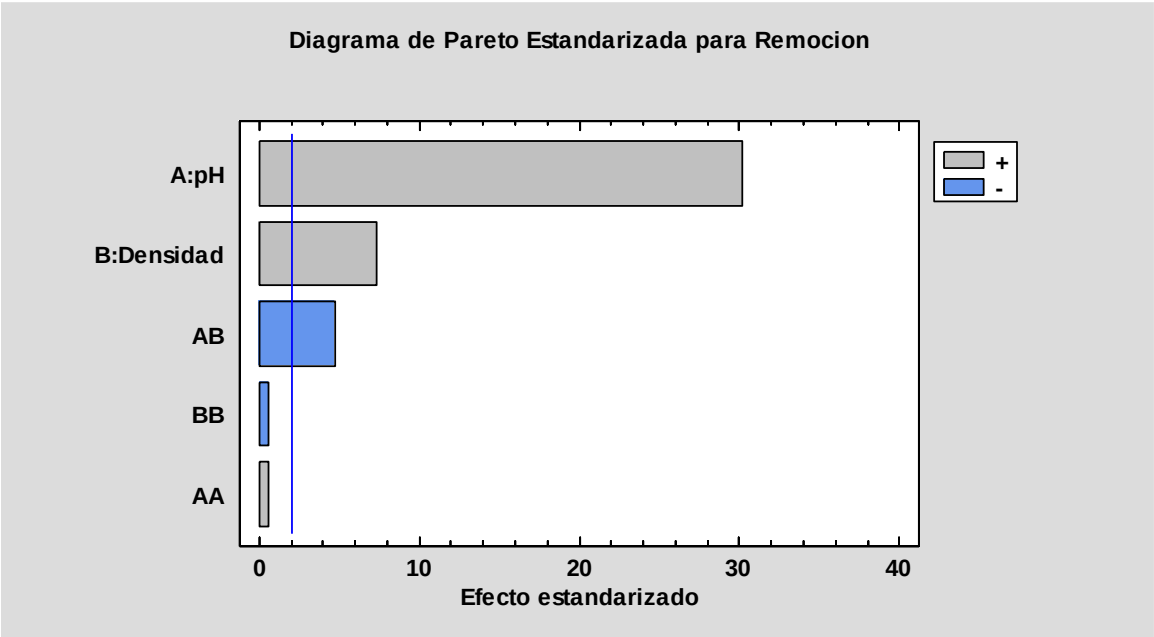
Efectos interacción para la Remoción de Cromo



En la Figura 31 el diagrama de Pareto estandarizado para la remoción de cromo indica la importancia que como influyen las variables en la remoción de cromo durante el proceso de electrocoagulación. Así mismo indica que el pH, la densidad corriente y la interacción de ambas variables son estadísticamente significativas. En cambio, las interacciones cuadráticas de ellos no son estadísticamente significativos para proceso de la electrocoagulación.

Figura 31

Diagrama de Pareto para la Remoción



Según el diagrama de Pareto indica que el pH y la densidad de corriente son directamente proporcional con la variable de respuesta (remoción de cromo). En cambio, con la interacción de ambas variables indica que es indirectamente proporcional a la variable de respuesta (remoción de cromo).

Por ende, los valores que sobrepasen la línea vertical se consideraran valores significativos para el proceso de electrocoagulación y los que no pasan son no significativos.

Laura & Salinas (2020) afirma, que el voltaje, que es parte de la densidad de corriente es una variable muy significante para el proceso de electrocoagulación para la remoción de cromo y comparando con nuestro trabajo de investigación concordamos en esa afirmación.

ANALISIS DE VARIANZA

Se realiza el análisis de varianza para determinar la significancia de las variables independientes. Para realizar el análisis de varianza se consideró 3 puntos:

1. La Remoción de cromo como nuestra variable de respuesta.
2. El número de factores controlados que son: pH y densidad de corriente.
3. El número de niveles de factores que son: 3.

Tabla 15

Análisis de varianza para la remoción

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: pH	1.57236	1	1.57236	910.20	0.0000
B: Densidad	0.0938889	1	0.0938889	54.35	0.0000
AA	0.0006	1	0.0006	0.35	0.5626
AB	0.0385333	1	0.0385333	22.31	0.0001
BB	0.0006	1	0.0006	0.35	0.5626
Bloques	0.00926667	2	0.00463333	2.68	0.0942
Error total	0.0328222	19	0.00172749		
Total (corr.)	1.74807	26			

Según la Tabla 15 del análisis de varianza, determinó a las variables con mayor significancia que son pH, densidad de corriente y la interacción de pH*densidad de corriente, ya que el valor P es menor a 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero obteniendo así el 95% de confianza.

Modelo matemático del proceso de remoción

El modelo matemático del proceso de remoción de cromo se determina en función de las variables de estudio, la Tabla 16 muestra los coeficientes de regresión para la remoción de cromo.

Tabla 16

Coeficientes de regresión para la remoción de cromo

Coeficiente	***Estimado***
Constante	*97.0989*
A: pH	*0.268889*
B: Densidad	*0.16963*
AA	*0.01*
AB	*-0.0188889*
BB	*-0.00111111*

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos experimentales es el siguiente:

Remoción de cromo = 97.0989 + 0.268889*pH + 0.16963*Densidad + 0.01* pH^2 - 0.0188889*pH*Densidad - 0.00111111*$Densidad^2$.

Las variables están en sus unidades originales.

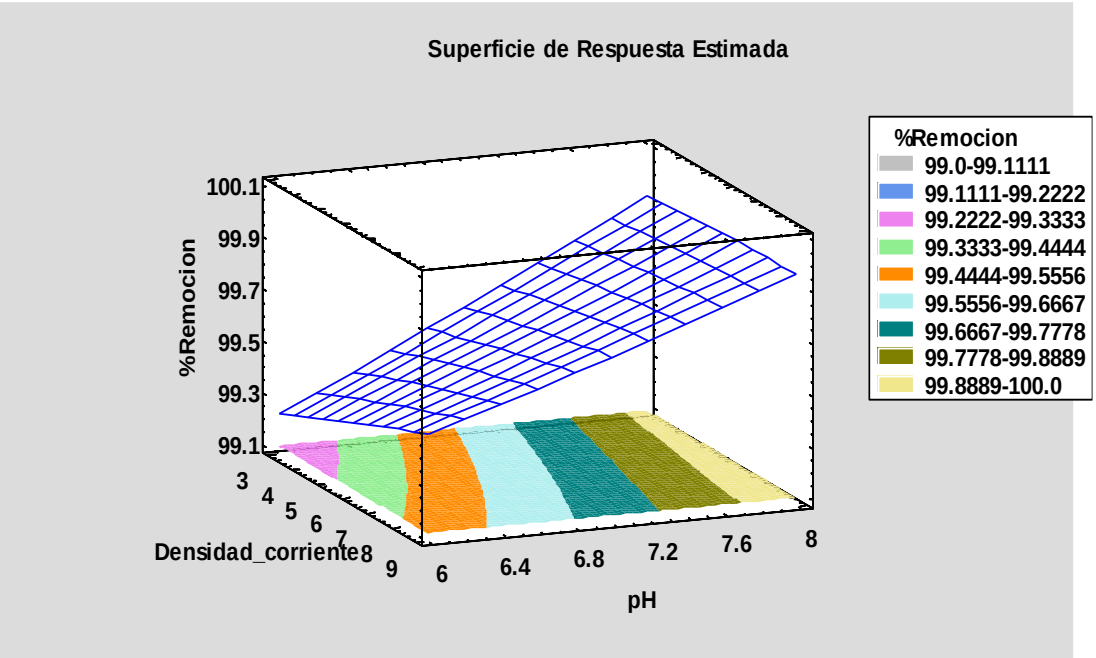
El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo matemático, ajustado explica 98.04% de la variabilidad en Remoción de cromo. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 97.32%.

Superficie de respuesta

El gráfico de superficie de respuesta mantiene la variable de respuesta (remoción de cromo) que fue plateada con los factores pH (6, 7 y 8) y densidad de corriente (3.09, 6.17 y 9.26) mA/cm^2.

Figura 32

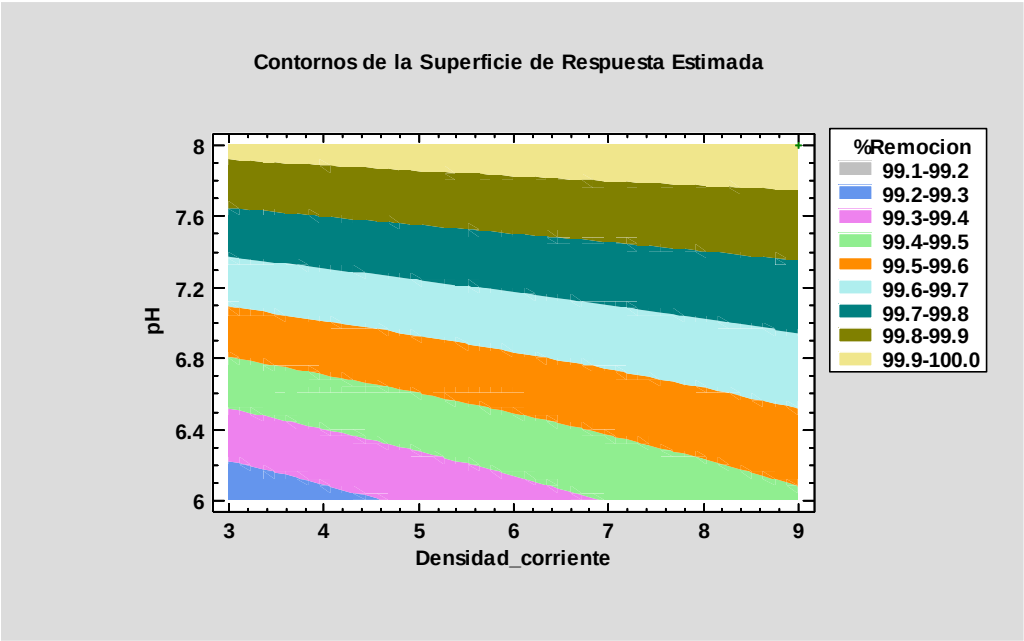
Grafica de Superficie de Respuestas



La Figura 32 se observa la superficie de respuesta estimada para la remoción de cromo, mostrando en todos los casos remociones de cromo mayores al 99 %, de donde se puede concluir que la menor remoción de cromo en la Figura 32 está ubicada en la parte superior izquierda siendo la región sombreada de color gris no visible siendo la remoción de cromo de 99.0 a 99.11 % teniendo un pH de 6 y una densidad de corriente de 3.09 mA/cm^2; por otro, lado se observa mayor remoción de cromo en parte inferior derecha siendo la región sombreada de color verde y amarillo ,la remoción de cromo de 99.77 a 100% teniendo un pH de 8 y una densidad de corriente de 9,26 mA/cm^2 reafirmando así que tanto el pH como la densidad de corriente son directamente proporcionales, por ende al aumentar el valor en ambas variables estás aumentan la remoción de cromo.

Figura 33

Grafica de Contornos de la superficie de respuesta estimada



La Figura 33 muestra un gama de colores variados, el cual nos ayudara a la fácil interpretación de la variable respuesta (remoción de cromo) en función de las variables, al igual que la Figura 33 se afirma que en todos los casos la remoción de cromo son mayores del 99%, la región de color gris que no es visible pero que está ubicada en la parte inferior izquierda representa la remoción de cromo entre 99.1 a 99.2 % a un pH de 6 y la densidad de corriente de 3.07, finalmente en la región de color amarillo que es visible en la figura tiene un remoción entre 99.9 a 100% siendo la mayor remoción a un a un pH de 8 y la densidad de corriente de 9.26

mA/cm^2.

Los resultados procesados estadísticamente tienen bastante similitud con los resultados obtenidos experimental en el proceso de electrocoagulación del trabajo de investigación, teniendo en cuenta que el diseño factorial seleccionado fue el adecuado para cumplir con los objetivos de nuestro trabajo de investigación.

En el trabajo de investigación de Diego Perez & Mas Martinez (2019) concluye que en el proceso de electrocoagulación las variables influyentes para la remoción de cromo son el pH y la densidad de corriente, su estudio demostró que aun pH 8 y densidad de corriente 28.51 mA/cm^2 se alcanza una remoción de cromo de 99.17 % siendo sus variables de mayor valor, así siendo semejante con el presente trabajo, porque a pH 8 se observó la mayor remoción de cromo.

ANALISIS DE VARIANZA CON LOS VALORES SIGNIFICATIVOS

Se realiza el análisis de varianza con los valores más significativos de acuerdo al diagrama de Pareto en la Figura 31. Para realizar el análisis de varianza se consideró 3 puntos:

1. La Remoción de cromo como nuestra variable de respuesta.
2. El número de factores controlados que son: pH y densidad de corriente.
3. El número de niveles de factores que son: 3.

Tabla 17
Análisis de varianza para la remoción con valores significativos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: pH	1.59014	1	1.59014	940.87	0.0000
B: Densidad	0.0953389	1	0.0953389	56.41	0.0000
AB	0.0374083	1	0.0374083	22.13	0.0001
Bloques	0.00960741	2	0.0048037	2.84	0.0808
Error total	0.0354917	21	0.00169008		
Total (corr.)	1.76799	26			

Según la Tabla 17 del análisis de varianza con los valores significativos, solo se realizó con el pH, densidad de corriente y la interacción de pH*densidad de corriente, ya que el valor P es menor a 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero obteniendo así el 95% de confianza.

Modelo matemático del proceso de remoción

El modelo matemático del proceso de remoción de cromo se determinó en función de las variables de estudio, la Tabla 18 muestra los coeficientes de regresión para la remoción de cromo con los valores más significativos.

Tabla 18
Coeficientes de regresión para la remoción de cromo con valores significativos

Coeficiente	***Estimado***
Constante	*96.643*
A: pH	*0.40889*
B: Densidad	*0.154537*
AB	*-0.0186111*

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos experimentales es el siguiente:

Remoción de cromo = 96.643 + 0.408889*pH + 0.154537*Densidad – 0.0186111*pH*Densidad

Las variables están en sus unidades originales.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo matemático, ajustado explica 97.99% de la variabilidad en Remoción de cromo. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 97.51%.

Los resultados procesados estadísticamente con valores significativo y no, tienen bastante similitud, ya que la ecuación de la regresión con valores significativos es más corta a comparación de la ecuación de la regresión con todos los valores y los R-Cuadrada tiene una ligera diferencia de no llega ni al 1%.

4.6.MODELO CINETICO

Proceso de remoción de cromo en agua sintética en función del tiempo.

De la misma manera la concentración inicial de cromo fue 237.14 ppm en todos los ensayos experimentales para la cinética, en la Tabla 19 se mostrará los resultados finales obtenidos de la concentración de cromo y su promedio, obtenidos mediante el proceso de electrocoagulación con densidad de corriente de 9.26 mA/cm^2, pH 8 y tiempos consecutivos.

Tabla 19

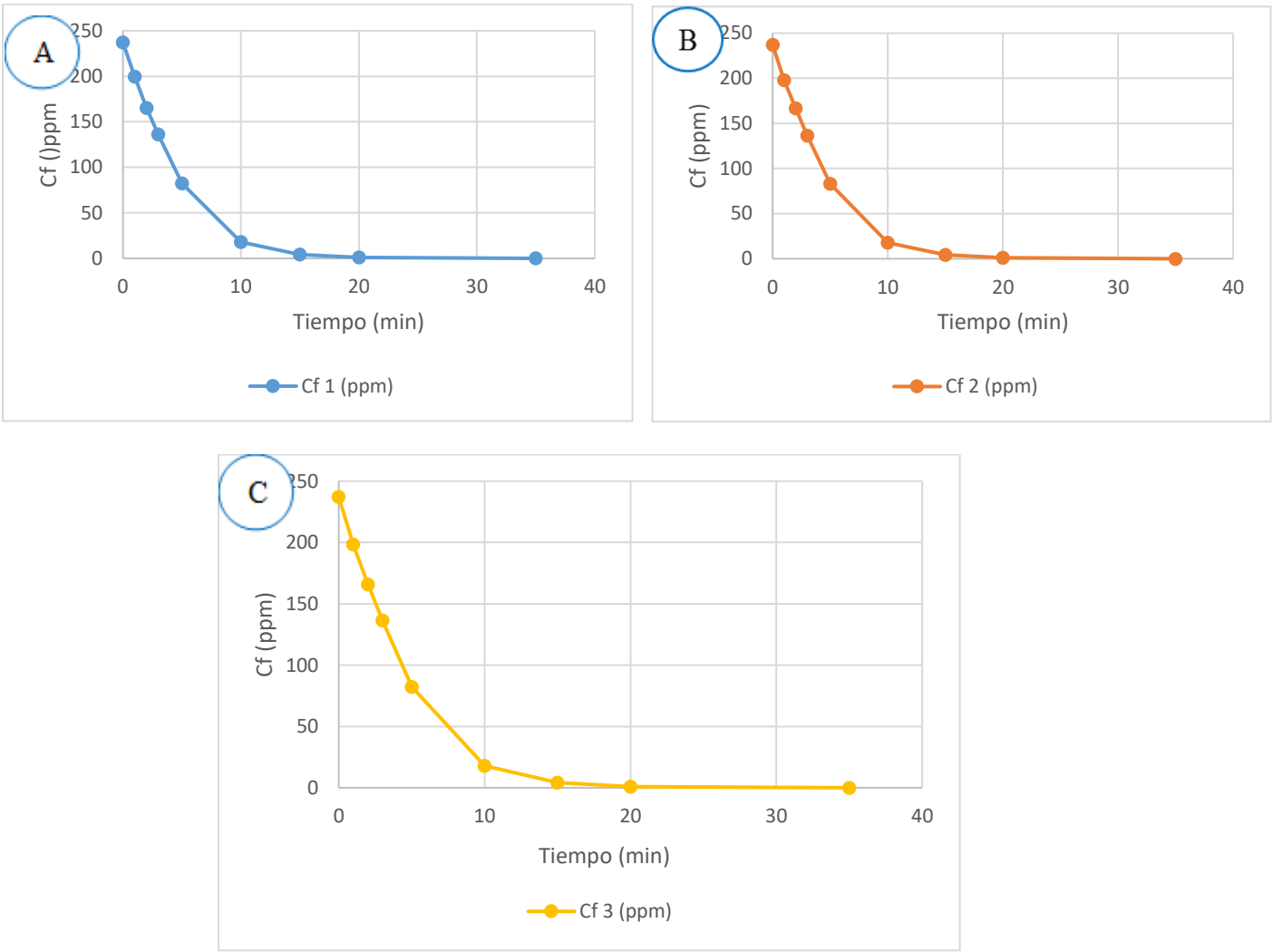
Resultados finales de la concentración de Remoción de cromo en función del al tiempo.

N°	Tiempo(min)	Cf 1 (ppm)	Cf 2 (ppm)	Cf 3 (ppm)	Cf promedio (ppm)
1	0	237.14	237.14	237.14	237.14
2	1	199.68	197.75	198.46	198.63
3	2	165.26	166.60	165.75	165.87
4	3	136.12	136.53	136.37	136.34
5	5	82.28	83.21	82.31	82.6
6	10	17.79	17.85	17.88	17.84
7	15	4.28	4.25	4.19	4.24
8	20	1.03	1.04	1.02	1.03
9	35	0.01	0.01	0.01	0.01

Nota. *Cf 1 (ppm) concentración final de 1ra corrida experimental de la cinética, Cf 2 (ppm) concentración final de 2da corrida experimental de la cinética, Cf 3 (ppm)concentración final de 3ra corrida experimental de la cinética, Cf promedio(ppm)concentración final del promedio de las corridas experimentales de la cinética.*

Figura 34

Concentración de Cromo Experimental en función al tiempo.



En la Tabla 20, se observa los resultados finales de concentración de cromo en función del tiempo se realizaron en el proceso de electrocoagulación para la cinética con densidad de corriente

de 9.26 mA/cm^2 y pH 8, fueron evaluados en los siguientes tiempos: 0, 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 35 min. respectivamente, en la Figura 34 A, B y C se muestra la representación gráfica de la remoción de cromo en función al tiempo, observando que en los tres gráficos desde el minuto 15 hay una remoción aparentemente lineal, esta puede ser tomada como un valor el cual ya se culmine el proceso de electrocoagulación porque su concentración de cromo final es de 4.24 ppm siendo un valor que se encuentra dentro de los parámetros según la normativa peruana del Decreto supremo N.º 010 -2019-VIVIENDA. Por otro lado, si consideramos la modificatoria del Decreto supremo No. 010-2023-MINAM que lleva por título "Límite Máximo Permisible de Efluentes de las Actividades del Curtido y Adobo de cuero, así como adobo y teñido de pieles", afirma que por más que haya una remoción aparentemente lineal del cromo su concentración final no se encuentra en el parámetro establecido por la modificatoria de los LMP, en este caso no se puede dar por concluido el proceso de electrocoagulación para la remoción del cromo, visto que a los 35 minutos la concentración cromo total es 0.01 ppm y este es un valor se encuentra dentro de los parámetros de la modificatoria Decreto supremo N° 010-2023-MINAM.

El proceso de electrocoagulación se utiliza comúnmente para la remoción de metales pesados de las aguas residuales de diferentes industrias. De La Cruz García, Silva Salazar, & Inca Gómez (2017) determino el tiempo optimo a los 35 minutos con una remoción de cromo 0.0023 ppm, pero Castro & Príncipe (2018) concluyo que la mayor remoción de cromo es en 40 minutos y Laura & Salinas (2020) tubo la mayor remocion de cromo a los 50 minutos. El trabajo presentado coincide con De La Cruz García, Silva Salazar, & Inca Gómez (2017) ya que en ambos casos la mayor remoción es en 35 minutos. Concluimos que la diferencia de los tiempos en la mayor remoción del cromo se debe a variables operacionales que tengan influencia en el proceso de electrocoagulación.

Porcentaje de remoción de cromo en función del tiempo

La concentración inicial de cromo fue 237.14 ppm, en la Tabla 20 se muestra los resultados obtenidos de cada uno ensayo experimental para la cinética en % de remoción de cromo total. El cálculo del porcentaje de la remoción de cromo se realizó con la Ecuación 17. Los resultados del análisis de laboratorio de la cinética se muestran en los apéndices.

Tabla 20

Resultados en % de la concentración final de Remoción de cromo en función del tiempo.

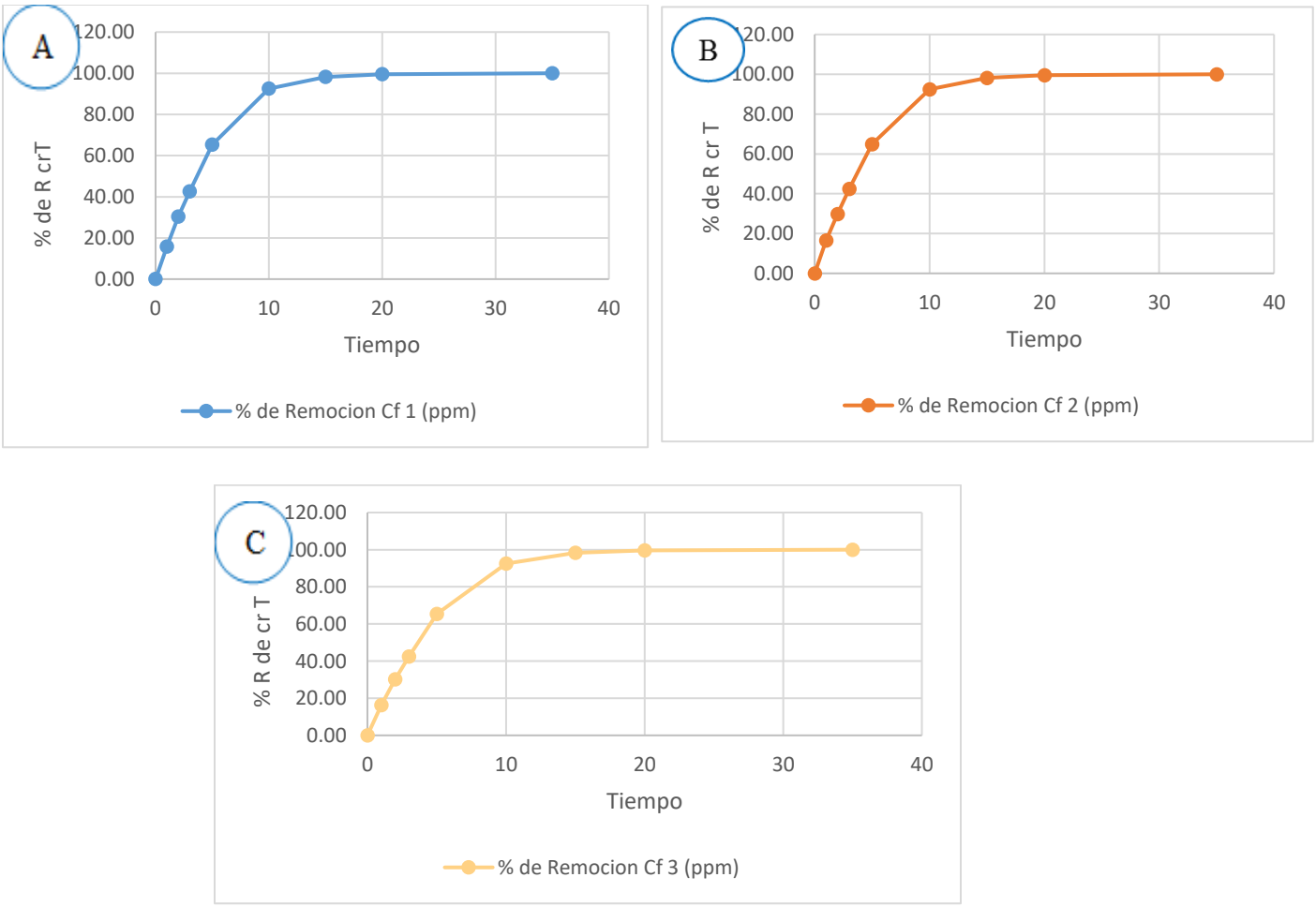
N°	Tiempo (min)	% R de Cf 1 (ppm)	% R de Cf 2 (ppm)	% R de Cf 3 (ppm)	% R de Cf promedio (ppm)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	15.80	16.61	16.31	16.24
3	2	30.31	29.75	30.10	30.05
4	3	42.60	42.43	42.49	42.51
5	5	65.30	64.91	65.29	65.17
6	10	92.50	92.47	92.46	92.48
7	15	98.20	98.21	98.23	98.21
8	20	99.57	99.56	99.57	99.57
9	35	99.99	99.99	99.99	99.99

Nota. *% Remoción de Cf 1 concentración final de 1ra corrida experimental de la cinética, % Remoción de Cf 2 concentración final de 2da corrida experimental de la cinética, % Remoción de Cf3 concentración final de 3ra corrida experimental de la cinética, % R Remoción de Cf promedio concentración final del promedio de las corridas experimentales de la cinética.*

En la Tabla 20, se observa los resultados porcentaje de remoción de cromo total en las cinéticas de cada corrida experimental, fueron evaluados en los siguientes tiempos: 0, 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 35 minutos respectivamente, en la Figura 35 A, B y C se muestra la representación gráfica del porcentaje de remoción de cromo promedio en función al tiempo.

Figura 35

Concentración de cromo Experimental.



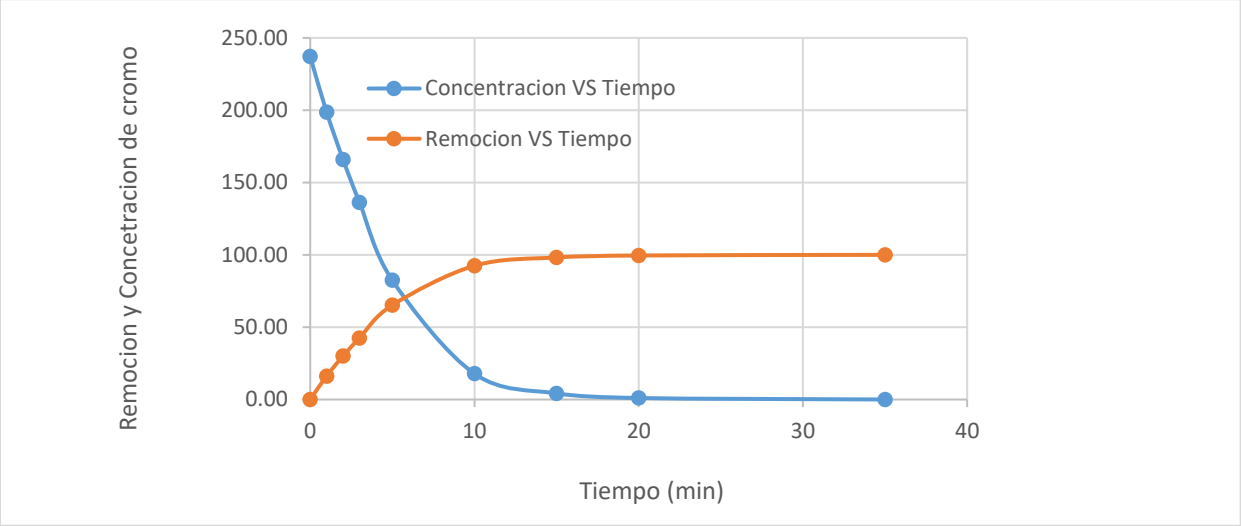
De los resultados del porcentaje de Remoción de Cromo promedio mostrados en la Figura 35, se observa que del minuto 0 hasta el minuto 5, la remoción fue rápida obteniendo un 65.17% de remoción de cromo. Pasado el minuto 5 se aprecia una ligera disminución de remoción de cromo, logrando el equilibrio al minuto 15 con una remoción de cromo del 98.2 % y concentración

de 4.24 ppm de cromo siendo el valor de la concentración de cromo aun no admitido por las LMP para las industrias de las curtiembres pero si admitida por los VMA , pasado el minuto 15 el valor de la remoción de cromo no cambia significativamente en función del tiempo, la remoción finaliza así el minuto 35 con la remoción casi al 99.99% de cromo con una concentración de 0.01 ppm de cromo así cumpliendo el valor del rango de parámetros tanto para LMP y VMA de las normas peruanas.

- Mayta & Mayta (2017) estudiaron la influencia del tiempo en la remoción de cromo, obtuvieron en 15 min una remoción de cromo del 96,66%. De igual manera Murillo Barraza (2016) estudio la cinética de reacción juntamente con el proceso de electrocoagulación y evaluó los datos experimentales mediante las ecuaciones integradas de la ley de la velocidad de reacciones determino que el orden de reacción adecuado es de primer orden con una correlación de 0.95, también mencionar que el tiempo de remoción de cromo fue 35 minutos obteniendo 99%. En comparación con el presente trabajo de investigación se encontró similitud del rango de tiempo que se utilizó mostrando la remoción mayor del 90% a partir del minuto 15. En conclusión, el porcentaje de remoción de cromo es lenta en el rango de tiempo del minuto 15 al minuto 35, en comparación de los minutos iniciales en donde el porcentaje de remoción de cromo es más rápida.

Figura 36

Tiempo VS Remoción VS Concentración.



Con los datos de la Tabla 19 y 20 se realizó la Figura 36 en donde muestra la intersección de remoción y concentración de cromo aproximadamente en el minuto 5, siendo una remoción de 65.17% con una concentración de cromo de 82.6 ppm, siendo una remoción de más del 50% pero hay que tener en cuenta que esta remoción de cromo no es suficiente para poder culminar el proceso de electrocoagulación por que aún se encuentra fuera de los parámetros establecidos de LMP y VMA que indica la normativa peruana. También se puede observar que la remoción y concentración de cromo respecto al tiempo son inversamente proporcionales por ende la remoción y concentración de cromo disminuyen cuando el tiempo aumenta.

Modelo Cinético

Los modelos de cinética estudiados para analizar la velocidad de remoción de Cromo fueron los siguientes:

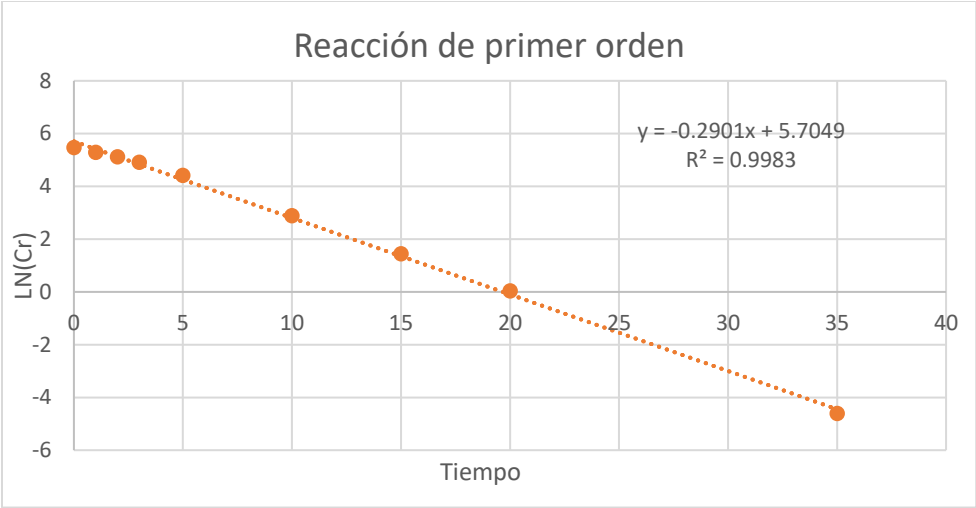
1. Reacción de primer orden.
2. Reacción de segundo orden.

Reacción de primer orden

En la Figura 37 se representarán los resultados del ajuste de los datos experimentales respectivos al modelo de primer orden, para las condiciones experimentales pH 8 y densidad de corriente 9.26 mA/cm^2.

Figura 37

Modelo cinético de Reacción de primer orden.



En la ecuación grafica de la Figura 37 se observa la ecuación linealizada de primer orden, la pendiente de la ecuación nos da a conocer el valor de la constante de velocidad k1 siendo 0.2901 y el valor del coeficiente determinación R^2 es de 0.9983. La Tabla 21 refleja los parámetros de ajuste.

Tabla 21
Parámetros de ajuste para el modelamiento de primer orden.

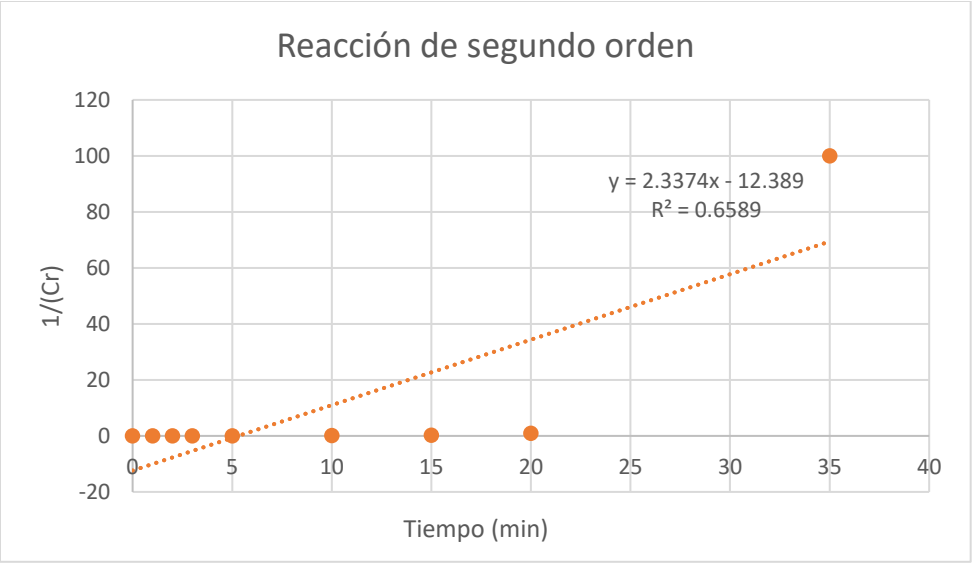
K1 ($\boldsymbol{min^{-1}}$)	$\boldsymbol{R^2}$
0.2901	0.9983

Reacción de segundo orden

En la Figura 38 se representan los resultados del ajuste de los datos experimentales respectivos al modelo de segundo orden, para las condiciones experimentales pH 8 y densidad de corriente 9.26 mA/cm^2.

Figura 38

Modelo cinético de Reacción de segundo orden.



En la ecuación grafica de la Figura 38 se observa la ecuación linealizada de segundo orden, la pendiente de la ecuación nos da a conocer el valor de la constante de velocidad k2 siendo 2.3374 y el valor del coeficiente determinación R^2 es de 0.6589. La Tabla 22 Refleja los parámetros de ajuste.

En la Tabla 22 se muestran los parámetros de ajustes obtenidos para cada uno de los modelos cinéticos propuestos, estos serán comparados a continuación:

Tabla 22

Parámetros de ajuste para el modelamiento de segundo orden.

K2 ($L\ \boldsymbol{mol^{-1}min^{-1}}$	$\boldsymbol{R^2}$
2.3383	0.6596

En la Tabla 23 se muestran los parámetros de ajustes obtenidos para cada uno de los modelos cinéticos propuestos, estos serán comparados a continuación:

Tabla 23

Parámetros de ajuste cinético de los 2 modelos estudiados.

PRIMER ORDEN		SEGUNDO ORDEN	
k1	$\boldsymbol{R^2}$	k2	$\boldsymbol{R^2}$
0.2901	0.9983	2.3374	0.6589

Al comparar los resultados de los parámetros de ajuste de los 2 modelos estudiados , se aprecia la diferencia que hay entre los coeficientes de determinación, el coeficiente de determinación cumple un papel muy importante para determinar el orden de reacción del modelo cinético de los datos experimentales por ello se concluye que el coeficiente de determinación más cercano a la unidad será el orden del modelo cinético, el modelo cinético que más se adecua a dicho proceso es del primer orden ya que el coeficiente de determinación es el más cercano a la unidad con un R^2 de 0.9983. Esto significa que la velocidad de reacción depende solamente de la concentración de cromo.

Sunil R. & Sachin P. (2021) estudio la eliminación de cromo de efluentes industriales donde demuestran que de acuerdo al proceso de electrocoagulación realizado el modelo cinético al cual más se adecua es de primer orden. De igual manera Murillo Barraza (2016) en su trabajo de investigación da a conocer que al estudiar la cinética reacción juntamente con el proceso de electrocoagulación y evaluar los datos experimentales mediante las ecuaciones integradas de la ley de la velocidad de reacciones determino que el orden de reacción adecuado es de primer orden con una correlación de 0.95. Concluyendo así que los coeficientes de determinación de Sunil R. & Sachin P. (2021) y Murillo Barraza (2016) junto con el presente trabajo de investigación se asemejan a la unidad, siendo un R^2 de 0.858, R^2 de 0.99, R^2 de 0.9983 respectivamente, considerándose que el ajuste es de pseudo primer orden en los dos trabajos de investigación y en el presente trabajo de investigación.

4.7.REMOCIÓN DE CROMO EN AGUA REAL

Caracterización Fisicoquímica del agua real

Los resultados de la caracterización fisicoquímica del antes y después de la muestra de agua real recolectada de la Industria Peletera ASAPES- Sicuani se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24

Resultados Fisicoquímicos del agua real recolectada.

Parámetros	Unidad	Muestra Inicial	Muestra Final	VMA
Ph		3.75	9.2	6 – 9
Turbiedad	(NTU)	281.00	20.3	
C.E.	uS/cm	5980.00	614.00	

Solidos Suspendidos Totales	(ppm)	172.80	17.50	500.00
Aceites y Grasas	(ppm)	12.70	4.45	100.00
DQO	(ppm)	2240.00	138.00	1000.00
Temperatura	º C	13	18.5	35
Cromo total	(ppm)	237.14	3.02	10

Teniendo en cuenta la Tabla 24 se observa los resultados iniciales de la muestra de agua recolectada, siendo estos parámetros comparados con los parámetros del D. S. N.º 010-2019-VIVIENDA que es la norma que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario, se aprecia que los valores de pH y solidos suspendidos totales del agua recolectado se encuentra en un rango inferior a la normativa peruana, en cambio los parámetros que son, Aceites y grasas, DQO y concentración de cromo total se encuentran en un rango superior según Decreto supremo N.º 010-2019-VIVIENDA., lo que indica que la fuente del agua de la muestra inicial recolectada tiene que ser sometida al tratamiento, para que no tenga un efecto negativo hacia el cuerpo receptor que en este caso son los efluentes de agua.

Al conocer el valor del pH de la muestra inicial y este al ser una de nuestras variables se procedió a incrementar el valor de este parámetro, siendo la modificación a partir de un pH inicial 3.75 a un pH 8, que es el valor requerido para proceder al tratamiento de la muestra por el sistema de electrocoagulación. Una vez realizado el proceso de electrocoagulación, se apreciar que los valores de los sólidos suspendidos totales, Aceites y grasas, DQO y cromo total (3.02 ppm) del agua recolectado se encuentra en el rango inferior, en cambio el pH se encuentra en un valor

superior al permitido indicado en la Tabla 23 que es de 9.2, lo nos indica que aún el agua tratada no debe ser expulsada al cuerpo receptor. Por lo cual se procedió a tratar el agua con un pH 6.

Tabla 25

Resultados Fisicoquímicos del agua real recolectada a pH 6 y 8.

Parámetros	**Unidad**	**Muestra Inicial**	**Muestra Final (pH 8)**	**Muestra Final (pH 6)**
pH		3.75	9.2	6 .85
Turbiedad	(NTU)	281.00	20.3	23.7
C.E.	uS/cm	5980.00	614.00	612
Solidos Susp. Totales	(ppm)	172.80	17.5	19.96
Aceites y Grasas	(ppm)	12.70	4.45	5.30
DQO	(ppm)	2240.00	138.00	151.60
Cromo total	(ppm)	237.14	3.02	3.78

De acuerdo a la Tabla 25 se observa el resultado inicial de la muestra de agua recolectada, frente a los resultados de las muestras de aguas tratadas después del proceso de electrocoagulación a un pH de 8 con una densidad de corriente de 9.06 mA/cm^2 y un pH de 6 con una densidad de corriente de 3.09 mA/cm^2. Al disminuir el valor del pH y la densidad de corriente, la concentración de cromo total aumento de 3.02 ppm a 3.78 ppm, teniendo una remoción de cromo total de un 98.6% y 98.8%, con una diferencia mínima de un 0.20% entre ellas.

En la Tabla 25 se observa que a un pH 6 y densidad de corriente 3.09 mA/cm^2 la muestra final de agua tratada cumple con todos los parámetros del D.S. N.º 010-2019-VIVIENDA, donde ya se puede expulsar el agua aun cuerpo receptor sin ningún daño medio ambiental.

5. CONCLUSIONES

- Las aguas residuales de la curtiembre peletera ASAPES Sicuani-Cusco tienen las siguientes características fisicoquímicas: cromo total 237.14 mg/L, DQO de 2240 mg/L y pH de 3.75, dichos parámetros exceden los Valores Máximos Admisibles (VMA) de la normativa peruana.
- Las variables de estudio (pH y densidad de corriente) resultaron significativas, siendo el de mayor significancia y de mayor efecto el pH.
- Se logró un porcentaje de remoción de cromo del 99.99 % en aguas sintéticas utilizando sulfato de cromo (III) a densidad de corriente de 9.26 mA/cm^2, en 35 minutos y pH 8.
- Del estudio realizado de la cinética del proceso de electrocoagulación, se concluye que el modelo que representa el proceso fue del primer orden (R^2 de 0.9983)
- Se logró un porcentaje de remoción de cromo del 98.72 % en aguas residuales procedentes de la peletera ASAPES a densidad de corriente de 9.26 mA/cm^2, 15 min y pH 8, se logró reducir el cromo total de 237.14 mg/L a 3.02 mg/L, alcanzando valores por debajo de los Valores Máximos Admisibles (VMA).

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda adicionar el uso de un sistema de energía eólica o fotovoltaica a fin de reducir el nivel de consumo energético.
- Se sugiere la construcción de celdas electroquímicas con áreas de recepción de espumas y lodos que se generan en el proceso de electrocoagulación.
- Se recomienda para posteriores investigaciones realizar el tratamiento químico y manejo adecuado de las espumas y lodos residuales, resultantes del proceso de electrocoagulación.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Acosta Niño, G. E., Coy Barrera, C. A., Bourdon Garcia, A., & Cuervo Lumbaque, E. (2013). La electrocoagulacion como un tratamiento eficiente para la remocion de metales pesados presentes en aguas residuales. Obtenido de https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/389

Aguirre, A. N. (2017). Adsorcion de metales pesados (Pb y As) con carbon activado a partir de semillas de eucalipto (Eucalyptus globulus). Puno.

Arango, R. A. (Enero - Junio de 2005). La electrocuagulacion: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. LASALLISTA, 2(1), 49-56. Recuperado el Julio de 2021, de https://www.redalyc.org/pdf/695/69520109.pdf

Arango, R. Á. (30 de Mayo de 2014). Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación: desarrollo y potencial de aplicación. Journal of Engineering and Technology, 78-98.

Arango, R. A., & Garcés, G. L. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulacion para el tratamiento de aguas residuales de la industria lactica. Universidad EAFIT, Vol. 43. No. 147. pp. 56-67.

Arboleda, J. (2000). Teoria y Practica De La Purificacion Del Agua. Santa Fe de Bogota, Colombia: McGRAW-HILL.

Arias, C. W. (2013). Remocion de cromo (III) y DQO a travez de Electrocoagulacion en aguas residuales de la industria curtiembre haciendo uso racional de la energia. Bogota.

Aristizabal Castrillon, A., & Bermudez Agudelo, M. C. (2007). Docplayer. Recuperado el 2021, de https://docplayer.es/28510680-Estudio-de-la-factibilidad-de-un-sistema-de-

electrocoagulacion-para-tratamiento-de-aguas-procedentes-de-lavanderias-industriales-con-fines-de-reuso.html

Artiga, A. P. (2005). Contribucion a la mejora del tratamiento biologico de aguas residuales de la industria de curtidos. Obtenido de MINERVA Repositorio Institucional DA USC: https://minerva.usc.es/xmlui/handle/10347/9499

Barrera, D. C. (2014). Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales. Mexico: Reverté.

Benites, L. (21 de Setiembre de 2021). Statologos. Obtenido de https://statologos.com/prueba-de-bartlett/

Bentor, Y. (2022). Chemical Element.com - Chromium. Obtenido de http://www.chemicalelements.com/elements/cr.html

Bermudez, E. M., & Salazar, C. S. (septiembre de 2019). Aplicacion de fotocatalisis heterogenea y electrocoagulacion en depuracion de cromo y cadmio en agua residual proveniente de una industria metalmecanica. Obtenido de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/45457/1/BINGQ-IQ-19P36.pdf

Cano, I. C. (2016). Características de las aguas residuales. Obtenido de https://docplayer.es/11991642-Caracteristicas-de-las-aguas-residuales.html

Carranza, N. R. (2001). Medio Ambiente Problemas y Soluciones. Lima, Universidad Nacional del Callao, Peru.

Castro, C. J., & Príncipe, N. D. (2018). Influencia del pH, Densidad de corriente y tiempo de Remocion de cadmio (II) y cobre (II) presentes en soluciones acuosas aplicando electrocuagulacion. Trujillo.

Cerón, C. P. (Diciembre de 2011). Estudio de un sistema físico-químico a escala prototipo de tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre. Quito.

Chambi Cuiro, S. (2006). Participacion del PRA en la articulacion del negocio con productos de piel de alpaca en el mercado Nacional e Internacional. Obtenido de http://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/UAC/1218/1/Sandro_Trab.Acad._bachiller_2006.pdf

Condorchem envitech. (9 de agosto de 2021). Obtenido de https://condorchem.com/es/resinas-intercambio-ionico/

Condori, P. A. (2018). Evaluacion de la tratabilidad del efluente generado por un Laboratorio Metalurgico aplicando la electrocuagulacion. Lima, Peru.

De La Cruz, G. P., Silva, S. E., & Inca, G. J. (Septiembre de 2017). Tratamiento de aguas residuales de la industria de curtiembre mediante el método de electrocoagulación para la reducción de la demanda química de oxígeno y cromo. Obtenido de http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/3594

Diego Perez, A. S., & Mas Martinez, J. A. (2019). Influencia de la densidad de corriente y pH, para evaluar la remocion del cr+3 y DQO en efluentes de etapa de curtido , mediante electrocuagulacion fotovoltaica. Trujillo, Peru.

Dietrichson, A. (22 de Junio de 2019). Metodos Cuantitativos. Obtenido de https://bookdown.org/dietrichson/metodos-cuantitativos/la-distribuci%C3%B3n-normal.html

El Peruano. (2019). Diario Oficial El Peruano. Obtenido de https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-reglamento-de-valores-maximos-decreto-supremo-n-010-2019-vivienda-1748339-3/

El-Naas, M. H., Moussa, D. T., Nasser, M., & Al-Marri, M. j. (2017). A comprehensive review of electrocoagulation for water tretment: Potentials and challenges. Journal of Environmental Management, 24-41.

Esparza, E., & Gamboa, N. (2001). Contaminación debida a la Industria Curtiembre. Revista de Química, vol 15,41-63.

Figueroa , D., Moreno, A., & Hormaza, A. (2015). Equilibrio , termodinamica y modeos cineticos en la adsorcion de Rojo 40 sobre tuza de maiz. Revista Ingenieria Universidad de Medellin, 14(26), 105-120.

Gonçalves Dos Santos, V. C., Andrade Salvado , A., Cardoso Dragunsk, D., Clausen Peraro, D. N., Teixeira Tarley, C. R., & Caetano, J. (2012). Highly Improved chromium(III) uptake capacity in modified sugarcane bagasse using different chemical treatments. . Quim. Nova, 35(8), 1606-1611.

Google maps. (2023). Obtenido de https://www.google.com/maps/place/Av.+La+Verdad,+Sicuani/@-14.2524315,-71.2281468,193m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x916ed525220545a3:0xe8b3ef3e53c1ee27!8m2!3d-14.252684!4d-71.2292374!10m2!1e3!2e14

Guohua, C. (julio de 2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. Obtenido de science Direct: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586603002636

Holt , P. k., Barton, G. w., & Mitvhell, C. A. (Apr de 2005). The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. Chemosphere, 59(3): 355- 367. doi:10.1016/j.chemosphere.2004.10.023. Epub 2004 Dec 8. PMID: 15763088.

Industria de Curtiembres. (octubre de 2014). Obtenido de http://bombascompresoresencurtiembres.blogspot.com/p/impacto-ambiental.html

Intercambio ionico. (2021). Obtenido de http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22193/Capitulo3.pdf

Lagos, A. L. (Marzo de 2016). Bioadsorción de cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local. Perú.

Laura, B. S., & Salinas, R. J. (2020). Eficiencia en la Remocion del contenido de cromo III por electrocoagulacion en las aguas residuales de curtiembre del parque industrial de Rio seco-Arequipa. Arequipa, Peru.

Lu, J., Li, y., Yin, M., Ma, X., & Lin, S. (2015). Removing heavy metal ions with continuous aluminum electrocoagulation: A study on back mixing and utilization rate of electro-generated Al. Chemical Engineering Journal, 86-92 vol.267.

Mayta, R., & Mayta, J. (2017). Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación. Revista de la Sociedad Química del Perú, vol.83 no.3.

Méndez Pampín, R., Vidal Sáez, G., Lorber, K. E., & Márquez Romegialli, F. (2007). Producción limpia en la industria de curtiembre. España: Santiago de Compostela Servizo de Publicacions e Intercambio Científico .

Mendoza Monago, R. T., & Salcedo Charapaqui, R. I. (2014). Determinacion experimental de la cinetica aparnete de la degradacion del O-Clorofenol por ozono en medio acuoso. Huancayo, Peru.

Mendoza, Q. R. (2016). Efecto precipitante del Hidroxido de sodio y Óxido de magnesioen la Remocion de cromo del efluente de curtido, Inversiones Harod S.A.C. Obtenido de Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo: https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/6818

Metcalf, & Eddy. (1995). Ingenieria de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilizacion (Vol. Tercera Edicion). Mexico: McGraw Hill.

Mijaylova, P., Lopez, S., Cardoso , L., & Ramirez, E. (2005). Tratamiento de los efluentes del proceso del curtido al cromo. Obtenido de https://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/peru/mextar016.pdf.

MINAM. (23 de Agosto de 2023). Decreto supremo que aprueba Limites Maximos Permisibles para efluentes de las actividades de curtido y adobo de cuero , asi como adobo y teñido de pieles. . Decreto Supremo N° 010-2023-MINAM .

Mollah, M. Y., Morkovsky, P., Gomes, J. A., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. L. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials, 199-210.

Mollah, M. Y., Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L. (junio de 2001). Electrocoagulation (EC) Science and applications. Journal of Hazardous Materials, 29-41.

Montoya Molina, N. P., Aguilar Casas, P., & Cordovez Wandurraga, C. (2010). Plomo,cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. Ciencia y Tecnología Para La Salud Visula y Ocular, 77-88.

Murillo , Y., Giraldo, L., & Moreno, J. C. (2011). Determinacion de la cinetica de absorcion de 2,4 -dinitrofenol en carbonizado de hueso bovino por espectrofotometria UV-VIS. Revista colombiana de Quimica, 40(1), 91-103. Obtenido de https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/23151/23911

Murillo, B. A. (2016). Propuesta de tratamiento para el agua residual industrial generada por procesos de cromado medinate Electrocoagulacion. Bogota, Colombia. Recuperado el 2021, de https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/428/1/6091166-2016-2-IQ.pdf

Ojeda, A. E., & Hing, C. R. (Ene- Abr de 2010). Estudio del proceso de electrocoagulacion de la vinaza empleando electrodos de hierrro. Tecnologia Quimica, XXX(1), 21-30. Recuperado el 2021, de https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543769003.pdf

Osorio, C. G., & Juarez, C. C. (2019). Determinacion de los parametros electroquimicos optimos para la Remocion de cromo (III) Y DQO en aguas de curtido a travez del proceso de electrocuagulacion en un reactor de recirculacion. . Arequipa, Peru.

Paz Corrales, O. A. (2020). Biorremocion de cromo total en los efluentes de curtiembres,empleando vainas de alverjas Pisum Sativum L. para obtener agua categoria 3 D 2 D.S.004-2017 MINAM. en arequipa 2018. Arequipa, Peru.

Perales Vílchez, J. C. (2019). Influencia del proceso de electrocoagulación en la remoción de cromo hexavalente (Cr 6+) en soluciones acuosas a nivel de laboratorio en la Universidad Continental, 2019. Huancayo.

Pina, S. M., Dominguez, M. A., Gonzalez, R. C., Prieto, G. F., Guevara, L. A., & Garcia, E. J. (13 de Abril de 2011). Revision de Variables de Diseño y Condiciones de Operacion en la Electrocoagulacion. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 10(2), 257-271.

Pizon Bedoya , M., & Vera Villamizar , L. E. (Diciembre de 2009). Modelamiento de la cinetica de bioadsorcion de Cr(III) usandoo cascara de naranja. Universidad Nacional de Colombia, 76(160), 95-106. Obtenido de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49612068033

Restrepo, M. A., Arango, R. Á., & Garcés, G. L. (28 de Junio de 2006). La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas.

Rey de Castro, R. A. (Agosto de 2013). Recuperación de cromo (III) de efluentes de curtido para control ambiental y optimización del proceso productivo. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5123

Salas, C. G. (2005). Reuso de Cromo en el tratamiento de efluentes. Peru.

Sanchez, C. A. (7 de Enero de 2023). Researchgate. doi:10.13140/RG.2.2.23329.48483

Sunil R., P., & Sachin P. , P. (2021). Choromium Removal from Industrial Effluent by Electrocoagulation : Operating Cost and Kinetics Studay. Journal of Environmental Treatment Techniques, 9, 621-628.

Villacorta, G. Z., & Rios, A. D. (2019). Sistema de Electrocuagulacion para el tratamiento de aguas residuales de la curtiembre de piel de Paiche (Arapaima gigas) en el cite pesquero, Region Ucayali. Pucallpa, Peru.

APENDICES

Apéndice 1: Análisis fisicoquímico de la muestra inicial de Curtiembre Sicuani

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú

UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0063-23-LAQ

SOLICITANTE: ERMELINDA CCOYO CCAHUA
YENIFER YUCA GARCIA

INSTITUCION: Ing. QUIMICA-UNSAAC

MUESTRA : AGUA REZIDUAL DE PROCESO CURTIEMBRE-SICUANI

FECHA : C/07/03/2023

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

pH	3.75
Turbiedad NTU	281.00
C.E. uS/cm	5980.00
Solidos suspendides ppm	172.80
Aceites y Grasas ppm	12.70
DQO ppm	2240.00

ANALISIS DEL AGUA, JEAN RODIER, 9ºEDICION

Cusco, 14 de Marzo 2023

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
Unidad de Prestación de Servicios de Análisis

Melquiadres Herrera Arteaga
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO

Apéndice 2: Análisis de Cromo total de la muestra inicial de Curtiembre Sicuani

UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA

Laboratorio de Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE:	**23034-22**
CLIENTE:	ERMELINDA CCOYO CCANCHAUA
DIRECCIÓN:	CALLE GENERAL UZATEGUI 275 SICUANI - CUSCO
ENSAYO SOLICITADO:	ANÁLISIS FISICO QUIMICO
PRODUCTO	AGUA DE CURTIEMBRE.
CANTIDAD DE MUESTRA	01
FECHA DE RECEPCION:	Jueves, 21 de abril de 2022
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES:	FRASCO DE VIDIRO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:	Jueves, 28 de abril de 2022
REFERENCIA	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA	**CURTIEMBRE SICUANI - CUSCO**
CÓDIGO DE MUESTRA	29214

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2

Av. Independencia s/n Arequipa - Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso
Teléfono (054) 220360 / E-mail: fcnf_labinvserv@unsa.edu.pe

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 23034-22

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Cromo	mg/L	237.14	Método de Absorción Atómica.
OBSERVACIONES:			

Emitido en Arequipa, 28 de abril de 2022.

Dra. Gloria María Rossi Salinas
Jefa de Laboratorio
RCQP – 438

Anal. Qm. Ruth Begazo Guillén
Químico Responsable

Av. Independencia s/n Arequipa - Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso
Teléfono (054) 220360 / E-mail: fcnf_labinvserv@unsa.edu.pe

Apéndice 3: Prueba fisicoquímica de la muestra final de Curtiembre Sicuani a pH 8.

MC QUIMICALAB
De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 946887776 - 951562574

INFORME N°LQ 0610-23
ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE AGUA RESIDUAL

SOLICITA :
- ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA.
- YENIFER YUCA GARCÍA.

PROYECTO :
MUESTRA : **M_1.-** AGUA DE CURTIEMBRE TRATADA.
DISTRITO : SICUANI.
PROVINCIA : CANCHIS.
DEPARTAMENTO : CUSCO.
FECHA DE INFORME : 28/12/23

RESULTADOS :

DETERMINACIONES	UNIDAD	M_1
pH		9.2
Conductividad Eléctrica	µS/cm	614
Turbiedad	NTU	20.3
Aceites y grasas	mg/L	4.45
Sólidos en Suspensión	mg/L	17.5
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	138

METODOS DE ANALISIS: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

NOTA:
- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
INGENIERO QUIMICO
CIP 238338

Apéndice 4: Prueba fisicoquímica de la muestra final de Curtiembre Sicuani a pH 6.

MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 946887776 - 951562574

INFORME N°LQ 0606-24
ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE AGUA RESIDUAL

SOLICITA :
- ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA.
- YENIFER YUCA GARCÍA.

PROYECTO :
MUESTRA : **M_2.-** AGUA DE CURTIEMBRE
DISTRITO TRATADA. : SICUANI.
PROVINCIA : CANCHIS.
DEPARTAMENTO : CUSCO.
FECHA DE INFORME : 28/12/23

RESULTADOS :

DETERMINACIONES	UNIDAD	M_1
pH		6.85
Conductividad Eléctrica	µS/cm	612
Turbiedad	NTU	23.7
Aceites y grasas	mg/L	5.3
Sólidos en Suspensión	mg/L	19.96
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	151.6

METODOS DE ANALISIS: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

NOTA:
- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez
INGENIERO QUIMICO
CIP 238338

Apéndice 5: Análisis final de Cromo total a pH 6

Hidrolab

Informe de Análisis 2312072-I

Cotización: 2312152

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **11-01-2024 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA — **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua — **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2312072-1 PF1

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 22-12-2023 09:30
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 31-12-2023 13:15
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: PF1
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	3,79 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	08-01-2024

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2312072-II

Cotización: 2312152

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **11-01-2024 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2312072-2 PF2

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 22-12-2023 10:30

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 31-12-2023 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: PF2

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	3.74 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	08-01-2024

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Informe de Análisis 2312072-III

Cotización: 2312152

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **11-01-2024 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2312072-3 PF3

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 22-12-2023 11:30

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 31-12-2023 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: PF3

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	3,81 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	08-01-2024

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodriguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Apendice 6: Prueba Cromo total de la muestra final de Agua Tratada para Cinética (Primer corrida)

Hidrolab

Informe de Análisis 2302042-I

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302042-1 T1

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 13:01
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T1
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	199,68 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratoric
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2302042-II

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302042-2 T2

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 13:02
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T2
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	165,26 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratoric
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2302042-III

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302042-3 T3

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 13:03
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T3
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	136,12 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratoric
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Informe de Análisis 2302042-IV

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302042-4 T4

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 13:05
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T4
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	82,28 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratoric
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2302042-V

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302042-5 T5

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 13:10
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T5
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	17,79 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Informe de Análisis 2302042-VI

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302042-6 T6

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 13:15
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T6
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	4,28 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Informe de Análisis 2302042-VII

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302042-7 T7

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 13:20
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T7
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	1,03 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Informe de Análisis 2302042-VIII

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302042-8 T8

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 13:35
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T8
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	0,01 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratoric
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Apendice 6.1: Prueba Cromo total de la muestra final de Agua Tratada para Cinética **(Segunda corrida)**

Hidrolab

Informe de Análisis 2302043-I

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA — **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua — **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302043-1 T1

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 14:01
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T1
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	197,75 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2302043-II

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302043-2 T2

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 14:02
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T2
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	166,60 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratoric
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2302043-III

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302043-3 T3

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 14:03
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T3
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	136,53 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratoric
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Informe de Análisis 2302043-IV

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302043-4 T4

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 14:05
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T4
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	83,21 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratoric
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2302043-V

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302043-5 T5

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 14:10
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T5
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	17,85 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Informe de Análisis 2302043-VI

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302043-6 T6

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 14:15
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T6
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	4,25 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratoric
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2302043-VII

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302043-7 T7

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 14:20
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T7
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	1,04 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratoric
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2302043-VIII

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302043-8 T8

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 14:35
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T8
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	0,01 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratoric
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Apéndice 6.2.: Prueba Cromo total de la muestra final de Agua Tratada para Cinética (Tercera corrida)

Hidrolab

Informe de Análisis 2302044-I

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302044-1 T1

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 15:01
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T1
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	198,46 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2302044-II

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302044-2 T2

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 15:02
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T2
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	165,75 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratoric
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2302044-III

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302044-3 T3

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 15:03
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T3
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	136,37 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Informe de Análisis 2302044-IV

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302044-4 T4

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 15:05
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T4
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	82,31 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratoric
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2302044-V

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302044-5 T5

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 15:10
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T5
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	17,88 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Informe de Análisis 2302044-VI

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302044-6 T6

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 15:15
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T6
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	4,19 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Informe de Análisis 2302044-VII

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302044-7 T7

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 15:20
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T7
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	1,02 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratoric
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2302044-VIII

Cotización: 2302046

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **27-02-2023 17:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2302044-8 T8

Matriz: Agua de Proceso

Término de muestreo: 07-02-2023 15:35
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio, Pabellón de Ingenieria Química
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 13-02-2023 14:00
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: T8
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo Total (Cr)	0,01 mg Cr/L	< 0,01 mg Cr/L	SM 3030 E y 3111 B	20-02-2023

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratoric
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Apéndice 7: Prueba de cromo total de agua tratada para la Remoción de cromo (27 Pruebas)

Hidrolab

Informe de Análisis 2207089-I

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA — **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua — **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-1 R1

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 30-06-2022 13:30

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R1

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	1,97 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-II

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-2 R2

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 30-06-2022 11:00

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R2

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	1,52 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Informe de Análisis 2207089-III

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-3 R3

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 30-06-2022 12:00

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R3

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	1,30 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Informe de Análisis 2207089-IV

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-4 R4

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 01-07-2022 11:00

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R4

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	1,10 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-V

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-5 R5

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 01-07-2022 12:10

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R5

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	0,98 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-VI

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-6 R6

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 01-07-2022 13:10

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R6

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	0,76 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-VII

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-7 R7

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 04-07-2022 14:35

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R7

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	0,16 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.
(4) El resultado del método de ensayo indicado se encuentra fuera del alcance de acreditación otorgada por INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-VIII

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-8 R8

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 04-07-2022 15:35

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R8

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	0,085 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-IX

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-9 R9

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 04-07-2022 16:40

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R9

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	0,01 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-X

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

N° Muestra: 2207089-10 R10

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 05-07-2022 14:00

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R10

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	1,83 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.
(4) El resultado del método de ensayo indicado se encuentra fuera del alcance de acreditación otorgada por INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-XI

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-11 R11

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 05-07-2022 15:00

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R11

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	1,48 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-XII

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** **73010822**

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

N° Muestra: 2207089-12 R12

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 05-07-2022 16:15

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R12

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	1,00 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.
(6) Los Métodos indicados han sido acreditados por el IAS, para el Laboratorio Subcontratado.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Informe de Análisis 2207089-XIII

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** **73010822**

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-13 R13

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 06-07-2022 10:30

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R13

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	0,85 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-XIV

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** **73010822**

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-14 R14

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 06-07-2022 11:40

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R14

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	0,65 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-XV

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA **RUC:** **73010822**
Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco
Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-15 R15

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 06-07-2022 13:00
Departamento: Cusco
Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214
Dirección de muestreo: Cusco
Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"
Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15
Provincia: Cusco
Punto de muestreo: R15
Instrumento ambiental: ---
Muestreado por: El Cliente
Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	0,79 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.
Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-XVI

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

N° Muestra: 2207089-16 R16

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 07-07-2022 11:00

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R16

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	0,15 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-XVII

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-17 R17

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 07-07-2022 12:15

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R17

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	0,09 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-XVIII

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-18 R18

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 08-07-2022 13:30

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R18

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	0,01 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-XIX

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-19 R19

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 08-07-2022 09:00

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R19

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	1,77 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-XX

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-20 R20

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 08-07-2022 10:30

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R20

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	1,44 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-XXI

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-21 R21

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 08-07-2022 16:00

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R21

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	1,29 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-XXII

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-22 R22

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 08-07-2022 12:30

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R22

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	0,99 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-XXIII

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-23 R23

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 08-07-2022 13:30

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R23

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	0,70 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Informe de Análisis 2207089-XXIV

Cotización: 2206052

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: **01-08-2022 09:00**

Identificación del Cliente

Cliente: ERMELINDA CCOYO CCANCCAHUA | **RUC:** 73010822

Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 Cusco - Cusco - Cusco

Contacto: Ermelinda Ccoyo Ccanccahua | **Teléfono:** ---

Nº Muestra: 2207089-24 R24

Matriz: Agua de Destilada

Término de muestreo: 08-07-2022 15:00

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio,Pabellón de Ingenieria Química - LAB PIQ214

Dirección de muestreo: Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación "Remoción de Cromo de aguas residuales de la Industria de Curtiembre Sicuani - Cusco, Mediante el proceso de Electrocoagulación en un reactor por lotes"

Tipo de muestreo: ---

Fecha de Recepción: 21-07-2022 13:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: R24

Instrumento ambiental: ---

Muestreado por: El Cliente

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Cromo total (Cr)	0,68 mg/L	< 0,01 mg/L	SM 3030 E y 3111 B	27-07-2022

Notas

NA: No se aplica.
LD: Límite de Detección.
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Jorge Loayza Rodríguez
Jefe de Laboratorio
CQP N° 1397

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com
RUC: 20512976795

Pag. 1 de 1

Anexos

Anexo 1 : Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA

ANEXO N° 1

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO_5	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	100

ANEXO N° 2

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN-	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr^{+6}	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Níquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	mg/l	SO_4^{-2}	1000
Sulfuros	mg/l	S^{-2}	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	NH^{+4}	80
Potencial Hidrógeno	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables	ml/l/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

(1) La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, es la precisada en el presente Reglamento tomando como referencia el código CIIU. Aquellas actividades que no estén incluidas en este código, deben cumplir con los parámetros indicados en el presente Anexo. Los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del presente Reglamento, son determinados a partir del análisis de muestras puntuales.

(2) Las concentraciones de los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 deben ser determinadas a partir del análisis de muestras puntuales.

Anexo 2 : Decreto Supremo N° 010-2023-MINAM

Límite Máximo Permisible			Método de ensayo [(2)(3)]
Parámetro [(1)]	Unidad de medida	Valor máximo	
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidades de pH*	6 – 9	NTP 214.029:2015 CALIDAD DE AGUA. Determinación de pH en agua. Método electrométrico.
Temperatura	°C	35	NTP 214.050:2013 (revisada el 2018) CALIDAD DE AGUA. Determinación de la temperatura en agua.
Sólidos suspendidos totales	mg/L	30	NTP 214.039:2015 CALIDAD DE AGUA. Determinación de sólidos totales suspendidos. Método gravimétrico.
Aceites y grasas	mg/L	10	NTP 214.048:2020 CALIDAD DE AGUA. Determinación de aceites y grasas en aguas. Método de partición gravimétrica líquido - líquido.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)	mg/L	30	NTP 214.037:2020 CALIDAD DE AGUA. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5). Método de ensayo.
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	50	NTP 360.501:2016 CALIDAD DE AGUA. Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO). Método colorimétrico a reflujo cerrado.
Cromo VI	mg/L	0,1	NTP 214.053:2015 CALIDAD DE AGUA. Determinación de cromo hexavalente, Cr (VI) en agua. Método colorimétrico.
Nitrógeno amoniacal ($N\text{-}NH_3$)[(4)]	mg/L	10	NTP 214.051:2015 CALIDAD DE AGUA. Determinación de Nitrógeno Amoniacal en agua. Método Electrodo Selectivo.
Sulfuro	mg/L	0,5	NTP 360.502:2016 CALIDAD DE AGUA. Determinación de sulfuros. Método colorimétrico.
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	1000	NTP 360.506:2020 CALIDAD DE AGUA. Coliformes totales, coliformes termotolerantes (fecales) y Escherichia coli. Método de ensayo por fermentación en tubos múltiples.
Cromo total	mg/L	0,5	NTP 214.043:2012 (revisada el 2021) CALIDAD DE AGUA Determinación de metales. Método de espectrometría de absorción atómica. Aspiración directa flama aire-acetileno (antimonio, bismuto, cadmio, calcio, cesio, cinc, cobalto, cobre, cromo, estaño, estroncio, hierro, iridio, litio, magnesio, manganeso, níquel, oro, paladio, plata, platino, plomo, potasio, rodio, rutenio, sodio, talio).