

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

MAESTRÍA EN QUÍMICA, MENCIÓN QUÍMICA – FÍSICA

Tema: "Remoción de cromo hexavalente en aguas residuales a partir de tratamientos electroquímicos en la empresa Tenería Núñez"

Trabajo de titulación previo a la obtención del Grado Académico de Magister en Química Mención Química – Física

Modalidad de Titulación Proyecto de Desarrollo

Autor: Ingeniera, Vanessa Belén Morales León

Director: Químico, Lander Vinicio Pérez Aldás Mg.

Ambato – Ecuador

2022

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación presidido por la Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Magíster e integrado por los señores: Química Jeanette Verónica Carrera Cevallos Máster e Ingeniero Daniel Alfonso Cabrera Valle Máster, designados por la Unidad Académica de Titulación de Posgrados de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: "Remoción de cromo hexavalente en aguas residuales a partir de tratamientos electroquímicos en la empresa Tenería Núñez", elaborado y presentado por la señorita, Ingeniera Vanessa Belén Morales León, para optar por el Grado Académico de Magister en Química mención Química-Física; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.

Presidente y Miembro del Tribunal de Defensa

Qc. Jeanette Verónica Carrera Cevallos, MSc.

Miembro del Tribunal de Defensa

Ing. Daniel Alfonso Cabrera Valle, MSc.

Miembro del Tribunal de Defensa

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “Remoción de cromo hexavalente en aguas residuales a partir de tratamientos electroquímicos en la empresa Tenería Núñez”, le corresponde exclusivamente a: Ingeniera, Vanessa Belén Morales León, Autora bajo la Dirección del Químico, Lander Pérez Aldás, Magíster, Director del Trabajo de titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ingeniera, Vanessa Belén Morales León

AUTORA

Químico, Lander Vinicio Pérez Aldás, Magíster

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

Ingeniera, Vanessa Belén Morales León

0603563081

INDICE GENERAL

Contenido

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ECUACIONES	x
AGRADECIMIENTO	xi
DEDICATORIA	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xiii
EXECUTIVE ABSTRACT	xv
CAPÍTULO 1	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Justificación del Proyecto.....	2
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivo Específico.....	5
CAPÍTULO II	6
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	6
2.1 Contexto Mundial de los daños ambientales.....	6
2.2 Problemas de contaminación, efectos adversos sobre la calidad del agua.....	8
2.2.1 Agricultura y Ganadería.....	9
2.2.2 Contaminación por hidrocarburos.....	9
2.2.3 Industria textil y cuero.....	10
2.2.4 Contaminación difusa.....	10
2.3 Soluciones tecnológicas a la contaminación del agua.....	11
2.3.1 Contaminación química.....	12
2.3.2 Principales procesos unitarios para el tratamiento de agua residual.....	14

2.4	Procesos avanzados de oxidación para la purificación del agua.....	16
2.5	Criterios de Selección de una Celda.....	18
CAPITULO III.....		21
MARCO METODOLÓGICO		21
3.1.	Ubicación del sitio de estudio.....	21
3.2.	Equipos y materiales.....	22
3.2.1.	Protección personal.....	22
3.2.2.	Preservantes.....	23
3.2.3.	Equipos de Campo.....	23
3.2.4.	Materiales de campo.....	23
3.2.5.	Materiales de laboratorio.....	23
3.2.6.	Reactivos de laboratorio.....	24
3.3.	Tipo de investigación.....	24
3.4.	Prueba de hipótesis.....	24
3.4.1.	Hipótesis nula.....	24
3.4.2.	Hipótesis alternativa.....	25
3.5.	Población y muestra.....	25
3.6.	Metodología para la toma y recolección de muestras.....	26
3.7.	Verificación del método de ensayo de Cromo Hexavalente.....	26
3.7.1.	Definición de los parámetros de validación.....	26
3.7.2.	Preparación de soluciones.....	27
3.7.5.	Tratamiento estadístico de los datos obtenidos.....	30
3.8	Diseño y construcción de una celda electrolítica para la reducción de cromo hexavalente a por un proceso de oxidación electroquímica avanzada.....	30
3.9	Eficiencia de remoción de metales pesados Cromo VI aplicando el proceso de oxidación anódica indirecta.....	32
3.10	Descripción y operacionalización de variables.....	33
3.10.1	Variables dependientes.....	33
3.10.2	Variables independientes	33
CAPÍTULO IV.....		34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		34
CAPÍTULO V		42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		42
5.1.	Conclusiones.....	42

5.2. Recomendaciones.....	43
MATERIAL DE REFERENCIA	44
6 Bibliografía.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Muestreo compuesto. Puntos de toma de muestra Tenería Núñez.	22
Tabla 2. Etapas de operación y definiciones de sus actividades.	25
Tabla 3. Parámetros de validación y fijación de objetivos para cromo hexavalente.	27
Tabla 4. Soluciones de calibración: A partir de la solución de trabajo.	27
Tabla 5. Verificación de cumplimiento de objetivos y resultados de validación de Cromo hexavalente en aguas residuales.	36
Tabla 6. Caracterizaciones del agua residual de Tenería Núñez y su comparación con valores permisibles según A.M. 097 A.	37
Tabla 7. Concentración de cromo hexavalente aplicando combinación de variables voltaje y tiempo y Eficiencia de remoción de cromo hexavalente aplicando procesos de oxidación anódica indirecta.	38
Tabla 8. Concentración de cromo hexavalente aplicando combinación de variables voltaje y tiempo para los mejores tratamientos.	39
Tabla 9. Caracterización final del agua residual tratada de Tenería Núñez y su comparación con valores permisibles según A.M. 097 A.	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Ubicación de Tenería Núñez.....	21
Figura 2. Diseño y construcción celda electrolítica	34
Figura 3. Diseño y construcción celda electrolítica	35
Figura 4. Celda	51
Figura 5. Electrodo recubrimiento de titanio.....	51
Figura 6. Informe de resultados tratamiento 1-1	54
Figura 7. Informe de resultados tratamiento 1-2.....	54
Figura 8. Informe de resultados tratamiento 1-3.....	55
Figura 9. Informe de resultados tratamiento 1-4.....	55
Figura 10. Informe de resultados tratamiento 1-5.....	56
Figura 11. Informe de resultados tratamiento 2-1	56
Figura 12. Informe de resultados tratamiento 2-2.....	57
Figura 13. Informe de resultados tratamiento 2-3.....	57
Figura 14. Informe de resultados tratamiento 2-4.....	58
Figura 15. Informe de resultados tratamiento 2-5.....	58

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Concentración de Cromo VI	28
Ecuación 2. Porcentaje de diferencia porcentual relativa	29
Ecuación 3. Porcentaje de Error Relativo	29
Ecuación 4. Porcentaje de Recuperación	29
Ecuación 5. Porcentaje de Remoción de Cromo VI.....	32

AGRADECIMIENTO

A Dios y a mi Madre Dolorosa

Por su infinito amor y por permitir que a pesar de las dificultades todo sea posible.

A mi tutor Dr. Lander Pérez

Por su motivación, paciencia, calidad humana y por compartir sus conocimientos.

Muchas gracias por su apoyo.

A la empresa Tenería Núñez y al Sr. Carlos Núñez

Por haberme permitido desarrollar mi tesis en su institución, por su apertura y
colaboración

A la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial

Por haberme permitido ser parte de esta gran institución.

A mis maestros

Por haber elegido esta gran profesión y de esta manera nos impartieron sus
conocimientos, mismos que me hicieron crecer como profesional.

DEDICATORIA

A Dios y a mi Madre Dolorosa

Por guiarme en cada uno de mis pasos y no permitir que me desvíe del camino, por ser mi luz en medio de las sombras.

A mi esposo Boris y mis hijos Valentina y Alejandro

Por ser el pilar de mi vida, por comprenderme y apoyarme en esta etapa y por enseñarme que cada día puedo ser una mejor persona. Su cariño y amor han hecho que logre cumplir mis metas.

A mis padres

Quienes son mi mayor inspiración y lo que he logrado se los debo a ellos. Papi Eduardo (q.e.p.d), gracias por ser la luz que me ilumina y me alienta a seguir; Mami Nori gracias por tus palabras de apoyo.

A mis hermanas

Por enseñarme que todo esfuerzo tiene su recompensa y que, a pesar de las adversidades, todo es posible.

A mis amigos

Por estar conmigo en este camino y apoyarme en todo momento

*La vida a veces duele, a veces cansa, a veces hiere.
Esta no es perfecta, no es coherente, no es fácil, no es eterna; pero a pesar de todo...
¡LA VIDA ES BELLA!
(Roberto Benigni)*

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN QUÍMICA, MENCIÓN QUÍMICA - FÍSICA

TEMA:

Remoción de cromo hexavalente en aguas residuales a partir de tratamientos electroquímicos en la empresa Tenería Núñez

AUTOR:

Vanessa Belén Morales León

DIRECTOR:

Químico, Lander Vinicio Pérez Aldás Mg.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Medio Ambiente

FECHA: Enero 28, 2022

RESUMEN EJECUTIVO

El cromo hexavalente es un metal altamente tóxico y es considerado como uno de los contaminantes de mayor impacto ambiental. El sistema electro oxidativo con electrodos enmallados de Titanio, fue aplicado como una alternativa factible en el Tratamiento de Aguas Residuales de Tenería Núñez.

Específicamente las actividades que se desarrollaron en esta investigación establecen como etapa inicial el diseño y construcción de una celda electrolítica, en donde se llevó a cabo el proceso de oxidación anódica indirecta dando lugar a la generación de

radicales oxidantes, mismos que se encontrarán en forma de burbujas que reducen el cromo hexavalente Cr (VI) de las aguas residuales por un proceso de burbujeo con partículas de oxígeno producidas en el proceso de electrólisis. El método de cuantificación del contenido de Cr (VI) aplica la espectrofotometría visible a una longitud de onda de 540 nanómetros (nm). Las variables aplicadas variaron el tiempo de reacción electroquímica (30 minutos, 60 minutos y 120 minutos) y voltaje eléctrico (5, voltios, 10 voltios y 20 voltios), a medida que el tiempo y el voltaje eléctrico fueron mayores se incrementó el porcentaje de remoción de Cr (VI).

La remoción de Cr (VI) mejoró cuando el tiempo de electrólisis fue de 120 minutos y el voltaje eléctrico fue de 20 voltios en los tratamientos empleados. La investigación evaluó la capacidad de remoción del Cr (VI) a partir de la oxidación con burbujas de oxígeno como proceso secundario de tratamiento de aguas residuales de tal forma que la eficiencia de remoción de este parámetro disminuya sustancialmente la toxicidad de este analito.

Palabras clave: cromo hexavalente; curtiembres; electroquímica; polución ambiental.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN QUÍMICA, MENCIÓN QUÍMICA – FÍSICA

THEME:

Removal of hexavalent chromium in wastewater from electrochemical treatments at the Tenería Núñez company.

AUTHOR:

Vanessa Belén Morales León

DIRECTOR:

Químico, Lander Vinicio Pérez Aldás Mg.

LINE OF RESEARCH:

Environment

DATE: January 28th, 2022

EXECUTIVE ABSTRACT

Hexavalent chromium is a highly toxic metal and is considered one of the pollutants with the greatest environmental impact. The electro oxidative system with titanium mesh electrodes was applied as a feasible alternative in the wastewater treatment of Tenería Núñez.

Specifically, the activities developed in this research establish as an initial stage the design and construction of an electrolytic cell, where the indirect anodic oxidation process was carried out, giving rise to the generation of oxidizing radicals, which will

be found in the form of bubbles that reduce the hexavalent chromium Cr (VI) of the wastewater by a bubbling process with oxygen particles produced in the electrolysis process. The method of Cr (VI) content quantification applies visible spectrophotometry at a wavelength of 540 nanometers (nm). The variables applied varied the electrochemical reaction time (30 minutes, 60 minutes and 120 minutes) and electrical voltage (5, volts, 10 volts and 20 volts), as the time and electrical voltage were higher the percentage of Cr (VI) removal increased.

The removal of Cr (VI) improved when the electrolysis time was 120 minutes and the electrical voltage was 20 volts in the treatments used. The research evaluated the removal capacity of Cr (VI) from oxidation with oxygen bubbles as a secondary wastewater treatment process so that the removal efficiency of this parameter substantially decreases the toxicity of this analyte.

Keywords: hexavalent chromium; tanneries; electrochemistry; environmental pollution.

CAPÍTULO 1

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

Ecuador y su entorno productivo originan vertidos industriales directamente a fuentes de agua tales como ríos, lagos, lagunas y en la mayoría de los casos directamente al mar, descargas que no han sido sometidos a un previo tratamiento de las mismas, contaminándolas y generando un riesgo a la población que utiliza estos recursos hídricos para actividades de riego en la producción agrícola, uso doméstico en el hogar, en algunas comunidades como fuente de agua potable y para uso recreativo, esto afecta en detrimento del ambiente y la calidad de vida, esto debido a que muchos de estos contaminantes son bioacumulables, de tal manera que pueden ocasionar intoxicaciones crónicas y agudas. Esta situación, ha llevado a aplicar nueva normativa que obliga a las empresas a adoptar medidas de control por medio del tratamiento de los efluentes y la exigencia en el cumplimiento de las normas (A. A. Sánchez & Tello, 2019).

Tungurahua tiene como actividad industrial predominante la confección de pieles para la elaboración de calzado y prendas de cuero; posee numerosas fábricas dedicadas a la producción de cuero, convirtiéndose en una de la actividades productivas más destacadas en la zona central del país; según datos estadísticos el 58 % de su población económicamente activa está estrechamente relacionada a la producción de cuero generando trabajo y crecimiento socio económico al sector (Abril Ruiz, 2018).

En el contexto local, la industria del cuero es en la actualidad un pilar muy importante en el desarrollo industrial y comercial de la ciudad de Ambato, y en este entorno se ha establecido una compleja y diversificada actividad productiva y de servicios, siendo este sector uno de los mayores consumidores del agua del total disponible, en donde el aporte de carga contaminante que se vierte como desecho, se ha convertido en una realidad invisible a la autoridad ambiental provincial (Galarza & Arellano, 2016) .

Algunos de estos efluentes algunas veces son tratados en plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales, en donde la carga contaminante presente es removida casi en su totalidad; sin embargo, existen otros compuestos difíciles de eliminar como

los colorantes, compuestos aromáticos, plaguicidas, metales pesados, los cuales se excluyen de la posibilidad de recibir un tratamiento de tipo primario, por lo que se requiere el desarrollo de metodologías alternativas para remover los contaminantes presentes en aguas residuales (Silva & Morales, 2022)

1.2 Justificación del Proyecto

Un análisis ambiental a nivel país destaca un posicionamiento creciente de las municipalidades, especialmente en el control de la contaminación industrial, en donde se registran experiencias muy positivas como los municipios de Quito, Guayaquil y Cuenca (Lucatello, 2015). Los desechos peligrosos en el país, en gran medida son producidos por un contado número de industrias, específicamente la textil, acabado de metales, curtido de cueros, impresión gráfica, fundiciones ferrosas y no ferrosas, industria química, del petróleo. Únicamente un número limitado de desechos potencialmente peligrosos generados en el país reciben algún tipo de tratamiento y los métodos de disposición final no son los adecuados, lo que aumenta el riesgo para la salud y el medio ambiente (Rodríguez Suárez, 2019).

En contraste, en ciudades medianas y pequeñas la gestión ambiental es débil o inexistente, aspectos como el inadecuado tratamiento de desechos, o falta de cobertura en la recolección de basura, junto con la brecha que es notoria en el tratamiento de descargas que se realizan sobre los cuerpos de agua natural y superficial muestran que apenas un 5 % de las aguas de origen industrial y doméstico tengan un nivel aceptable de tratamiento (Flores & Rivas, 2019).

Este análisis tiene como principal resultado la acumulación de impactos ambientales negativos en toda el área de afectación de estudio, la cual ha causado una severa contaminación ambiental y han puesto en riesgo la calidad de vida de las poblaciones que habitan a lo largo de la región central del país.

Entonces debido al desordenado y acelerado crecimiento urbano en nuestra región, se ponen de manifiesto la persistencia de problemas que tienen que ver con la contaminación atmosférica, tanto de la industria, como del transporte; también están

los altos índices de contaminación hídrica, debido a la disposición sin tratamiento de residuos líquidos domiciliarios e industriales, el inadecuado manejo del crecimiento urbano, que conlleva a la consecuente degradación ambiental expresada en la congestión, contaminación, ruido, diseminación de desechos, hacinamiento, escases de áreas verdes de recreación, violencia social e inseguridad, crecimiento descontrolado del parque automotor, inadecuado manejo de residuos sólidos, domésticos e industriales, y la inexistente o mal socializada información sobre calidad ambiental (García-Céspedes, Lima-Cazorla, Ruiz-Gutierrez, Santana-Romero, & Calderón-Peñalver, 2016).

La contaminación del agua originada de la industria textil y de curtiembres es realmente grave. Ya en 2008 un informe desarrollado sobre esta problemática indicó que los usos de agua en Ecuador derivan de diferentes tipos de industria, en donde la industria petroquímica, refinación de petróleo, metalúrgica, textil, fabricación de alimentos, curtiembres y de elaboración de alcohol y papel, son las más contaminantes. No se conoce exactamente la cantidad que cada tipo de industria utiliza, si se conoce la forma que todo este conglomerado productivo afecta la calidad del recurso agua (Silva & Morales, 2022).

Es innegable que los principales ríos de nuestro país presenten algún grado de contaminación; así por ejemplo, ríos como el Machángara y Monjas en Quito; río Cutuchi en Latacunga; Río Ambato en Ambato, ríos Machángara y Tomebamba en Cuenca, entre otra gran cantidad de ríos de todas las ciudades y provincias de nuestro país sufren los efectos que los desechos de las industrias causan en el agua, además del suelo y toda su biodiversidad (Santana Arellano, 2016).

Ambato específicamente es afectada directamente por la contaminación de la industria textil y del cuero que causa la contaminación del recurso hídrico que lleva el nombre de esta ciudad debido a la descarga de aguas saturadas con altos niveles de metales pesados, entre ellos el cromo hexavalente con valores promedio de 43.94 mg/l de este metal, cuando el máximo aceptado es de 0,5 mg/l) (BENITEZ-CAMPO, 2011).

Con este análisis se observa la presencia de metales pesados en el agua y en el suelo, y potencialmente en especies acuáticas aumenta el riesgo de la salud de la población,

ya sea por el consumo de agua contaminada, el consumo de especies acuáticas contaminado y el consumo de productos agrícolas que podrían potencialmente estar contaminados lo cual justifica la realización de este trabajo de investigación (Télez, Roxs, & Gaitán, 2004).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Realizar la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales a partir de tratamientos electroquímicos en la empresa Tenería Núñez.

1.3.2 Objetivo Específico

- Diseñar y construir una celda electrolítica para la reducción de Cromo hexavalente a partir del proceso de oxidación electroquímica avanzada.
- Cuantificar el grado de degradación del cromo hexavalente presente en aguas residuales producido por oxidación electroquímica avanzada, aplicando técnicas espectrofotométricas.
- Calcular la eficiencia de remoción de metales pesados Cromo VI aplicando el proceso de oxidación electroquímica avanzada.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1 Contexto Mundial de los daños ambientales

Desde la revolución industrial, los avances tecnológicos de la era moderna están creando riesgos ambientales inminentes para el sostenimiento de la vida en el planeta. Las actividades humanas y el acelerado crecimiento demográfico de las últimas cuatro décadas han originado un incremento descontrolado en la huella ecológica. Muchas investigaciones del tipo socioambiental concluyen que los humanos estamos utilizando más de lo que el planeta puede suministrar o renovar. Convivimos en una sociedad de constante riesgo donde la tecnología y los sistemas productivos impulsan procesos de contaminación química, modificación genética de organismos y principalmente el cambio climático, como consecuencia de tal desequilibrio para la sustentabilidad ecológica y la salud de los seres vivos no se pueden prever, ni cuantificar con exactitud la destrucción y efectos adversos que son provocados en nuestro planeta, sin embargo, si es palpable los estragos que el cambio climático comienza a provocar, así como también es notorio la pérdida de biodiversidad y la extinción de especies (Informe planeta vivo, 2016)(NI).

(Caldera, Escobar, & Ortega, 2015), puntualiza que en nuestra sociedad existe una percepción clara de aquellos riesgos que afectan de manera directa la salud de las personas, además de que se ha incrementado de manera muy preocupante como efecto de desastres, enfermedades y nuevos riesgos ambientales que amenazan la salud pública. La nueva pandemia que ha afectado de manera catastrófica a nuestro planeta, así como también, el aumento de contaminantes orgánicos emergentes, dioxinas, niveles preocupantes de mercurio en alimentos que consumimos; estos y más aspectos son realidades que provocan una sensación de alucinación, inseguridad ambiental y de incertidumbre creciente mucho mayor, que es una consecuencia no deseada del modelo productivo y cuyo origen se encuentra en la aplicación de tecnologías poco respetuosas con la naturaleza y en la inexistente ética social de determinadas decisiones cotidianas (Climent Sanjuán, 2006).

Los problemas ambientales son la consecuencia de dos categorías de actividades antropogénicas (Márquez; Torrejón & Safra, 2014). La primera por el uso y explotación de los recursos naturales en niveles que van más allá de las capacidades de sustentabilidad de los ecosistemas, y la segunda la contaminación ambiental a través de descargas de desechos y residuos en niveles superiores a la capacidad de absorción de los ecosistemas de soporte, que como consecuencia de estas categorías de actividades humanas ocasiona daños ambientales como, por ejemplo:

- Pérdida de biodiversidad biológica.
- Contaminación del agua con los consecuentes problemas para la salud pública.
- Contaminación del aire que conduce al aumento de las enfermedades respiratorias y al deterioro de estructuras habitacionales, monumentos y otras construcciones.
- Pérdida de la fertilidad del suelo, desertificación y hambrunas.
- Agotamiento de los recursos pesqueros.
- Aumento del cáncer de piel y de enfermedades oculares por agotamiento de la capa de ozono.
- Nuevas y mortales enfermedades y vectores.
- Daños a las futuras generaciones.

Entonces es deber del estado reponer los equilibrios ecológicos de los ecosistemas afectados por las actividades productivas, gestionar la compensación por daños ambientales causados y prevenir que estos daños no vuelvan a ocurrir. Frente a esta situación es necesario que los seres humanos como sociedad modifiquen su comportamiento para lograr que el desarrollo e intervenciones humanas en el ambiente se realicen dentro de los límites físicos del planeta. Es por ello que son herramientas claves no solamente la ciencia y tecnología, sino también la educación ambiental, las políticas y leyes institucionales (Protocolo, en Río, & Mundial, 2014).

2.2 Problemas de contaminación, efectos adversos sobre la calidad del agua.

(Cruz & Martínez, 2015). La sociedad en general se beneficia ampliamente de los servicios ambientales del agua proveniente de acuíferos, ríos, lagos o costas, y por consiguiente el ser humano ejerce una predominio directa o indirecta sobre ellos y su biota acuática, por lo tanto, reconocer y valorar adecuadamente esos servicios evitaría o disminuiría en la degradación ambiental, sobre todo en momentos en donde el insostenible crecimiento poblacional demanda de este recurso no renovable. Por ende, el bienestar de una sociedad depende en gran medida de su capacidad para utilizar, proteger y regenerar sus recursos hídricos y la biodiversidad acuática (Cruz & Martínez, 2015).

La calidad ambiental, que se refiere al grado de perturbación y potencial de conservación o restauración de un ecosistema sujeto a actividades industriales antrópicas, desde este punto de vista integral, definir la calidad del agua significa ir más allá de sus atributos fisicoquímicos o biológicos; implica tomar en cuenta el contexto ecológico, así como los usos y valores que la sociedad les otorga. Muchas actividades económicas están ligadas de manera indirecta a los ecosistemas acuáticos, de modo que la contaminación de cuerpos de agua río arriba repercuten río abajo y en consecuencia las actividades dependientes de un alto grado de calidad del agua y por lo tanto corren el riesgo de reducir su potencial productivo, entre ellas diversas manufacturas, turismo, pesca, acuicultura y algunas recreativas (Vargas Ríos, 2011).

(Hernández & Pastor Piñeiro, 2008), define a la externalidad es un costo que se relaciona con la economía ambiental, que no significa ajeno a la fuente de contaminación sino a los intercambios de mercado; porque nadie asume los costos por la contaminación, aunque todos la sufren, y ello es resultado de un mal funcionamiento en el mercado. Como consecuencia el costo social aumenta y la calidad de vida se reduce.

El agua puede contaminarse por causas naturales o por motivos antropogénicas. Los recursos hídricos como arroyos, ríos, lagos o estuarios se convierten en medios y receptores de un amplio rango de residuos y sustancias nocivas provenientes de

distintas fuentes: la escorrentía urbana que incluye los efluentes industriales y el drenaje público; la agricultura; la minería y la deforestación, y la producción de petróleo (Spulberg y Sabbaghi, 1998). Cuando se conoce el origen y al responsable de la descarga, se denominan fuentes de contaminación por descargas puntuales; cuando no es posible identificar uno ni otro, se enfrenta el elusivo tema de las descargas no puntuales o difusas (González, 2007). Entre las descargas puntuales más importantes se analizan las siguientes:

2.2.1 Agricultura y Ganadería

El sector agropecuario con frecuencia se identifica como uno de los mayores contaminantes del agua (Alfaro & Salazar, 2005), pero el origen exacto de la contaminación es difícil de medir y reconocer. Dentro del sector agropecuario, la industria azucarera constituye una gran usuaria de agua para sus procesos, como el lavado de la caña de azúcar, es la mayor consumidora de agua en el proceso productivo en general: 35% de la extracción, 22% del consumo y 39% de la descarga al ambiente. En un ingenio azucarero, el consumo de agua determina: la calidad de la materia prima; el estado de aislamiento térmico; el estado del sistema de recuperación, conducción y almacenamiento del condensado; las coordinaciones operacionales; el control de agua para limpieza y enfriamiento, y el pH del jugo clarificado (A. F. E. Sánchez, Cobo, & Ramírez, 2020).

2.2.2 Contaminación por hidrocarburos

La contaminación por hidrocarburos se debe a la extracción y perforación petrolera, los transportes de combustibles, y los gasoductos y oleoductos que se encuentran principalmente en las zonas costeras y marítimas del país. De hecho, los complejos petroquímicos son una fuente importante de metales, junto con las plantas de producción de fertilizantes, la minería, la metalurgia, las actividades de dragado para la perforación de pozos petroleros y las ciudades costeras con un gran número de habitantes (Botello et al., 2004). Los accidentes producidos por fugas, fallas en los sistemas de control en los puntos de descarga o incluso flujos deliberados de residuos industriales, pueden causar contaminaciones agudas que implican desde perturbaciones momentáneas y locales hasta graves impactos en corto y mediano

plazo. Los derrames no sólo contaminan el suelo y el agua, sino que merman la salud de los habitantes y afectan su modo cotidiano de vida, como cuando les obliga a suspender sus actividades pesqueras durante meses.

2.2.3 Industria textil y cuero

La gravedad de la contaminación originada por la industria textil y de curtiembres sobre las fuentes de agua se evidencia en el informe Geo-Ecuador el cual señala que los tipos de industrias más contaminantes son la química, petroquímica, refinación de petróleo, explotaciones mineras, industria metalúrgica, textil, curtiembres, fábrica de alimentos, de alcohol, papel y celulosa (CNRH,2003b). Si bien no existen datos concretos de cuánta agua usa cada tipo de industria, si hay información de la manera en que este sector productivo afecta la calidad de este recurso. La industria textil y del cuero tomando como ejemplo la ciudad de Ambato causa la contaminación del río que lleva su mismo nombre con altos niveles de Cromo (43,94 mg/l, cuando el máximo aceptado es de 0,1 mg/l) (Almeida, 2006). Evidentemente la red hidrográfica del Ecuador presenta algún tipo de contaminación (Carrera, 2003).

2.2.4 Contaminación difusa

Una de las características de las descargas no puntuales es que no se puede identificar la fuente de los contaminantes que entran al sistema de aguas, así que tampoco es posible monitorearla. La variedad de fuentes no puntuales de contaminación y su naturaleza difusa generan una serie de problemas legales y de manejo, pero esta diversidad y multiplicidad de la contaminación no puntual ofrece sólo uno de los retos relativos a su manejo (González, 2007).

Las descargas no puntuales incluyen la escorrentía urbana y de carreteras, así como las derivadas del uso residencial y comercial de fosas sépticas, el cortado de césped, la agricultura, la minería y las actividades de construcción. Las fuentes difusas de contaminación también se originan en la erosión de tierras vírgenes y tala de bosques; abarcan los residuos de vegetación natural y de fuentes artificiales como la aplicación de fertilizantes, el uso de agroquímicos para el control de plagas y hierbas, la erosión

del suelo de granjas y corrales de engorda, y el transporte y erosión provocados por los desarrollos urbanos (A. F. E. Sánchez et al., 2020). Entre la gran variedad de fuentes difusas o no puntuales, La contribución a la contaminación del agua incluye nutrientes, pesticidas, sedimentos, minerales y patógenos.

2.3 Soluciones tecnológicas a la contaminación del agua.

En la actualidad, se habla de la mala calidad del agua y su contaminación, pero con frecuencia se pierde de vista que ambos conceptos son abstractos y que adquieren sentido práctico sólo cuando se aplican al uso específico del agua (**Cisneros**) . A partir de esta reflexión se pueden determinar parámetros para definir cómo debe ser el agua, cuáles son los agentes que la contaminan y en qué magnitud, y con base en ello establecer métodos de control y prevención de contaminación. La tecnología actual posibilita eliminar cualquier compuesto indeseado del agua; sin embargo, existen limitaciones relacionadas con el costo y la confiabilidad del proceso empleado.

La tecnología en el control de la calidad del agua se usa para dos fines: remediar y prevenir. En el primero se encuentran los métodos de tratamiento para la remoción de contaminantes. Se considera contaminante al exceso de materia o energía (calor) que provoque daño a humanos, animales, plantas y bienes, o que perturbe las actividades que se desarrollan con agua, es decir, que limiten su uso en condiciones seguras de salud para el hombre y el ambiente. Dichos usos pueden ser: consumo humano (beber, cocinar y procesar alimentos); aseo personal; acuicultura; agricultura; industria; municipal (riego de jardines, lavado de coches, fuentes de ornato, lavado de calles e instalaciones públicas); recreativo (natación); protección ecológica, y transporte de desechos. Este último, aunque objetable, se refiere al uso que la sociedad en su historia ha dado a los cuerpos acuíferos al descargar en ellos desperdicios residuales y contaminantes de maneras intencional y no intencional.

Hay muchas maneras de clasificar los contaminantes, siendo los más importantes los que proceden de compuestos tóxicos como pesticidas, compuestos clorados, metales pesados, entre otros, así mismo, están los que consumen oxígeno, necesario para la vida acuática y la biodegradación de la materia orgánica y de igual importancia

aquellos relacionados con la descarga de nutrientes procedentes de fertilizantes, y que son causa de la eutrofización.

Para diagnosticar una alteración de calidad del agua se requieren mediciones específicas de una sola característica como los metales pesados, los compuestos orgánicos tóxicos o un cierto grupo de bacterias, en relación directa con el uso previsto. Nuestro estudio se basa en la contaminación de origen químico.

2.3.1 Contaminación química.

La contaminación química inorgánica consiste en el aporte de iones, nutrientes, detergentes o metales y productos de desechos de actividades urbanas y rurales que llegan a los cuerpos de agua. Algunos metales son necesarios para los seres vivos, pero pueden tornarse tóxicos si rebasan ciertas concentraciones. Se les conoce químicamente como metales pesados cuando presentan densidad mayor a 5 g/cm³, y ese término se ha asociado con los metales tóxicos como cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn). Los metales pesados constituyen los compuestos químicos de mayor preocupación, por sus efectos en el sistema nervioso central y en el riñón, además de que se les atribuyen alergias, intoxicación y en ocasiones un carácter cancerígeno (Reyes Navarrete et al., 2012).

La mayoría de los metales empleados en las diversas actividades industriales manifiestan su presencia en las regiones costeras, sobre todo en las proximidades de las refinerías de petróleo y sitios de producción de fertilizantes, minería y metalurgia. Las actividades de dragado para la perforación de pozos petroleros, por ejemplo, también generan enormes cantidades de lodos que contienen cromo. De igual manera, las descargas domésticas sin tratar aportan grandes volúmenes de lodos enriquecidos con metales como plomo, zinc, cadmio y cromo, cuyo destino son los ríos y lagunas o directamente son descargados en el mar. Los análisis de metales en partículas suspendidas, sedimentos y organismos proveen una completa información sobre su origen, rutas, destinos y efectos, así como de un posible riesgo ambiental. Una de las principales características de los metales en los ecosistemas es que los organismos pueden almacenarlos en grandes concentraciones (bioacumulación) y por

consecuencia éstas pueden inducir a un incremento de las concentraciones del metal en niveles tróficos superiores (biomagnificación). El envenenamiento agudo por metales, debido al consumo de pescados y mariscos, no es muy claro, principalmente porque los alimentos de origen marino representan una pequeña parte de la dieta. Sin embargo, el consumo frecuente de moluscos extraídos de ambientes contaminados puede significar un riesgo de intoxicación crónica, en especial para los habitantes de áreas costeras (Villazón & Díaz). Así, en los océanos y las zonas costeras, los organismos de hábitos bentónicos son los más afectados por la contaminación de algunos metales de naturaleza tóxica como el mercurio, el plomo, el cromo y el cadmio, los cuales reducen drásticamente su potencial de sobrevivencia y, en ocasiones, propician su total desaparición.

Los objetivos de tratar el agua son diversos y están reglamentados por el gobierno. En base a la normativa que existe en Ecuador para determinar los criterios de potabilización y depuración del agua residual, en donde algunos de ellos están recogidos entre las sustancias que figuran en el Libro VI del TULSMA sobre la calidad ambiental: Acuerdo Ministerial 097: Plomo, Cadmio, Níquel, cromo, Antimonio (Baque-Mite et al., 2016)

2.3.1.1 Plomo

El Pb genera alteraciones en el estatus iónico celular y estrés oxidativo, lo que trae como consecuencia disrupciones endócrinas, inhibición de la actividad enzimática, muerte celular, genotoxicidad y problemas inflamatorios (Lassiter et al., 2015). También se ha atribuido al Pb la inhibición de la síntesis de hemoglobina, generando anemia (Counter et al., 2012), incremento de la presión sanguínea, daño renal (Batuman et al., 1981; Poma, 2008), perturbaciones en el sistema nervioso central y cáncer de estómago y pulmones (Mushak, 2011). Además, los niños son muy sensibles al Pb, el cual genera retraso en el desarrollo mental e intelectual (Poma, 2008). En los animales el Pb genera retardos en la maduración, afecta la cantidad y calidad de la esperma y produce cambios conductuales en mamíferos, invertebrados y en las aves puede ser mortal a bajas concentraciones (Lassiter et al., 2015).

2.3.1.2 Cromo

Las sales de cromo hexavalente Cromo (VI) se utilizan ampliamente en procesos industriales del acero, pinturas, colorantes y cerámicas. Las sales de cromo trivalente se utilizan en la industria textil para colorantes, en la industria de la cerámica y el vidrio, en la industria curtidora y en fotografía. El cromo en sus dos estados de oxidación se utiliza en diversos procesos industriales por tanto puede estar presente en las aguas residuales de dichas empresas. El estado hexavalente es tóxico para los humanos, los animales y la vida acuática. Puede producir cáncer de pulmón cuando se inhala y fácilmente produce sensibilización en la piel. Sin embargo no se conoce si se produce cáncer por la ingestión de cromo en cualquiera de sus estados de oxidación (Reyes Navarrete et al., 2012).

2.3.2 Principales procesos unitarios para el tratamiento de agua residual

Los sistemas de depuración se componen de manera general de cuatro procesos: drenaje para captar y conducir las descargas de agua residual, planta de tratamiento, conducto para desalojo del agua tratada, y sitio de depósito final donde se descarga el agua residual (tratada o no) al ambiente (Zouboulis, Traskas, & Samaras, 2008). En nuestro país, como en muchos otros en vías de desarrollo, esos sistemas con frecuencia están incompletos y presentan falta de depuración como la principal deficiencia, este es el caso de Tenería Núñez (Núñez Aldás, 2021).

Se considera que existen tres tipos de descargas contaminantes: las puntuales, las accidentales y las dispersas o difusas. Las descargas puntuales son más fáciles de controlar debido a que se conoce su localización, lo que facilita su muestreo, cuantificación y procesamiento; por consiguiente, resultan susceptibles de reusarse en forma controlada, ya que en general provienen de industrias o municipios. Las descargas dispersas, en cambio, suponen un difícil control porque provienen de retornos agrícolas, silvicultura, lixiviados de desechos sólidos, erosión, drenados de minas, lavado de contaminación atmosférica, falta de drenaje, fugas y fosas sépticas. Las tecnologías de tratamiento del agua se conciben para controlar descargas puntuales; las difusas requieren otros métodos de control. El control de las descargas

puntuales está aún en curso, ya que se trata aproximadamente de 36% de las descargas municipales y 15% de las industriales (Cisneros).

(Momparler & Andrés-Doménech, 2008) explica que para depurar el agua se emplean diferentes métodos de tratamiento agrupados de acuerdo con el mecanismo principal de remoción y cada uno con diversas opciones tecnológicas. A partir del mecanismo principal de remoción se distinguen dos tipos de procesos: los fisicoquímicos (fenómenos abióticos) y los biológicos (fenómenos bióticos). Los procesos fisicoquímicos son los más antiguos y se basan en las propiedades físicas o químicas de los contaminantes para removerlos. Entre los principales se encuentran: cribado, desarenación, flotación; sedimentación, filtración, adsorción, procesos de membrana, precipitación, coagulación-floculación, oxidación química y desinfección.

Los procesos biológicos, en cambio, se basan en la transformación de la materia orgánica biodegradable en microorganismos que son removidos del agua. Los procesos más comunes son: lodos activados y sus variantes, lagunas, disco biológico rotatorio, filtro percolador y reactor anaerobio de flujo ascendente. La selección de un sistema de tratamiento no es sencilla, ya que comprende aspectos técnicos, económicos, sociales y políticos. El aspecto técnico determina si un proceso funciona o no para remover los contaminantes. Aunque sorprenda, dadas las diversas características del agua y su contenido de contaminantes, no hay una forma estandarizada de establecer la eficiencia de un proceso. Para ello, se requiere efectuar en laboratorio pruebas en donde se somete el agua residual en estudio al proceso que teóricamente debiera funcionar para el objetivo deseado. De este modo, es posible confirmar si se logrará la eficiencia deseada, bajo qué condiciones y a qué costo aproximado.

Además de la viabilidad técnica, para seleccionar un proceso de tratamiento deben considerarse el caudal, la disponibilidad de espacio para construir la planta de tratamiento, el uso del efluente tratado o del requerimiento legislativo, la compatibilidad entre los diferentes procesos y operaciones, la disponibilidad de tecnología, la factibilidad económica de operar el proceso, el grado de calificación necesario para operar la planta de tratamiento y la generación de subproductos como lodos.

2.4 Procesos avanzados de oxidación para la purificación del agua

Los métodos convencionales de purificación de agua a menudo no son efectivos respecto a la eliminación de compuestos orgánicos, tales como compuestos organoclorados que pueden encontrarse a bajas concentraciones. El método convencional para tratar aguas que contienen estos contaminantes es la adsorción sobre carbón activo, este tiene problemas ya que se elimina pero no se destruye (Rincón et al., 2015). Procesos de depuración de estos compuestos estables del medio disolvente se han desarrollado y se denominan procesos avanzados de oxidación (PAOs), cuyo objetivo es el de mineralizar los contaminantes, es decir, transformarlos completamente en dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O) y ácidos minerales como ácido clorhídrico (HCl). La mayoría de los PAOs involucran la formación de cantidades significativas de radicales hidroxilo ($\text{OH}\cdot$), con una alta capacidad oxidante al ser capaces de abstraer hidrógeno o de adicionarse sobre enlaces múltiples (Carrera-Cevallos, Prato-García, Espinoza-Montero, & Vasquez-Medrano, 2021).

Las investigaciones en procesos de oxidación avanzada han tenido resultados positivos en los procesos de tratamiento de aguas residuales en la última décadas debido a que son una alternativa eficiente para disminuir la cantidad de diferentes tipos de contaminantes, principalmente, en el uso de agentes oxidantes, tales como el peróxido de hidrógeno, la generación de radicales hidroxilo ($\text{OH}\cdot$), entre otros, los cuales facilitan la degradación de materia orgánica y se pueden obtener por diferentes métodos electroquímicos (Sánchez Proaño & García Gualoto, 2018).

Actualmente, la electrocoagulación es uno de los procesos que ha sido desarrollado comercialmente en plantas de tratamiento de aguas municipales en toda Europa. (Morales Posada & Acosta Niño, 2010), este proceso desestabiliza las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados (Chen, 2004).

Es así como López & Harnisth (2016), utilizaron la Electrocoagulación para disminuir el DQO, DBO5 y los sólidos suspendidos de aguas residuales de la industria láctea;

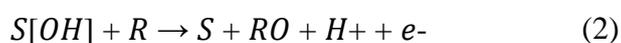
determinaron que el tiempo, número de placas del electrocoagulador y voltaje del sistema influían en el proceso y logrando un porcentaje de remoción del 93% en el DQO, 82% en el DBO5 y 76% en los sólidos suspendidos.

De igual manera, Monge (2018) indica que entre los procesos de oxidación más sencillos tenemos a la electrooxidación u oxidación anódica, misma que se basa en la destrucción de los compuestos orgánicos como inorgánicos de aguas residuales, bajo la acción del ánodo de la celda electrolítica misma que puede ser directa o indirecta. Estos procesos se caracterizan por trabajar a presión atmosférica y temperaturas inferiores a 100 °C, la velocidad de la reacción está comandada por la densidad de corriente aplicada y sin intensidad la reacción o tratamiento se detiene.

En el caso de la oxidación anódica se forman radicales OH· debido a la oxidación en el ánodo desde las moléculas de agua, y paralelamente, se facilita la eliminación de componentes.

Las variables que determinar la eficiencia de estos procesos son: electrolito de soporte, pH del medio, temperatura, concentración del compuesto orgánico, y el tipo de material anódico donde se llevarán a cabo las reacciones de oxidación.

La reacción química de oxidación posee 2 pasos principales: la adsorción del radical hidroxilo por la superficie del electrodo (S) descrito en la fórmula (1) y la reacción oxidativa del radical hidroxilo con las moléculas orgánicas (R) mostrada en la fórmula (2). (Monge, 2018)



El proceso de electrólisis del agua mediante dos placas de titanio -material bajo en reacciones secundarias con el medio separa las moléculas de la solución del medio por corriente eléctrica hacia el cátodo y el ánodo, esta prueba realizada por primera vez en 1800 por Nicholson y Carlisle, demostró la proporción atómica de hidrógeno y oxígeno en la molécula del agua (2:1). Este proceso se aplica constantemente en la industria para la obtención/separación de elementos químicos; y en el campo

ambiental, específicamente en el tratamiento de aguas residuales de efluentes hídricos industriales, reduciendo valores en la demanda de oxígeno de las muestras (Veintimilla & Salazar, 2008)

(Delgadillo et al., 2004) evaluaron el comportamiento de diferentes reactores de mezcla completa y flujo pistón con base en un modelo cinético obtenido y validado experimentalmente, mostrando que la cinética de remoción es de orden cero a altas concentraciones de Cr (VI) y cambia gradualmente a orden uno a bajas concentraciones. Con el uso de electrodos rotatorios de acero al carbón se logró reducir la concentración de Cromo hexavalente de 130 mg/l hasta concentraciones menores a 0,5 mg/l.

En el tratamiento electrólisis oxidativa realizado por Vásconez (2021) en aguas residuales industriales, se utilizaron muestras de aguas que habían pasado por un tratamiento primario, para este proceso se utilizó una celda electrolítica con electrodos de titanio con características propicias para el proceso electro oxidativo; el material sufrió daños mínimos de coloración y corrosión a simple vista. En este estudio se logró reducir la concentración de DQO en un 7.56% y 4.06% en el DBO5.

Para reducir tanto la carga orgánica contaminante y el cromo hexavalente de las aguas residuales se realizará el proceso de burbujeo con partículas de oxígeno producidas en el proceso de electrólisis; posteriormente se cuantificará el contenido de cromo hexavalente oxidado presente por espectrofotometría visible a una longitud de onda de 540 nanómetros (nm) y finalmente se evaluará la capacidad de (Hernandez Ortiz, 2019).

2.5 Criterios de Selección de una Celda

J. Chaussard (1990) señala que los principales criterios para la selección y diseño de una celda electroquímica son la facilidad operativa a bajo costo, la fiabilidad de

mantenimiento y funcionamiento relacionados al espacio y al tiempo, la versatilidad para adecuarse a diferentes procesos de electrosíntesis considerando la capacidad y eficiencia de proceso.

Teniendo en cuenta la versatilidad, las celdas tipo tanque son las más usadas por su aparente simplicidad en el diseño y construcción, la cual consta de electrodos verticales con variación en su forma y área catódica y anódica previendo la distribución de corriente y potencia uniforme, facilitando la transferencia de materia automática y mediante generadores de movimiento (Ochoa, 1996).

La geometría de los electrodos importa para obtener la relación de área electródica y volumen de electrolito en el interior de la celda. Teniéndose preferencia por las celdas de flujo con placas paralelas, con la salvedad de la influencia de las características de material que requiere cada proceso. (Ochoa, 1996; Twidwell, 1989).

Los mecanismos de transporte de materia pueden ocurrir: por migración, debido a la existencia del campo eléctrico; por difusión, debido a la diferencia de concentraciones entre la disolución y la interfaz electrodo disolución; y por convección, a consecuencia de la aplicación de una fuerza mecánica externa. Esta fuerza gobierna el proceso de transferencia de materia, ya sea por convección libre o por convección forzada. La convección libre es consecuencia de la velocidad del fluido, que resulta de variaciones en su densidad causadas por diferencias de concentración. La convección forzada, que resulta de la agitación de la disolución electrolítica

En la mayoría de las celdas comerciales con placas paralelas el electrolito se recircula a través de una bomba para facilitar la transferencia electródica de forma uniforme, sin embargo, se producen zonas muertas que alteran la composición del electrolito, ello incide negativamente en la eficacia del proceso. (Pagliero, 1989).

Bajo la consideración que la eficiencia de proceso está en función de la uniformidad en la transferencia de materia en cada punto del electrodo se debe garantizar la

uniformidad en la distribución de corriente y la densidad en cada una de las subáreas, por lo que se recomienda que los electrodos sean de forma rectangular donde predomina la superficie plana continua con 98.8% de área

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación del sitio de estudio

El estudio se realizó en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Tenería Núñez, ubicada en el barrio Mirador Alto en la parroquia Totoras, en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua. La planta de tratamiento donde se realizó la investigación recibe una descarga de residuos con altos contenidos en sales de cromo hexavalente Cr (VI), sales que normalmente se utilizan en los procesos de las industrias curtidoras y en el tratamiento de pieles.

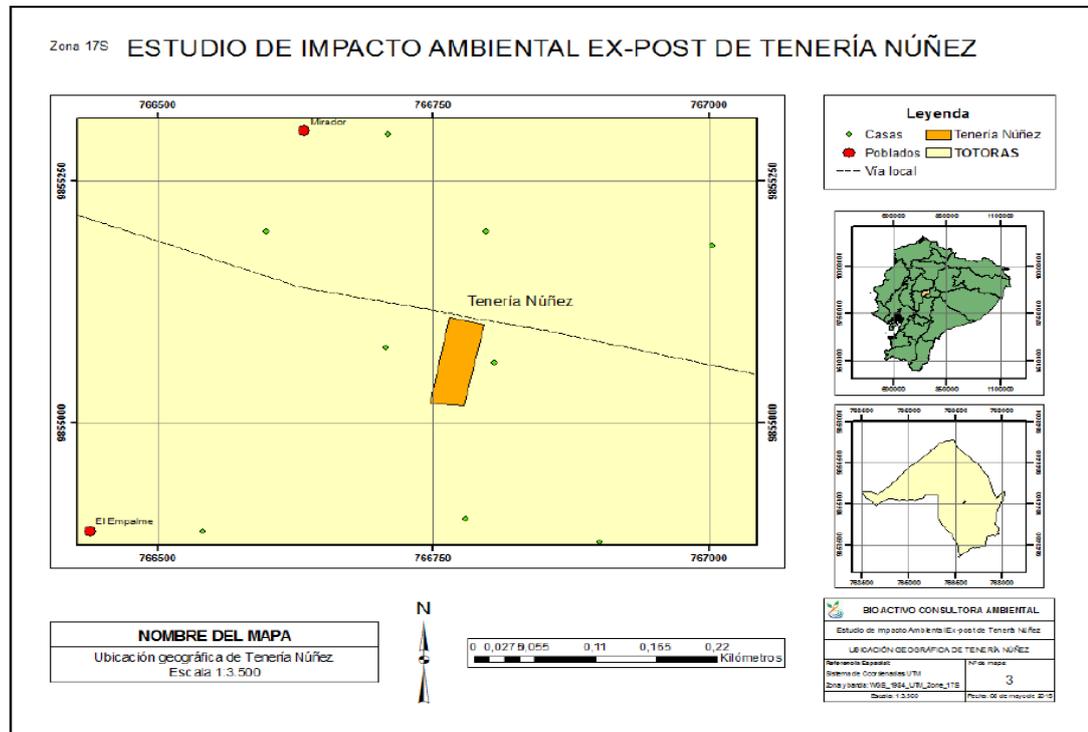


Figura 1. Mapa de Ubicación de Tenería Núñez.

Fuente: Estudio ambiental expost, Bioactivo 2017

La identificación de los puntos críticos de contaminación del recurso agua en los diferentes procesos de preparación de pieles tiene como actividad previa, por un lado, la desagregación de las actividades que se llevan a cabo durante las operaciones de la

curtiduría y, por otro, la determinación de los componentes ambientales que son afectados, específicamente alcantarillado y cauce de río.

La identificación y evaluación de los impactos ambientales permitió cuantificar los impactos de cada una de las acciones ejecutadas en la curtiduría. En la Tabla 1, se indica la ubicación exacta de los puntos donde se tomó las muestras para la vigilancia de los cuerpos de agua para determinar el impacto que ocasionan las aguas residuales procedentes de los procesos de Tenería Núñez.

Tabla 1. Muestreo compuesto. Puntos de toma de muestra Tenería Núñez.

ÍTEM	SITIO DE MUESTREO	JUSTIFICATIVOS
1	Descarga	Tomada a la salida de las aguas tratadas de la plataforma que oxigena el agua con el objetivo de retener contaminantes y clarificar el agua.
2	Antes del tratamiento	Muestra de Control. Permite conocer la calidad del agua residual que ha pasado por los procesos de curtido de Tenería Núñez.
3	Después del tratamiento	Muestra de Control. Permite conocer la calidad del agua residual después de la administración del tratamiento químico esta agua residual es vertida directamente a la red de alcantarillado.

Fuente: (Núñez Aldás, 2021)

3.2. Equipos y materiales

3.2.1. Protección personal

Se dispuso equipo de protección personal descrito en el protocolo de muestreo de aguas (Anexo 1).

- Botas de caucho
- Botines de seguridad
- Impermeable dos piezas (pantalón y chompa)
- Casco
- Mochila
- Guantes de caucho
- Chaleco salvavidas
- Guantes impermeables y térmicos

3.2.2. Preservantes

- Ácido nítrico concentrado 70% Fisher Scientific

3.2.3. Equipos de Campo

- Potenciómetro Mettler Toledo HX204.

3.2.4. Materiales de campo

- Botella Van Dorn
- Coolers grande y pequeño
- Frascos de vidrio ámbar 500 ml
- Solución estándar de pH y conductividad
- GPS
- Cinta adhesiva
- Libreta de campo
- Cadena de custodia
- Gotero

3.2.5. Materiales de laboratorio

- Potenciómetro Thermo Fisher
- Espectrofotómetro “GENESIS 10vis
- Transformador de corriente alterna a corriente continua
- Adaptador Universal Ajustable 3-24 Voltios 3 Amperios con Indicador de Voltaje UM-715
- Electrodo enmascarado de Titanio (sin marca)
- Cables
- Balanza analítica Mettler Toledo
- Campana de extracción de gases NOVATECH-CEI120BA
- Balón aforado de 50ml, 100mL, 1000mL.
- Pipetas volumétricas de: 1ml, 2ml, 4ml, 5ml, 10mL
- Matraz Erlenmeyer
- Núcleos de ebullición
- Vasos de precipitación.

- Papel filtro cualitativo

3.2.6. Reactivos de laboratorio

- Dicromato de potasio grado patrón primario PQ-03, marca SUPELCO
- Ácido fosfórico PA, marca MERCK
- Reactivo en polvo ChromaVer 3 Catalogo #12710-99
- Ensayos de aptitud, Proficiency testing PE1088 código LRAC1180
- Ácido clorhídrico 37% ACS FISHER SCIENTIFIC
- Agua ultra pura Milli-Q THERMO SCIENTIFIC
- Sulfato de sodio anhidro, marca Merck.

3.3. Tipo de investigación

El proyecto de investigación tiene un enfoque experimental porque se diseñó y se construyó una celda electrolítica. Además, es una investigación de tipo cuantitativa pues se determinó la concentración de cromo hexavalente presentes en las aguas residuales de Tenería Núñez y el grado de degradación por la oxidación anódica indirecta dando lugar a la generación de radicales oxidantes que sirven para degradar el Cr (VI).

3.4. Prueba de hipótesis

El Cr (VI) removido por un proceso electroquímico es cuantificado por espectrofotometría visible a una longitud de onda de 540 nanómetros (nm) y finalmente se evaluará la capacidad de remoción del cromo hexavalente a partir de la oxidación con burbujas de oxígeno como proceso secundario de tratamiento de aguas residuales y reducir sustancialmente la toxicidad de este analito.

3.4.1. Hipótesis nula

- La eficiencia de remoción de cromo hexavalente con un proceso de oxidación electroquímica avanzada, como proceso secundario de tratamiento de aguas residuales, es significativo frente al voltaje y tiempo de aplicado al proceso electroquímico.

3.4.2. Hipótesis alternativa

- La eficiencia de remoción de cromo hexavalente con un proceso de oxidación electroquímica avanzada, como proceso secundario de tratamiento de aguas residuales, no es significativo frente al voltaje y tiempo de aplicado al proceso electroquímico.

3.5. Población y muestra

La población considerada para la investigación tomó en cuenta la desagregación de las actividades que se llevan a cabo durante las operaciones de la curtiduría y, por otro, la determinación de los componentes que son considerados en la etapa de operación.

Tabla 2. Etapas de operación y definiciones de sus actividades.

ACCION	ETAPAS DEL PROCESO	DEFINICIÓN
Recepción de pieles	Recepción de pieles	Hace referencia al ingreso y entrega de las pieles a la planta de curtiduría
Lavado y remojo	Ribera	Consiste en la preparación de la piel para la curtiduría limpiándola y acondicionándola para asegurar correcto grado de humedad
Pelambre		Consiste en remojar la piel hasta que estén suficiente-mente hidratadas, para poder eliminar de las pieles la lana o el pelo y la epidermis.
Descarnado		Hace referencia a la eliminación mecánica o manual mediante cuchillas del tejido subcutáneo, grasas o cualquier otro elemento indeseado de la piel. Operación manual.
Curtido	Curtiduría	El curtido es transformar la piel en cuero comercial, a través de fijación del agente curtiente en fibras de colágeno de la piel, en fulones o bombos durante un tiempo determinado. Curtiduría vegetal.
Secado, colgado y al ambiente.	Acabados	Consiste en retirar la humedad paulatinamente para poder realizar la próxima operación
Recorte de filos		Se trata de eliminar partes externas básicamente, que no son aprovechables para el zapatero
Desvenado		Se trata eliminar arrugas y humedad remanente mediante una maquinaria (desvenadora o laminadora)
Cilindrado		Operación de planchado mediante una prensa de cilindro
Pesado y empaquetado	Embalaje	Está listo para la comercialización.
Bodegas		Compra y almacenamiento de pieles e insumos

ACCION	ETAPAS DEL PROCESO	DEFINICIÓN
Mantenimiento		Actividades de mantenimiento de equipos

Fuente: (Núñez Aldás, 2021)

3.6. Metodología para la toma y recolección de muestras

Se realizó un muestreo compuesto cuyo objetivo fue estimar la concentración promedio en lugar de la variabilidad o las concentraciones extremas para muestras tomadas, esta mezcla física proporciona un grado de precisión y exactitud que el promedio matemáticamente calculado del análisis de todas las muestras. La composición se realizó en el monitoreo de las descargas de aguas residuales de Tenería Núñez posterior al tratamiento primario de coagulación y floculación del proceso húmedo de la empresa. El procedimiento se basó en la normativa NTE INEN 2169 (2013), American Public Health Association (2012) y del laboratorio acreditado por el Servicio de acreditación ecuatoriana (SAE) Environovalab (2021) con sus respectivas técnicas y prevenciones de riesgo, para recolectar, almacenar, conservar y transportar las muestras hacia los laboratorios para su análisis químico y físico. La muestra fue diluida en una relación de 1:20 antes de realizar la caracterización inicial de la muestra en el laboratorio, para los cálculos finales se tomó en cuenta los factores de dilución realizados.

3.7. Verificación del método de ensayo de Cromo Hexavalente.

Se verificó la determinación de cromo hexavalente en las muestras de agua residual de Tenería Núñez acorde a la normativa ambiental Acuerdo Ministerial 097 del Ministerio del Ambiente que exige la determinación de este parámetro.

3.7.1. Definición de los parámetros de validación.

Antes de empezar una validación y demostrar que el método de ensayo para la determinación de cromo hexavalente es adecuado para la aplicación que se pretende

dar, se determinó sus parámetros de rendimiento. Se utilizó muestras de aguas residuales y agua residual fortificada a dos niveles de la curva.

Tabla 3. Parámetros de validación y fijación de objetivos para cromo hexavalente.

PARÁMETRO	OBJETIVO
Selectividad/Especificidad	La reacción con la difenilcarbazida es específica para cromo hexavalente
Linealidad/Función respuesta	0,995
LD Límite de Detección	0.08 (0+3u)*LC
LC Límite de Cuantificación	0.16 (0.5*incertidumbre objetivo)
Sr Precisión repetibilidad	$S_0 = 0,037x + 0,002$ Para una concentración de 0,10 mg/L 0,0057 - 5,7%
SR Precisión Reproducibilidad	$S_t = 0,067x + 0,004$ Para una concentración de 0,10 mg/L 0,0107 - 10,7%
Sesgo	10,7 %
U Incertidumbre	13.34 % (fa cobertura*SR)+error relativo
Intervalo de trabajo	0.3-0.7 ppm

Fuente: Elaboración propia

3.7.2. Preparación de soluciones

Se preparó las siguientes soluciones:

Solución madre de cromo hexavalente 500 mg/L Cr^{6+} : secar el dicromato de potasio a 110 °C durante 2 horas, pesar 0,1414 g, disolver en agua destilada y aforar a 100 mL; 1 mL=500µg Cr^{6+} .

Solución de trabajo cromo hexavalente 5 mg/L Cr^{6+} : tomar 1mL de la solución madre de cromo hexavalente y llevar a 100 mL con agua destilada; 1 mL=5µg Cr^{6+} .

Tabla 4. Soluciones de calibración: A partir de la solución de trabajo

CONCENTRACIÓN mg/L	ML DE SOLUCIÓN TRABAJO	AFORO mL
0,10	2	100
0,15	3	100
0,30	6	100
0,50	10	100
0,70	14	100

- El blanco es agua destilada añadida reactivo P

Para realizar la curva de calibración, se leyeron primero los estándares de baja concentración hasta la concentración de estándar más alta. Para que se forme una curva de calibración fueron necesarios los datos de concentración en función de la absorbancia.

Con los datos de las curvas de calibración se determinó linealidad, precisión, exactitud, límite de detección y cuantificación para cada uno de los analitos.

3.7.3. Desarrollo operativo de Análisis de Cromo hexavalente por espectrofotometría.

- Filtrar por lo menos 20 ml de muestra y acidificar con gota a gota hasta pH 2-2.5 de ácido fosfórico.
- Tomar 10 ml de la muestra y colocar en una celda de 16 mm, añadir un sobre de reactivo en polvo ChromaVer 3, tapan la celda, agitar hasta disolver y dejar en reposo 15 minutos para el desarrollo del color. Paralelamente tratar el agua destilada con el reactivo (blanco).
- Ajustar a cero el equipo con agua destilada a 540 nm (botón BLANK ZERO).
- Leer el blanco.
- Transvasar la muestra a una celda de cuarzo pulsar el botón START ENTER y leer la concentración de cromo hexavalente.
- En caso de que las muestras presenten coloración o turbidez, leer la muestra sin reactivo y restar ese valor del valor obtenido por la muestra tratada con reactivo.

3.7.4. Cálculos

- **Cálculo de la concentración de cromo hexavalente**

$$\text{mg} \frac{\text{Cr}^{6+}}{\text{L}} = \text{Valor leído} - \text{Valor de la muestra sin reactivo}$$

Ecuación 1. Concentración de Cromo VI

- **Incertidumbre**

La incertidumbre del método se calculó de acuerdo al Instructivo de estimación de la incertidumbre para métodos por espectrofotometría de la Eurachem (Maroto, Boqué, Riu, & Rius, 2002).

- **Precisión del método**

Se evaluó la diferencia entre los resultados de dos muestras analizadas bajo las mismas condiciones mediante la aplicación del estadístico de % RPD (diferencia porcentual relativa). Los Criterios bajo los cuales se aceptó la validez de este estadístico fueron establecidos en la validación.

$$\% RPD = \frac{|(\text{resultado 1} - \text{resultado 2})|}{(\text{resultado 1} + \text{resultado 2})/2} * 100$$

Ecuación 2. Porcentaje de diferencia porcentual relativa

% Límite Alarma	% Límite Crítico
12,80	15,30

- **Exactitud del método**

Se evaluó la diferencia entre el valor verdadero y el valor medido, mediante la aplicación del estadístico Error relativo. Opcionalmente se pudo evaluar el porcentaje de recuperación. Los Criterios bajo los cuales se aceptó la validez de este estadístico fueron establecidos en la validación.

$$\% \text{ Error relativo} = \frac{\text{valor verdadero} - \text{valor obtenido}}{\text{valor verdadero}} * 100$$

Ecuación 3. Porcentaje de Error Relativo

$$\% \text{ Recuperación} = \frac{\text{concentración medida}}{\text{concentración esperada}} * 100$$

Ecuación 4. Porcentaje de Recuperación

	% Límite Alarma	% Límite Crítico
Para nivel bajo % Error relativo	16,10	19,24
% Recuperación	85-115	80-120

Se analizó un MR en el nivel inferior aproximadamente de 0,10 a 0,15 ppm.

Nota: Cuando se supere los Límites de Alarma se tomará una acción preventiva; mientras cuando se supere los Límites Críticos se tratará como un trabajo no conforme.

3.7.5. Tratamiento estadístico de los datos obtenidos

Se empleó registros para el tratamiento estadístico de los resultados de validación. La homogeneidad de los datos de cada grupo se determinó mediante la prueba de Cochran. Se realizó también un Análisis de varianza simple de los resultados obtenidos (ANOVA).

La estimación de la incertidumbre, se realizó aplicando el procedimiento general de métodos de ensayo y validación de la Eurachem, donde indica las contribuciones de la incertidumbre y las expresiones empleadas para estimar la misma; en forma específica para este análisis se utilizó el instructivo de Estimación de la incertidumbre de métodos de espectrofotometría.

Cuando existan cambios en el comportamiento del equipo ya sea por los materiales de referencia utilizados o por procesos de deriva de los equipos se actualizará esta información en las hojas calibración de equipos e incertidumbre dentro del Tratamiento estadístico.

3.8 Diseño y construcción de una celda electrolítica para la reducción de cromo hexavalente a por un proceso de oxidación electroquímica avanzada.

Para la evaluación del tratamiento de oxidación electroquímica en aguas residuales se diseñó y equipó una celda electroquímica para conseguir las dos fracciones moleculares de agua; oxígeno (gaseoso) como fracción negativa en el polo positivo o

ánodo; e hidrógeno (gaseoso) como fracción positiva en el polo negativo o cátodo (electrólisis)(Arias, Lovera, & García, 2011).

La celda electroquímica fue de tipo batch empleando ánodo y cátodo de titanio, las dimensiones de los electrodos fueron 10 cm de largo por 5 cm de ancho, ambos electrodos se colocaron en la celda con un espaciamiento entre electrodos de 4 cm.

Como parte del sistema se utilizó una fuente de alimentación (transformador de corriente alterna a corriente continua, de voltaje variable) conectando ambos polos a cada electrodo, dando lugar a un ánodo y un cátodo. Todos estos radicales oxidantes presentes en el medio originaron agentes oxidantes. Este diseño implicó adaptar algunos cambios dependiendo de la capacidad de agua, tamaño/material/número de electrodos y alimentación eléctrica.

Con el fin de incrementar la resistencia de los electrodos, se requirió de material enmallado de Titanio, cables para el circuito y una fuente de energía; estos fueron sumergidos en el medio que contiene una solución 0,100 M de Na_2SO_4 para la electrólisis. La cuba fue construida con material de vidrio de 18750 cm^3 ; el volumen de muestra utilizado fue de 2000 cm^3 para mejorar las condiciones de operación.

Los electrodos de titanio de un área de 0,005 m^2 fueron adquiridos en USA, y su material fue seleccionado por sus características efectivas en procesos electroquímicos, como la poca reactividad con el medio (Vásconez Ortiz, 2021). Los electrodos se conectaron a los cables del transformador eléctrico y sostenido por soportes universales con pinzas.

La reacción electroquímica separa parcialmente los compuestos disueltos en la dilución obtenida a radicales oxidantes. Finalmente se tomaron las muestras homogenizadas de 5 tratamientos para estudios de remoción de cromo hexavalente. Son modificados variables de tiempo y voltaje. Desde la muestra inicial diluida 1:20,

se procedió con la experimentación en tres lotes: Se verificó el efecto de la densidad de corriente aplicada (5, 10,20 voltios) en tiempos diferentes (30, 60, y 120 minutos); a continuación se tomaron muestras por triplicado para análisis de Cr (VI) por espectrofotometría visible (Vásconez Ortiz, 2021).

3.9 Eficiencia de remoción de metales pesados Cromo VI aplicando el proceso de oxidación anódica indirecta.

El grado de remoción de Cromo hexavalente se basó en la compatibilidad del sistema adaptado al proceso electroquímico, de tal manera que fue posible convertir este compuesto tóxico en productos de bajo, o nulo, impacto ambiental. La eficiencia del sistema fue controlada empleando electrodos con adecuada actividad catalítica, lo cual es posible obtener diferencias de potencial que garanticen la remoción de cromo hexavalente.

También se determinó el grado de remoción por la selectividad del método en donde la posibilidad de controlar el potencial del electrodo de trabajo, ánodo o cátodo permitió seleccionar la reacción electroquímica deseada. Por otra parte, la cuantificación y cálculo de la remoción de cromo hexavalente se realizó aplicando técnicas espectrofotométricas como el método APHA 3111 B, en donde se establece: principios, equipos, reactivos y procedimiento para el análisis de metales por espectrometría visible a la longitud de onda de máxima absorbancia del cromo VI (Baird & Bridgewater, 2017).

Para obtener la eficiencia de remoción de cromo o porcentaje de remoción de Cr (VI) se utilizó la siguiente formula:

$$\% \text{ de remoción de Cr (VI)} = \frac{i - f}{i} \times 100$$

Ecuación 5. Porcentaje de Remoción de Cromo VI

Donde:

i= concentración inicial de Cr (VI) en el agua residual sin tratamiento electroquímico

f= concentración final de Cr (VI) después de los tratamientos electroquímicos (Perales Vílchez, 2020)

3.10 Descripción y operacionalización de variables

Las variables de respuesta se clasifican como variables dependientes e independientes como se muestra a continuación:

3.10.1 Variables dependientes

- Eficiencia de reducción de cromo hexavalente
- Concentración de disoluciones de cromo hexavalente en aguas residuales

3.10.2 Variables independientes

- Densidad de corriente
- Tiempo de tratamiento

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Diseño y construcción de celda electrolítica para reducción de cromo hexavalente

Se diseñó una celda electrolítica tomando como referencia el modelo presentado por (Arias et al., 2011), a este modelo se realizaron modificaciones considerando el volumen de agua tratado, tipo de alimentación eléctrica, tamaño y número de electrodos. Con el objetivo de aumentar el tiempo de vida útil de los electrodos se utilizó una base de recubrimiento de Titanio tipo malla, sistemas de conexión, además de una fuente de poder. Los materiales para la construcción del reactor fueron de vidrio de una capacidad aproximada fue de 15,65 cm³. Los electrodos fueron de titanio con un área de 10 cm de longitud por 5 cm de ancho. Los electrodos se sujetan a los cables del transformador eléctrico (Figura 2).

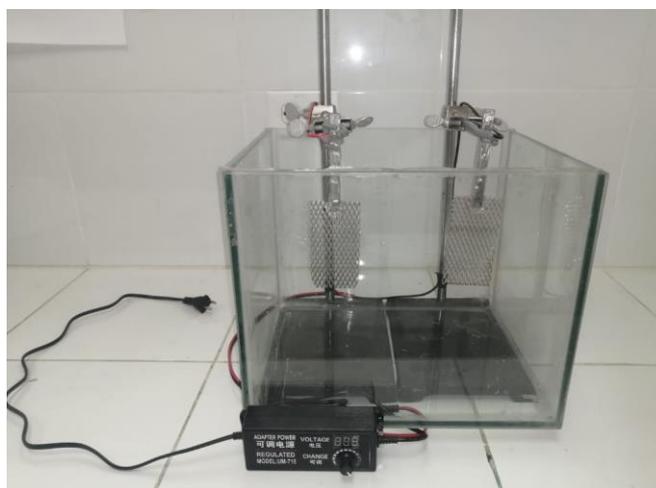


Figura 2. Diseño y construcción celda electrolítica

Fuente: Elaboración propia

Para mejorar el proceso oxidativo se utilizó la metodología aplicada por (Vásconez Ortiz, 2021) de tal manera que se obtuvo una eficiencia de remoción superior de cromo hexavalente; el procedimiento se utilizó 12 L de medio residual a condiciones ambientales de 18°C y pH medido de 7,6 de pH, también para potenciar el proceso

electroquímico se utiliza solución alcalina (14 ml de una solución al 10% de NaOH como sustancia que incrementó la conductividad eléctrica para el proceso electrolítico). Los electrodos fueron sumergidos en el reactor, separados a una distancia de 4 cm el uno del otro (Figura 3).



Figura 3. Diseño y construcción celda electrolítica

Fuente: Elaboración propia

4.2 Cuantificar el grado de degradación de Cromo hexavalente a partir de tratamientos electroquímicos.

4.2.1 Toma y recolección de muestras

El muestreo de aguas fue compuesto posterior al tratamiento primario de coagulación y floculación del efluente hídrico de Tenería Núñez aplicando la normativa que considera la metodología: identificación (NTE INEN 2226 Calidad Del Agua. Muestreo. Diseño de Los Programas de Muestreo, 2013) , preservación y transporte de muestras a un laboratorio (NTE INEN 2169 Calidad Del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras., 2013) (NTE INEN 2176 Calidad de Agua. Técnicas de Muestreo, 2013), Anexo I.

También fueron tomados en cuenta los aspectos de prevenciones de riesgo, para recolectar, almacenar, conservar y transportar las muestras hacia los laboratorios para su análisis químico y físico según la American Public Health Association (2012).

4.2.2 Verificación de cumplimiento de objetivos y resultados de validación de Cromo hexavalente en aguas residuales.

El método de ensayo: Procedimiento de validación para la determinación de Cromo hexavalente, es aplicable para agua residual en el rango de 0,10 a 0,70 ppm, Anexo IV.

La repetibilidad (% Sr) y reproducibilidad (% SR) fueron menores al 10% según lo establecido en los objetivos de verificación, como también, el estadístico F calculado fue menor que el F teórico, cumpliendo así los objetivos de validación planteados Anexo IV.

Se cumplieron con los criterios para la validación de Cromo (VI) por espectroscopía visible, aplica para las matrices agua residual, agua de consumo y agua natural, con un límite de cuantificación 0,02 mg/L y una incertidumbre de 29.2 %. Valor que se encuentra por debajo del 30% de la incertidumbre teórica para métodos instrumentales. (Guía Eurachem. Establecimiento y Empleo de La Incertidumbre En La Medición Química., 2015)

Tabla 5. Verificación de cumplimiento de objetivos y resultados de validación de Cromo hexavalente en aguas residuales.

PARÁMETRO	OBJETIVO	RESULTADO	CUMPLE/ NO CUMPLE
Linealidad/ Función respuesta	mínimo 0,995	0,999	cumple
Límite de detección	0,08	0,03	cumple
Límite de cuantificación	0,16	0,14	cumple
% Sr Precisión repetibilidad	5,70%	5,45	cumple
% SR Precisión Reproducibilidad	10,70%	5,96	cumple
Sesgo, ppm	10,70%	6,48	cumple
Incertidumbre expandida % U	32,10%	13,34	cumple
Intervalo de trabajo	0,3-0,7 ppm	0,10-0,70 ppm	cumple

Fuente: Elaboración propia. % Sr: porcentaje de desviación estándar de repetibilidad; % SR: porcentaje de desviación estándar de reproducibilidad; Sr: desviación estándar de repetibilidad; SR: desviación estándar de reproducibilidad.

4.2.3 Cuantificación de cromo hexavalente por espectrofotometría.

La cuantificación de cromo hexavalente por espectrofotometría se fundamentó en el método 3500-Cr parte B (Colorimetric Method) del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, edición 23 del 2017, el cual indica que el cromo hexavalente Cr (VI) reacciona con la 1,5-difenilcarbazida en medio ácido para dar un complejo color rojo violeta de composición desconocida que es determinado espectrofotométricamente a 540 nm. La intensidad de color es directamente proporcional a la concentración de cromo hexavalente, Anexo V. El punto de partida para el proceso de remoción de metales pesados de agua residual aplicando tratamiento electroquímico consideró una muestra compuesta de 20 litros.

Los valores obtenidos en los diferentes puntos de toma de muestra en Tenería Núñez de las aguas residuales producidas en el proceso húmedo del tratamiento de pieles, se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Caracterizaciones del agua residual de Tenería Núñez y su comparación con valores permisibles según A.M. 097 A

CARACTERIZACIONES AGUAS RESIDUALES TENERÍA NUÑEZ							
TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO				PUNTO DE MUESTREO			
Parámetros	Expresado como	Unidades	Límite máximo permisible	Descarga	Antes del tratamiento primario	Después del tratamiento primario	Muestra Tratamiento primario
Cromo Hexavalente	Cr ⁶⁺	mg/L	0,5	4,11	1,19	0,5	0,30
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO5	mg/L	250,0	21293	2697	6327	917,54
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	500,0	32757	4149	9733	2995,0
Potencial de Hidrógeno	pH	-	6-9	12,81	9,62	11,63	6,44
Sólidos sedimentables	SS	ml/L	20,0	10,00	40,5	80,0	10,0
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	220,0	1335	89	1758	13550
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/L	400,0	6226	1003,0	1189	24,0
Sulfuros	S ⁻	mg/L	1,0	518,13	1,24	195,2	46,4

Temperatura	° C	° C	<40,0	19	-	-	21,4
Tensoactivos	SAAM	mg/L	2,0	-	0,72	0,16	0,00

Fuente: Auditoria Ambiental de seguimiento Tenerife Núñez

Se observan valores que sobrepasan los límites máximos permitidos establecido en la normativa ambiental vigente (Enriquez Bolaños, 2021) para las concentraciones de cromo hexavalente y presencia de sólidos; sin embargo, luego de la aplicación de pretratamientos y un tratamiento físico químico exhaustivo se observó que los parámetros ya mencionados disminuyen drásticamente.

La muestra sometida a un tratamiento primario fue posteriormente diluida, procedimiento necesario para alcanzar los valores establecidos en el criterio de intervalo de trabajo establecido por el procedimiento de ensayo para cromo hexavalente. Anexo V.

Se muestran los resultados de valores de concentración de cromo hexavalente analizados por triplicado para 3 tratamientos con 3 réplicas distintas cada una, como combinación de la variable tiempo (30 minutos, 60 minutos y 120 minutos) y la variable voltaje (5, 10 y 20 voltios respectivamente), tabla 7.

Tabla 7. Concentración de cromo hexavalente aplicando combinación de variables voltaje y tiempo y Eficiencia de remoción de cromo hexavalente aplicando procesos de oxidación anódica indirecta.

Voltaje	Tiempo	CROMO HEXAVALENTE (mg/L) SM 3500 Cr-B, Ed. 23 2017						EFICIENCIA DE REMOCIÓN Cr VI			
		AR sin tratamiento electroquímico			AR con tratamiento electroquímico			Replicas			PROMEDIO
Voltios	minutos	Replicas						Replicas			PROMEDIO
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
5 V	30,0	0,33	0,31	0,34	0,16	0,15	0,16	50,52	53,61	50,52	51,5
	60,0	0,34	0,31	0,31	0,16	0,15	0,16	50,52	53,61	50,52	51,5
	120,0	0,33	0,32	0,33	0,17	0,16	0,16	47,42	50,52	50,52	49,5
10 V	30,0	0,29	0,32	0,34	0,15	0,17	0,15	53,61	47,42	53,61	51,5
	60,0	0,35	0,34	0,34	0,15	0,16	0,15	53,61	50,52	53,61	52,6
	120,0	0,33	0,32	0,33	0,14	0,16	0,15	56,70	50,52	53,61	53,6

20 V	30,0	0,33	0,31	0,34	0,15	0,15	0,15	53,61	53,61	53,61	53,6
	60,0	0,32	0,32	0,30	0,14	0,15	0,15	56,70	53,61	53,61	54,6
	120,0	0,31	0,30	0,32	0,13	0,15	0,15	59,79	53,61	53,61	55,7

Fuente: Elaborado propia. AR: Agua residual, SM: Standar Methods

De igual manera la tabla 7 reporta la eficiencia de remoción de cromo hexavalente con los datos porcentuales de cada tratamiento, calculando el valor de diferencia entre Cromo (VI) inicial como el 100% y con cada uno de los tratamientos, valorando así el nivel de disminución de Cr (VI) en unidades de porcentaje de eficiencia.

Se pudo observar que la eficiencia de remoción de cromo hexavalente se incrementa a medida que el voltaje y la intensidad de corriente también aumentan, como se puede revisar en la tabla 9, el porcentaje de remoción del 55,7 % de Cr (VI) aplicando un voltaje de 20 Voltios y en tiempo de reacción de 120 minutos, estos datos son similares a los que se observó en investigaciones realizadas para este mismo parámetro por procesos electrolíticos (Kitchen Fabre, 2005).

Una vez definidos los tratamientos que mejor respuesta tienen al proceso oxidativo aplicado en el procedimiento experimental, en este caso: tiempo de reacción de (60 minutos y 120 minutos) y densidad de corriente (10 V y 20 V), se analizaron muestras en un laboratorio acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriana (SAE), acorde a la Norma ISO 17025, para establecer la confiabilidad de los datos obtenidos en el trabajo de investigación, comparándolos con los del laboratorio. Los valores se encuentran reportados en los informes del anexo 1.

Tabla 8. Concentración de cromo hexavalente aplicando combinación de variables voltaje y tiempo para los mejores tratamientos.

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	RESULTADOS CROMO HEXAVALENTE mg/L		INCERTIDUMBRE mg/L
	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	
Agua residual tratada	0,220	0,208	0,04
Agua residual tratada	0,277	0,214	0,04
Agua residual tratada	0,244	0,220	0,04
Agua residual tratada	0,280	0,252	0,04
Agua residual tratada	0,288	0,244	0,04

Fuente: Informe de resultados Laboratorio ENVIRONOVALAB, Acreditación N° SAE LEN 18-040

Tratamiento 1: Variables: Voltaje 10 V; tiempo 60 minutos Tratamiento 2: Variables: Voltaje 20 V; tiempo 120 minutos

De la tabla 8 en donde se observa los valores de concentración de Cr (VI), el tratamiento 1 (T1) en donde se aplicó un voltaje de 10 voltios por un tiempo de 60 minutos con un valor inicial de concentración igual a 0,32 mg/L, se observa un decremento a un valor promedio de disminución de la concentración del mismo parámetro de 0,261 mg/L. En el tratamiento 2 (T2), la disminución de Cr (VI) es superior a la obtenida en el tratamiento T1, ya que se obtiene una concentración promedio de 0,227 mg/L de cromo hexavalente, esto puede ser debido a que las condiciones de tiempo y voltaje en el proceso oxidativo aplicados para cada tratamiento.

Finalmente se realizó un análisis final de la muestra de agua tratada en un laboratorio acreditado para determinar la calidad de esta, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 9. Caracterización final del agua residual tratada de Tenerife Núñez y su comparación con valores permisibles según A.M. 097 A

CARACTERIZACIONES AGUAS RESIDUALES				
Parámetros	Expresado como	Unidades	Resultado	LMP Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público
Cromo Hexavalente	Cr ⁶⁺	mg/L	<0,10	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO5	mg/L	1722,2	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	5932,0	500,0
Potencial de Hidrógeno	pH	unidades de pH	8,77	6-9
Sólidos sedimentables	SS	ml/L	17	20,0
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	1822,0	220,0
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/L	281,0	400,0
Sulfuros	S ⁻	mg/L	3,17	1,0
Tensoactivos	SAAM	mg/L	0,13	2,0

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 9 se observa que el valor de concentración de Cromo VI es de <0.1 mg/L (rango menor de acreditación del laboratorio), logrando cumplir con el límite permisible establecido en la normativa ambiental.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Con la implementación de una celda electroquímica en de tipo batch y empleando ánodo y cátodo de titanio se logró realizar la oxidación anódica de aguas residuales con el fin de reducir la concentración de Cromo hexavalente presente en estas aguas.

El método para la determinación de Cromo hexavalente en muestras de aguas residuales de la Tenería Núñez utilizado fue el de espectrofotometría UV-VIS; se determinó los objetivos de validación y se validó el método acorde a los objetivos de planteados para cada caso. Los criterios de validación de métodos son: Linealidad, Límite de detección, Límite de cuantificación, Precisión, Exactitud, Incertidumbre y el intervalo de trabajo del método de ensayo que va de 0,3 mg/L a 0,7 mg/L. Así mismo la incertidumbre declarada del 13,34 %, cumpliendo de esta manera los objetivos de verificación del método.

La remoción de Cr (VI) mejoró cuando el tiempo de electrolisis fue de 120 minutos y el voltaje eléctrico fue de 20 voltios logrando una eficacia máxima de con una eficiencia máxima de remoción de 55,7 %.

Los valores de porcentajes de remoción obtenidos de los resultados del laboratorio acreditado para los mejores tratamientos 1 y 2 se encuentran entre 18,43 % y 29,06 % para variaciones de voltajes eléctricos de 10 y 20 voltios respectivamente, indican que la intensidad de corriente aplicado confirma la hipótesis establecida en esta investigación y corrobora los resultados del proceso experimental realizado en planta.

5.2.Recomendaciones

Variables como combinar o cambiar diferentes tipos de electrodos en el proceso electroquímico, como por ejemplo electrodos titanio recubiertos con una capa de RuO₂, TiO₂ o IrO₂ pueden mejorar la eficiencia de remoción de cromo hexavalente, esto debido a que sus características podrían ser superiores a los de cobertura de titanio.

La variación en el pH de las soluciones tratadas por procesos electroquímicos podría también mejorar la de remoción de cromo hexavalente eficiencia, también la presencia de sales para mejorar la conductividad de las soluciones sometidas a este tratamiento electroquímico como la incidencia de la distancia de los electrodos en el proceso electroquímico podrían mejorar el porcentaje de eliminación de metales como el cromo hexavalente.

Para evaluar de mejor manera el rendimiento del proceso electroquímico en función del tiempo de electrólisis, se debería determinar la eficiencia instantánea de la corriente y el consumo de energía por gramo de COT eliminado.

El proceso electroquímico fue aplicado a muestras con un tratamiento primario insuficiente, por lo cual, tratamientos secundarios y terciarias aplicados a muestras de aguas residuales y un proceso electroquímico posterior podrían mejorar sustancialmente la remoción del parámetro objeto de estudio.

La comparación de tratamientos alternativos como la precipitación química, coagulación y floculación, fotocatalisis, biopolímeros, adsorción con desechos agrícolas y realizar una comparación operacional, viabilidad económica con el proceso electroquímico aplicado.

MATERIAL DE REFERENCIA

6 Bibliografía

- Abril Ruiz, I. C. (2018). Análisis de la cadena productiva del sector industrial de cuero y sus efectos en la producción de calzado en la provincia de Tungurahua.
- Alfaro, M., & Salazar, F. (2005). Ganadería y contaminación difusa, implicancias para el sur de Chile. *Agricultura Técnica*, 65(3), 330-340.
- Arias, V., Lovera, D., & García, I. (2011). Diseño y construcción de un reactor electrolítico multielectródico para laboratorio. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 14(27).
- Baque-Mite, R., Simba-Ochoa, L., González-Ozorio, B., Suatunce, P., Diaz-Ocampo, E., & Cadme-Arevalo, L. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(20), 109-117.
- Benitez-campo, N. (2011). Producción limpia y biorremediación para disminución de la contaminación por cromo en la industria de curtiembres. *Ambiente y sostenibilidad*, 1, 25-31.
- Caldera, S. V. N., Escobar, E. M. R., & Ortega, V. E. (2015). Cambio climático como factor determinante de desnutrición en niños de 0-5 años de edad. *Cultura Científica y Tecnológica*(48).
- Carrera-Cevallos, J. V., Prato-Garcia, D., Espinoza-Montero, P. J., & Vasquez-Medrano, R. (2021). Electro-oxidation of a Commercial Formulation of Glyphosate on Boron-Doped Diamond Electrodes in a Pre-pilot-Scale Single-Compartment Cell. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(2), 1-15.
- Chaussard, J., Folest, J.C., Nedelec, J.Y., Périchon, J., Sibille, S., & Troupel, M. (1990). Use of Sacrificial Anodes in Electrochemical Functionalization of Organic Halides. *Synthesis*, 1990, 369-381.
- Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. In: Separation and Purification Technology. Recuperado el 10 de enero de 2014 de http://www.jpcomplex.ir/content/media/image/2013/08/772_orig.pdf
- Cisneros, B. E. J. 6. SOLUCIONES TECNOLÓGICAS A LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA. *CALIDAD DEL AGUA Un enfoque multidisciplinario*, 177.

- Climent Sanjuán, V. (2006). Sociedad del riesgo, producción y sostenibilidad. *Papers: revista de sociologia, 2006, núm. 82, p. 121-140.*
- Cruz, A. C. P., & Martínez, P. C. C. (2015). El recurso agua en el entorno de las ciudades sustentables. *Cultura Científica y Tecnológica*(31).
- Delgadillo, S.A., Cortés, G.S., Rosales, M.G., & López, R.A. (2004). Evaluación del desempeño de reactores electroquímicos para la remoción de CR (VI) de aguas residuales. *Tecnología y Ciencias del Agua, 19, 97-104.*
- Enriquez Bolaños, V. E. (2021). *Evaluación de la contaminación de actividades de curtiembre con énfasis en cromo hexavalente, en el Río Pichaví.*
- Flores, C., & Rivas, N. (2019). Centros de tratamiento de adicciones: el peligroso limbo entre la legalidad y la clandestinidad. *Perspectivas, 1-8.*
- Galarza, J. C. G., & Arellano, A. d. P. S. (2016). Normas ambientales y competitividad en las pymes del sector curtiembre de Ambato-Ecuador. *Ojeando la Agenda*(44), 1.
- García-Céspedes, D., Lima-Cazorla, L. A., Ruiz-Gutierrez, L., Santana-Romero, J. L., & Calderón-Peñalver, P. A. (2016). Agroecosistemas con probables riesgos a la salud por contaminación con metales pesados. *Revista cubana de Química, 28*(1), 378-393.
- González, S. (2007). Contaminación difusa de las aguas. *Publicado en: Revista IniaTierra Adentro, Ed.*
- Guzman, A. B., & Hernandez, J. M. P. (2015). Tratamiento de Efluentes Acuoso Mediante Procesos Electroquímicos de Oxidación Avanzada. *JÓVENES EN LA CIENCIA, 1*(2), 316-319.
- Hernández, A. J., & Pastor Piñeiro, J. (2008). La restauración ecológica de ecosistemas degradados: marcos conceptuales y metodologías para la acción.
- Hernandez Ortiz, C. A. (2019). *Efectos de micro y nano burbujas en tratamientos de aguas residuales domésticas: el caso de pasca, cundinamarca.*
- Kitchen Fabre, M. C. (2005). *Evaluación técnica preliminar de la reducción de cromo hexavalente por medio de un proceso electrolítico.* Maestría en Ingeniería Civil.
- López, Pamela, & Harnisth, Antonio. (2016). Electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Enfoque UTE, 7*(1), 13-21. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n1.84>

- Lucatello, S. (2015). México y la Agenda Mundial del Medio Ambiente en el Escenario Post 2015. *Revista mexicana de política exterior*(103), 189-207.
- Maroto, A., Boqué, R., Riu, J., & Rius, F. X. (2002). Estrategias para el cálculo de la incertidumbre. *TECNICAS DE LABORATORIO-BARCELONA-*, 223-227.
- Márquez, j. J. G. De la responsabilidad aquiliana a la responsabilidad sin daño. Una propuesta para america del norte. *Criação de Capa: Armando de Lima Sardinha Imagem da Capa: Clayton Ferreira Lino*, 137.
- Momparler, S. P., & Andrés-Doménech, I. (2008). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia”. *Revista técnica de medio ambiente. C&M publicaciones*, 124, 92-104.
- Morales Posada, N. B., & Acosta Niño, G. (2010). Sistema de electrocoagulación como tratamiento de aguas residuales galvánicas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 20(1), 33-44.
- Monge, S. (2018). Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales
- NI, T. Planeta Vivo Informe 2016.
- Núñez Aldás, A. B. (2021). *Diseño e implementación de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Tenería Núñez*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos
- Perales Vílchez, J. C. (2020). 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.
- Protocolo, C., en Río, C. d. I. T., & Mundial, P. d. M. A. (2014). Midiendo el progreso.
- Reyes Navarrete, M. G., Alvarado De La Peña, A. I., Antuna, D. M., García Vargas, A., González Valdez, L. S., & Vázquez Alarcón, E. d. C. (2012). Metales pesados: importancia y análisis.
- Rincón, J. M., Rincón, S., Guevara, P., Ballén, D., Morales, J. C., & Monroy, N. (2015). Producción de carbón activado mediante métodos físicos a partir de carbón de El Cerrejón y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales provenientes de tintorerías. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39(151), 171-175.
- Rodríguez Suárez, L. F. (2019). *Sistema de gestión y tratamiento de desechos peligrosos para la empresa pública Imbavial*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra.

- Sánchez, A. A., & Tello, L. L. G. (2019). La contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador. *Revista Visión Contable*(19), 64-101.
- Sánchez, A. F. E., Cobo, N. U., & Ramírez, S. M. B. (2020). Vulnerabilidad de fuentes hídricas superficiales de la cuenca del río cerrito a la contaminación difusa agrícola. *RIAA*, 11(2), 4.
- Sánchez Proaño, R. G., & García Gualoto, K. J. (2018). Tratamiento de aguas residuales de cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 103-111.
- Santana Arellano, A. d. P. (2016). *El cumplimiento de las Normas Ambientales y su relación con la competitividad de las PYMES del sector curtiembre del cantón Ambato, 2016*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Contabilidad y Auditoría. Carrera
- Silva, M. J., & Morales, D. S. (2022). La contaminación proveniente de la industria curtiembre, una aproximación a la realidad ecuatoriana. *Revista Científica UISRAEL*, 9(1), 69-80.
- Téllez, J., Roxs, M. C., & Gaitán, A. M. (2004). Aspectos toxicológicos relacionados con la utilización del cromo en el proceso productivo de curtiembres. *Revista de la Facultad de Medicina*, 52(1), 50-61.
- Torrejón, J. A. V., & Safra, P. C. (2014). El impacto ambiental negativo y su evaluación antes, durante y después del desarrollo de actividades productivas. *Derecho & Sociedad*(42), 223-232.
- Vargas Ríos, O. (2011). RESTAURACIÓN ECOLÓGICA:: BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN. *Acta biológica colombiana*, 16(2), 221-246.
- Vásconez Ortiz, R. F. (2021). *Reducción en la demanda bioquímica y química de oxígeno en las aguas residuales de la Tenería Núñez aplicando tratamiento de electrólisis del agua residual*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos
- Veintimilla, N & Salazar, L. (2008). Obtención de hidrógeno combustible por electrólisis del agua, utilizando paneles fotovoltaicos. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca] Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/8378>
- Villazón, I. R., & Díaz, G. G. Contaminantes metálicos en alimentos. *Ángel E. Caballero Torres*, 161.

WILDER, C. C. (2016). *VALIDACION DE UN MÉTODO PARA LA DETERMINACION DE COBRE, CROMO, MANGANESO Y NIQUEL EN SUELO POR ABSORCIÓN ATÓMICA DE FLAMA*. UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL.

Zouboulis, A., Traskas, G., & Samaras, P. (2008). Comparison of Efficiency between Poly-aluminium Chloride and Aluminium Sulphate Coagulants during Full-scale Experiments in a Drinking Water Treatment Plant. *Separation Science and Technology*, 43(6), 1507-1519. doi: 10.1080/01496390801940903

ANEXOS

Anexo I. Punto de monitoreo de Tenería Núñez

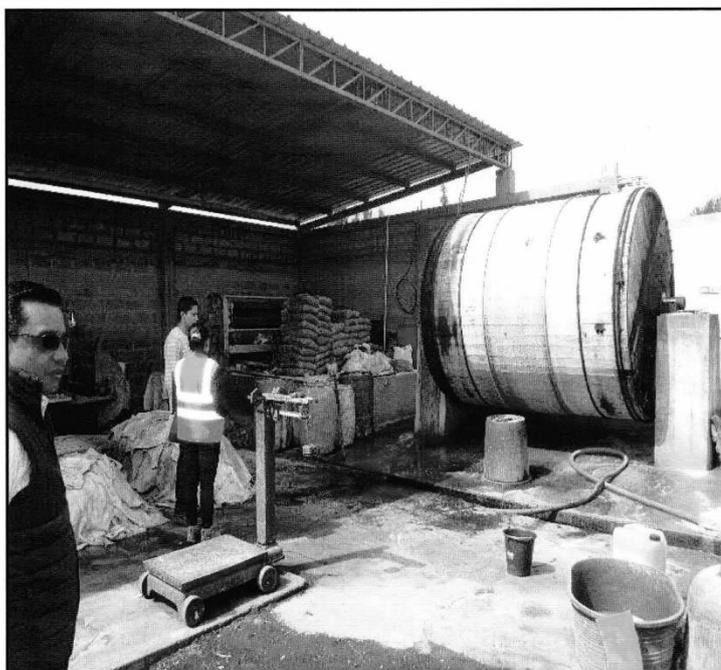


Anexo II. Toma de muestras



TENERÍA NUÑEZ

MONITOREO DE AGUA



CLIENTE: TENERÍA NUÑEZ
ATENCIÓN: SEÑOR CARLOS BOLÍVAR NUÑEZ PÉREZ
PROYECTO: MONITOREO DE AGUA
DIRECCIÓN: BARRIO: MIRADOR ALTO / PARROQUIA: TOTORAS / CIUDAD: AMBATO

Anexo III. Diseño y construcción reactor electroquímico



Figura 4. Celda

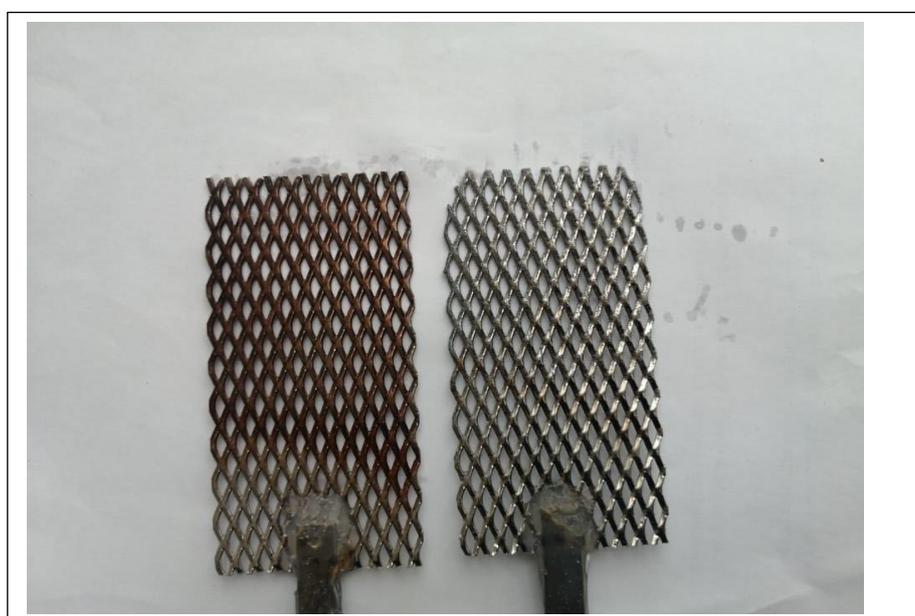


Figura 5. Electrodo recubrimiento de titanio

Anexo IV. Plan de validación para la determinación de cromo hexavalente en muestras de agua residual

PLAN DE VALIDACION

DETERMINACION DE CROMO HEXAVALENTE TENERÍA NUÑEZ

1. OBJETIVO

Validar la determinación de cromo hexavalente en muestras de agua residual.

2. NECESIDAD ANALITICA DEL METODO

De acuerdo a la normativa (Ordenanza Metropolitana y TULSMA) se debe analizar el cromo hexavalente, en base a esto el laboratorio se compromete a tener un método debidamente validado, confirmado para el análisis de este parámetro; en el valor de 0,5 mg/L, para asegurar el cumplimiento con los requisitos del cliente y con las exigencias de las entidades ambientales.

3. PUESTA A PUNTO

3.1 Equipo

Se empleará un espectrofotómetro Marca Milipore, Modelo Spectroquant Pharo 300 y Serie 14440597 con resolución de 0,0001 Abs (absorbancia), para realizar el análisis.

3.2 Condiciones ambientales

Se controla la temperatura del ambiente porque esta influye directamente en la temperatura de las muestras. Se establece como rango de trabajo 16 a 24 °C.

3.3 Calificación del personal

En base a la formación y la experiencia de acuerdo al procedimiento general de personal P-5.2-01.

3.4 Método de ensayo y referencia

El laboratorio cuenta con:

- Instructivo de uso de espectrofotómetro EI-04
- Procedimiento Interno: Procedimiento de ensayo de cromo hexavalente.
- Procedimiento Externo: Standard Methods, Ed.23.2017 3500-Cr B. Colorimetric Method

3.5 Material de referencia y matrices

Se usará dicromato de potasio grado patrón primario para realizar las curvas de calibración y un material de referencia de cromo hexavalente para preparar los niveles: bajo, medio y alto.

Anexo V. Procedimiento de ensayo para la determinación de cromo hexavalente en muestras de agua residual

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE CROMO HEXAVALENTE TENERÍA NUÑEZ

1. OBJETIVO

Determinar la concentración de cromo hexavalente en muestras de agua residual.

2. ALCANCE

Aplica para agua residual en el rango de 0,10 a 0,70 mg/L

3. PRINCIPIO

El cromo hexavalente se determina colorimétricamente por la reacción con difenilcarbazida, se produce un complejo color rojo-violeta de composición desconocida, el cual se mide por espectrofotometría a 540 nm (la reacción es muy sensible).

3.1. Interferencias

La reacción con la difenilcarbazida es prácticamente específica para el cromo; las sales de molibdeno hexavalente, mercurio y vanadio reaccionan para formar color con el reactivo, pero las intensidades son mucho más bajas; el hierro en concentraciones mayores de 1 mg/l puede producir color amarillo débil y no se encuentra ninguna dificultad.

4. EQUIPOS Y MATERIALES

- Espectrofotómetro a 540 nm
- Balanza analítica
- Termohigrómetro
- Balón aforado de 100mL
- Pipetas volumétrica de: 1ml, 2ml, 3ml, 4ml, 5ml, 10mL.
- Papel filtro cualitativo

5. REACTIVOS Y MATERIALES DE REFERENCIA

- Dicromato de potasio grado patrón primario PQ-03
- Ácido fosfórico
- Reactivo en polvo ChromaVer 3 Cat...#12710-99

5.1 Preparación de soluciones

Solución madre de cromo hexavalente 500 mg/L Cr⁶⁺: secar el dicromato de potasio a 110 °C durante 2 horas, pesar 0,1414 g, disolver en agua destilada y aforar a 100 mL; 1 mL=500µg Cr⁶⁺.

Solución de trabajo cromo hexavalente 5 mg/L Cr⁶⁺: tomar 1mL de la solución madre de cromo hexavalente y llevar a 100 mL con agua destilada; 1 mL=5µg Cr⁶⁺.

Soluciones de calibración: A partir de la solución de trabajo

Concentración mg/L	mL de solución trabajo	Aforo mL
0,10	2	100
0,15	3	100
0,30	6	100
0,50	10	100
0,70	14	100

- El blanco es agua destilada añadida reactivo.

Anexo VI. Informes de resultados laboratorio acreditado

		INFORME DE RESULTADOS No. A21-119				
Ciudad:	VANESSA BELÉN MORALES LEÓN					
CI:	0603563081					
Teléfono:	0996238329					
Dirección:	Chile y Carabobo- Riobamba					
Fecha emisión de informe:	23/12/2021					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	9/12/2021 13:00					
Período de análisis:	9/12/2021-23/12/2021					
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE TOMA DE MUESTRA	HORA DE TOMA DE MUESTRA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A21-119	TRATAMIENTO 1-1	---	---	---	---	Agua residual
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	LÍMITE ¹	INCERTIDUMBRE	
CROMO HEXAVALENTE	PE-07 SM 3500 Cr-B, Ed. 23 2017	mg/l	0.220	0.5	0.03 mg/l	
Notas: Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE 1: Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1. Libro VI TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público SM: Standard Methods EPA: Environmental Protection Agency El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada, en las condiciones que se recibió Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab						
				 Firmado electrónicamente por: MIRYAN GABRIELA FLORES HERRERA		
				MIRYAN FLORES GERENTE		

Figura 6. Informe de resultados tratamiento 1-1

		INFORME DE RESULTADOS No. A21-120				
Ciudad:	VANESSA BELÉN MORALES LEÓN					
CI:	0603563081					
Teléfono:	0996238329					
Dirección:	Chile y Carabobo- Riobamba					
Fecha emisión de informe:	23/12/2021					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	9/12/2021 13:00					
Período de análisis:	9/12/2021-23/12/2021					
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE TOMA DE MUESTRA	HORA DE TOMA DE MUESTRA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A21-120	TRATAMIENTO 1-2	---	---	---	---	Agua residual
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	LÍMITE ¹	INCERTIDUMBRE	
CROMO HEXAVALENTE	PE-07 SM 3500 Cr-B, Ed. 23 2017	mg/l	0.277	0.5	0.04 mg/l	
Notas: Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE 1: Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1. Libro VI TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público SM: Standard Methods EPA: Environmental Protection Agency El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada, en las condiciones que se recibió Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab						
				 Firmado electrónicamente por: MIRYAN GABRIELA FLORES HERRERA		
				MIRYAN FLORES GERENTE		

Figura 7. Informe de resultados tratamiento 1-2

		INFORME DE RESULTADOS No. A21-121				
Cliente:	VANESSA BELÉN MORALES LEÓN					
CI:	0603563081					
Teléfono:	0996238329					
Dirección:	Chile y Carabobo- Riobamba					
Fecha emisión de informe:	23/12/2021					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	9/12/2021		13:00			
Período de análisis:	9/12/2021-23/12/2021					
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE TOMA DE MUESTRA	HORA DE TOMA DE MUESTRA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A21-121	TRATAMIENTO 1-3	---	---	---	---	Agua residual
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE ¹	INCERTIDUMBRE	
CROMO HEXAVALENTE	PE-07 SM 3500 Cr-B, Ed. 23 2017	mg/l	0.244	0.5	0.03 mg/l	
Notas:						
Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040						
Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE						
1: Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1. Libro VI TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público						
SM: Standard Methods EPA: Environmental Protection Agency						
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada, en las condiciones que se recibió Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab						
				Firmado digitalmente por: MIRYAN GABRIELA FLORES HERRERA		
		MIRYAN FLORES GERENTE				

Figura 8. Informe de resultados tratamiento 1-3

		INFORME DE RESULTADOS No. A21-122				
Cliente:	VANESSA BELÉN MORALES LEÓN					
CI:	0603563081					
Teléfono:	0996238329					
Dirección:	Chile y Carabobo- Riobamba					
Fecha emisión de informe:	23/12/2021					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	9/12/2021		13:00			
Período de análisis:	9/12/2021-23/12/2021					
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE TOMA DE MUESTRA	HORA DE TOMA DE MUESTRA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A21-122	TRATAMIENTO 1-4	---	---	---	---	Agua residual
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE ¹	INCERTIDUMBRE	
CROMO HEXAVALENTE	PE-07 SM 3500 Cr-B, Ed. 23 2017	mg/l	0.280	0.5	0.04 mg/l	
Notas:						
Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040						
Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE						
1: Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1. Libro VI TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público						
SM: Standard Methods EPA: Environmental Protection Agency						
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada, en las condiciones que se recibió Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab						
				Firmado digitalmente por: MIRYAN GABRIELA FLORES HERRERA		
		MIRYAN FLORES GERENTE				

Figura 9. Informe de resultados tratamiento 1-4

Informe de resultados tratamiento 1-5

	INFORME DE RESULTADOS No. A21-123	 <small>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</small> <small>Acreditación N° SAE LEN 18-040</small> <small>LABORATORIO DE ENSAYOS</small>																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Cliente:</td><td>VANESSA BELEN MORALES LEÓN</td></tr> <tr><td>CI:</td><td>0603563081</td></tr> <tr><td>Teléfono:</td><td>0996238329</td></tr> <tr><td>Dirección:</td><td>Chile y Carabobo- Riobamba</td></tr> <tr><td>Fecha emisión de informe:</td><td>23/12/2021</td></tr> <tr><td>Muestra tomada por:</td><td>Cliente</td></tr> <tr><td>Procedimiento de Toma de muestras:</td><td>---</td></tr> <tr><td>Fecha y hora de recepción de muestras:</td><td>9/12/2021 13:00</td></tr> <tr><td>Periodo de análisis:</td><td>9/12/2021-23/12/2021</td></tr> </table>			Cliente:	VANESSA BELEN MORALES LEÓN	CI:	0603563081	Teléfono:	0996238329	Dirección:	Chile y Carabobo- Riobamba	Fecha emisión de informe:	23/12/2021	Muestra tomada por:	Cliente	Procedimiento de Toma de muestras:	---	Fecha y hora de recepción de muestras:	9/12/2021 13:00	Periodo de análisis:	9/12/2021-23/12/2021
Cliente:	VANESSA BELEN MORALES LEÓN																			
CI:	0603563081																			
Teléfono:	0996238329																			
Dirección:	Chile y Carabobo- Riobamba																			
Fecha emisión de informe:	23/12/2021																			
Muestra tomada por:	Cliente																			
Procedimiento de Toma de muestras:	---																			
Fecha y hora de recepción de muestras:	9/12/2021 13:00																			
Periodo de análisis:	9/12/2021-23/12/2021																			
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE																				
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE TOMA DE MUESTRA	HORA DE TOMA DE MUESTRA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES														
A21-123	TRATAMIENTO 1-5	---	---	---	---	Agua residual														
RESULTADOS																				
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE¹	INCERTIDUMBRE															
CROMO HEXAVALENTE	PE-07 SM 3500 Cr-B, Ed. 23 2017	mg/l	0.288	0.5	0.04 mg/l															
<p>Notas: Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040</p> <p>Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE</p> <p>1: Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1. Libro VI TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público</p> <p>SM: Standard Methods EPA: Environmental Protection Agency</p> <p>El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada, en las condiciones que se recibió Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab</p>																				
				<small>firmado digitalmente por:</small> MIRYAN GABRIELA FLORES HERRERA <small>(5040.7)</small>																
			MIRYAN FLORES GERENTE																	

Figura 10. Informe de resultados tratamiento 1-5

	INFORME DE RESULTADOS No. A21-124	 <small>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</small> <small>Acreditación N° SAE LEN 18-040</small> <small>LABORATORIO DE ENSAYOS</small>																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Cliente:</td><td>VANESSA BELEN MORALES LEÓN</td></tr> <tr><td>CI:</td><td>0603563081</td></tr> <tr><td>Teléfono:</td><td>0996238329</td></tr> <tr><td>Dirección:</td><td>Chile y Carabobo- Riobamba</td></tr> <tr><td>Fecha emisión de informe:</td><td>23/12/2021</td></tr> <tr><td>Muestra tomada por:</td><td>Cliente</td></tr> <tr><td>Procedimiento de Toma de muestras:</td><td>---</td></tr> <tr><td>Fecha y hora de recepción de muestras:</td><td>9/12/2021 13:00</td></tr> <tr><td>Periodo de análisis:</td><td>9/12/2021-23/12/2021</td></tr> </table>			Cliente:	VANESSA BELEN MORALES LEÓN	CI:	0603563081	Teléfono:	0996238329	Dirección:	Chile y Carabobo- Riobamba	Fecha emisión de informe:	23/12/2021	Muestra tomada por:	Cliente	Procedimiento de Toma de muestras:	---	Fecha y hora de recepción de muestras:	9/12/2021 13:00	Periodo de análisis:	9/12/2021-23/12/2021
Cliente:	VANESSA BELEN MORALES LEÓN																			
CI:	0603563081																			
Teléfono:	0996238329																			
Dirección:	Chile y Carabobo- Riobamba																			
Fecha emisión de informe:	23/12/2021																			
Muestra tomada por:	Cliente																			
Procedimiento de Toma de muestras:	---																			
Fecha y hora de recepción de muestras:	9/12/2021 13:00																			
Periodo de análisis:	9/12/2021-23/12/2021																			
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE																				
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE TOMA DE MUESTRA	HORA DE TOMA DE MUESTRA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES														
A21-124	TRATAMIENTO 2-1	---	---	---	---	Agua residual														
RESULTADOS																				
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE¹	INCERTIDUMBRE															
CROMO HEXAVALENTE	PE-07 SM 3500 Cr-B, Ed. 23 2017	mg/l	0.208	0.5	0.03 mg/l															
<p>Notas: Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040</p> <p>Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE</p> <p>1: Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1. Libro VI TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público</p> <p>SM: Standard Methods EPA: Environmental Protection Agency</p> <p>El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada, en las condiciones que se recibió Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab</p>																				
				<small>firmado digitalmente por:</small> MIRYAN GABRIELA FLORES HERRERA <small>(5040.7)</small>																
			MIRYAN FLORES GERENTE																	

Figura 11. Informe de resultados tratamiento 2-1

		INFORME DE RESULTADOS No. A21-125			 Servicio de Acreditación Ecuatoriana Acreditación N° SAE LEN 18-040 LABORATORIO DE ENSAYOS	
Cliente:		VANESSA BELÉN MORALES LEÓN				
CI:		0603563081				
Teléfono:		0996238329				
Dirección:		Chile y Carabobo- Riobamba				
Fecha emisión de informe:		23/12/2021				
Muestra tomada por:		Cliente				
Procedimiento de Toma de muestras:		---				
Fecha y hora de recepción de muestras:		9/12/2021		13:00		
Periodo de análisis:		9/12/2021-23/12/2021				
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE TOMA DE MUESTRA	HORA DE TOMA DE MUESTRA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A21-125	TRATAMIENTO 2-2	---	---	---	---	Agua residual
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE ¹	INCERTIDUMBRE	
CROMO HEXAVALENTE	SM 3500 Cr-B, Ed. 23 2017	mg/l	0.214	0.5	0.03 mg/l	
Notas:						
Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040						
Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE						
1: Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1. Libro VI TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público						
SM: Standard Methods EPA: Environmental Protection Agency						
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada, en las condiciones que se recibió Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab						
				Firmado digitalmente por: MIRYAN GABRIELA FLORES HERRERA		
MIRYAN FLORES GERENTE						

Figura 12. Informe de resultados tratamiento 2-2

		INFORME DE RESULTADOS No. A21-126			 Servicio de Acreditación Ecuatoriana Acreditación N° SAE LEN 18-040 LABORATORIO DE ENSAYOS	
Cliente:		VANESSA BELÉN MORALES LEÓN				
CI:		0603563081				
Teléfono:		0996238329				
Dirección:		Chile y Carabobo- Riobamba				
Fecha emisión de informe:		23/12/2021				
Muestra tomada por:		Cliente				
Procedimiento de Toma de muestras:		---				
Fecha y hora de recepción de muestras:		9/12/2021		13:00		
Periodo de análisis:		9/12/2021-23/12/2021				
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE TOMA DE MUESTRA	HORA DE TOMA DE MUESTRA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A21-126	TRATAMIENTO 2-3	---	---	---	---	Agua residual
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE ¹	INCERTIDUMBRE	
CROMO HEXAVALENTE	SM 3500 Cr-B, Ed. 23 2017	mg/l	0.220	0.5	0.03 mg/l	
Notas:						
Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040						
Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE						
1: Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1. Libro VI TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público						
SM: Standard Methods EPA: Environmental Protection Agency						
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada, en las condiciones que se recibió Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab						
				Firmado digitalmente por: MIRYAN GABRIELA FLORES HERRERA		
MIRYAN FLORES GERENTE						

Figura 13. Informe de resultados tratamiento 2-3

		INFORME DE RESULTADOS No. A21-127				
Cliente:	VANESSA BELÉN MORALES LEÓN					
CI:	0603563081					
Teléfono:	0996238329					
Dirección:	Chile y Carabobo- Riobamba					
Fecha emisión de informe:	23/12/2021					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	9/12/2021 13:00					
Periodo de análisis:	9/12/2021-23/12/2021					
INFORMACION DE LA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE TOMA DE MUESTRA	HORA DE TOMA DE MUESTRA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A21-127	TRATAMIENTO 2-4	---	---	---	---	Agua residual
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE ¹	INCERTIDUMBRE	
CROMO HEXAVALENTE	PE-07 SM 3500 Cr-B, Ed. 23 2017	mg/l	0.252	0.5	0.03 mg/l	
Notas: Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE 1: Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1. Libro VI TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público SM: Standard Methods EPA: Environmental Protection Agency El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab						
		 FIRMADO DIGITALMENTE POR: MIRYAN GABRIELA FLORES HERRERA				
		MIRYAN FLORES GERENTE				

Figura 14. Informe de resultados tratamiento 2-4

		INFORME DE RESULTADOS No. A21-128				
Cliente:	VANESSA BELÉN MORALES LEÓN					
CI:	0603563081					
Teléfono:	0996238329					
Dirección:	Chile y Carabobo- Riobamba					
Fecha emisión de informe:	23/12/2021					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	9/12/2021 13:00					
Periodo de análisis:	9/12/2021-23/12/2021					
INFORMACION DE LA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE TOMA DE MUESTRA	HORA DE TOMA DE MUESTRA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A21-128	TRATAMIENTO 2-5	---	---	---	---	Agua residual
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE ¹	INCERTIDUMBRE	
CROMO HEXAVALENTE	PE-07 SM 3500 Cr-B, Ed. 23 2017	mg/l	0.244	0.5	0.03 mg/l	
Notas: Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE 1: Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1. Libro VI TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público SM: Standard Methods EPA: Environmental Protection Agency El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada, en las condiciones que se recibió Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab						
		 FIRMADO DIGITALMENTE POR: MIRYAN GABRIELA FLORES HERRERA				
		MIRYAN FLORES GERENTE				

Figura 15. Informe de resultados tratamiento 2-5

Anexo VII. Certificados controles de calidad para cromo hexavalente



CERTIFICATE OF ANALYSIS

QC Check Sample
(WP – Water Pollution)



Product: WP Hexavalent Chromium
Lot Number: 710869200A
Product Number: VHG-QWPCRS-15

This product is intended for use as a quality control check for methods related to the parameters certified below. This standard has been prepared as a concentrate and must be diluted prior to analysis. This standard should be analyzed as soon as possible after the concentrate is diluted. This concentrate is not preserved. The concentrate can be stored at room temperature.

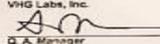
Instructions for Use: Add 100-200mL of deionized water to a clean 1000mL, class A volumetric flask. Shake the Hexavalent Chromium vial prior to opening. Using a clean, dry, class A pipet, volumetrically pipet 5.0mL of the concentrate into the 1000mL volumetric flask. Dilute the flask to final volume with deionized water. Cap the flask and mix well. Immediately analyze the diluted sample by your normal procedures. Report your results as µg/L for the diluted sample.

Certification: The certified value is based upon the gravimetric preparation of the solution. The uncertainty associated with each certified value is based upon the preparation and analytical verification of the product, and is the total propagated uncertainty at the 95% confidence level. The uncertainty applies to the product as supplied and does not take into account any dilutions and/or preparations the end-user may perform.

The QC Acceptance Limits reflect any inherent biases in the method and approximate a 95% confidence interval of the performance that should be achieved by experienced laboratories that are using accepted environmental methods. The Performance Acceptance Limits are calculated based on the regression equations and fixed acceptance criteria specified in the NELAP proficiency testing requirements. Mean value, percent recovery, and number of data points (n) are issued when data generated from an inter-laboratory (round robin) study. Whenever available, these data are traceable to the specified NIST SRM.

Parameter	Units	Certified Value	Uncertainty (% relative)	QC Acceptance Limits	Performance Acceptance Limits	Mean	Round Robin Data Recovery	n	NIST SRM #	NIST Traceability Recovery
Hexavalent Chromium (Cr VI)	µg/L	561	3.35%	495 – 617	471 – 644	563	100%	113	136f	100%

Recommendations: VHG guarantees the accuracy of this solution for 12 Months from the certification date shown below, provided it is kept tightly capped in its original container and stored under normal laboratory conditions. Do not freeze or expose to direct sunlight. Minimize exposure to moisture or high humidity.

VHG Labs, Inc.

 D. A. Manager
 3 November 2012
 Certification Date

VHG Labs, Inc. waives all responsibility for any damages resulting from the usage and/or implementation of the product(s) described herein.

Page 1 of 1
 276 Abby Road, Manchester, NH 03103 USA
 (603) 622-7660 Fax: (603) 622-5180 www.vhglabs.com



Anexo VIII. Certificados materiales de referencia



FA-03 www.sigmaaldrich.com

Certificate of Analysis – Certified Reference Material



Certipur® Potassium dichromate

Product no.: 1.02403.0080
Lot no.: 202403V
Description of CRM: Potassium dichromate
Expiry date: 2025/05/31
Storage: +15°C to +25°C tightly closed in the original container and protect from light and moisture
Composition: Potassium dichromate

Analyte	Certified value as mass fraction	Associated uncertainty, $U=k \cdot u$ ($k=2$) as mass fraction
Mass fraction	99.98 %	±0.13 %

Metrological traceability: Directly traceable to the corresponding primary standard NIST SRM Potassium dichromate 136f.

Measurement method: The certified mass fraction was determined by potentiometric titration with sodium thiosulfate as titration solution. The certified value is based on a molecular mass $M = 294.181$ g/mol dried substance.

Intended use: This volumetric standard is intended for standardisation of volumetric solutions in accordance to the chapter reagents of the Pharmacopoeia (USP).

Instructions for handling and correct use: The volumetric standard Potassium dichromate must be dried at 110 °C for 2 hours before use. By within-unit homogeneity studies a minimum weigh-in quantity of 150 mg was determined.

Accreditation: Merck KGaA, Darmstadt, Germany is accredited by the German accreditation authority DAkkS as registered reference material producer D-RM-15185-01-00 in accordance with ISO 17034 and registered calibration laboratory D-K-15185-01-00 according to DIN EN ISO/IEC 17025.

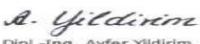
Certificate issue date: August 11, 2020

CRM released by Approving Officer or delegate LS-OII-QS3


 ISO 17034


 ISO/IEC 17025


 Deutsche Akkreditungsstelle
 D-K-15185-01-00


 Dipl.-Ing. Ayfer Yildirim
 Responsible Manager of LS-OII-QS3
 (Calibration Laboratory D-K-15185-01)

Anexo IX. Materiales de Referencia para cromo hexavalente

PE1060-20ML Anions - WP <i>MR-52 Exp May/23</i> LRAB8878					
Analyte	Unit	Gravimetric Value	PTRL	Study Mean*	Study Std. Dev.*
Sulfate 2000	mg/L	54.2 ± 0.300	2.80	55.8	2.45
PE1088-20ML Chromium VI - WP <i>MR-53 Exp: Nov/23</i> LRAC1180					
Analyte	Unit	Gravimetric Value	PTRL	Study Mean*	Study Std. Dev.*
Chromium VI, Cr(VI) 1045	ug/L	522 ± 3.00	31.0	---	---
PE1051-2ML Complex Nutrients - WP LRAB8875					
Analyte	Unit	Gravimetric Value	PTRL	Study Mean*	Study Std. Dev.*
Kjeldahl nitrogen, total (TKN) 1795	mg/L	18.4 ± 0.100	1.10	18.9	0.739
Nitrogen, total 1827	mg/L	18.4 ± 0.100	---	19.1	0.727
Organic nitrogen 1865	mg/L	18.4 ± 0.100	---	---	---
Phosphorus as P, total 1910	mg/L	5.00 ± 0.0300	0.350	5.36	0.527

Anexo X. Certificado calibración espectrofotómetro

	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	CERTIFICADO N°: 171121
	Av. Jaime Rodríguez Aguilera N80-56 y Antón Núñez Quito - Ecuador Telf: 02 - 248 1519 / 0992703317 www.calibtronservice.com	FECHA DE CALIBRACIÓN: 2017-11-30 Fecha emisión: 2017-11-30

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

Cliente: Envirovalab Cia. Ltda.
 Dirección: Av. Diego de Váskuez N74-65 y Prados del Oeste
 Persona de contacto: Quim. Myrian Flores

<p style="text-align: center;">IDENTIFICACIÓN DE EQUIPO</p> Instrumento: Espectrofotómetro Código: E1-04 Tipo: Digital Marca: Millipore Modelo: Spectroquant Pharo 300 Serie: 14440597 Alcance: 190 nm a 1100 nm (longitud de onda) Resolución: 0.001 Abs	<p style="text-align: center;">CONDICIONES AMBIENTALES</p> Temperatura: 20 °C Humedad: 55 % Lugar de calibración: Cali & Tron Service
---	--

MÉTODO UTILIZADO
Procedimiento de Calibración de Espectrofotómetros
CTS-PC-EFF-01

EQUIPOS UTILIZADOS

Referencia patrón	Equipo	No. serie	Certificado	F. Calibración
EPF-MRC-LZV537	Set de filtros de prueba	Lot# 2677	LZV537	2016-04-27
CA-TH-1	Termo higrometro	150137191	M-CC-2821-001-17	2017-09-07

Master test filter set BAM-Certificate V007-8.6E0071, 2013-10-22, es trazable al National Institute of Standards and Technology (NIST), NIST-SRM9300-Set 1140 2013-09-19.

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

LUZ DIFUSA

PATRÓN	LONGITUD DE ONDA	LECTURA MEDIA	Estado
Abs.	nm	Abs.	(Pass-Fail)
> 2.8	340	>3.3	Pass

LONGITUD DE ONDA

PATRÓN	LONGITUD DE ONDA	LECTURA MEDIA	CORRECCIÓN	INCERTIDUMBRE
nm	nm	nm	nm	k=2; 95%
807.0	805 - 809	807.0	0.0	1.5

EXACTITUD FOTOMÉTRICA

PATRÓN	LONGITUD DE ONDA	LECTURA MEDIA	CORRECCIÓN	INCERTIDUMBRE
Abs.	nm	Abs.	Abs.	k=2; 95%
1.529	546	1.5334	-0.0044	0.045
0.625	546	0.6260	-0.0010	0.018
0.312	546	0.3132	-0.0012	0.0094

OBSERVACIONES

La incertidumbre expandida reportada de la medición se establece como la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura k, de tal manera que la probabilidad de cobertura corresponde a aproximadamente 95%. Las mediciones realizadas por nuestros laboratorios se basan en patrones de referencia que mantienen trazabilidad a patrones internacionales, de acuerdo a requerimientos de la norma NTE INEN ISO/IEC 17025. Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren a las condiciones en que se realizaron las mediciones y corresponden exclusivamente a los objetos calibrados. No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito del laboratorio que lo emite.

Calibrado por:  Ing. Ana Hinojosa Responsable Técnico	 Calibración y Mantenimiento	Revisado por:  Pascual Haro Director Técnico
---	--	--

FC-01-00 Rev. 1 [2017-05-17]
Página 1 de 1